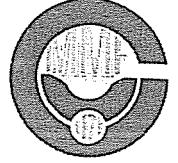




ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ  
DERGİSİ



ÇUKUROVA UNIVERSITY  
JOURNAL OF FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT  
VOL 23

SAYI  
NO 2

Aralık  
December 2008

ISSN 1019-1011

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Comparative Modeling in Low Plasticity Burnishin (LPB) Process Using Back-Propagation (BPN) and General-Regression Networks (GRNN) <i>Galetaj İşleminin Geri Yayılımlı ve Genel Regresyonlu Yapay Sinir Ağlarıyla Kıyaslamalı Modeli</i> <b>Uğur EŞME, İrem ERSÖZ KAYA, Funda KAHRAMAN, Aysun SAĞBAŞ, Ayça ÇAKMAK PEHLİVANLI, Turgay İBRİKÇİ.....</b>	1
Pamuk Atıkları ve Tekstil Külleri ile Üretilen Hafif Yapı Malzemelerinin Yalıtım Özellikleri <i>Insulation Properties of Light Construction Materials Made with Cotton and Textile Ash Wastes as Admixtures</i> <b>Hanifi BİNİCİ, Orhan AKSOĞAN, Remzi GEMCİ.....</b>	15
Polyester Liflerle Güçlendirilmiş Beton Kirişlerin Mekanik Özellikleri <i>Mechanical Properties of Concrete Beams Strengthened Made with Polyesteyrene Fibers</i> <b>Hanifi BİNİCİ, Remzi GEMCİ, Cevher Deha TÜRKÖZER, Orhan AKSOĞAN, Gülden KOÇ.....</b>	25
Çatlamaların Betonarme Perdelerin Rijitlikleri Üzerine Olan Etkisinin İncelenmesi <i>Investigation of the Cracking Effects on the Stiffness of Shear Walls</i> <b>İlker Fatih KARA, Cengiz DÜNDAR.....</b>	35
Betonarme Kiriş Elemanlarda Bulunan Farklı Donatı Oranlarının ve Değişik Yükleme Tiplerinin Etkili Atalet Momenti Üzerine Olan Etkisinin İrdelenmesi <i>Effect of Reinforcement Ratios and Loading Types on the Effective Moment of Inertia of a Reinforced Concrete Beam</i> <b>İlker Fatih KARA, Cengiz DÜNDAR.....</b>	51
Eş Zamanlı Mühendislik Kavramının Türk İnşaat Sektöründe Uygulanabilirlik Düzeyinin İrdelenmesi <i>Analyzing the Implementation Level of Concurrent Engineering in Turkish Construction Sector</i> <b>M.Emin ÖCAL, Berna ŞEKERCİ.....</b>	67
Doğu Akdeniz Bölgesinde Yapılacak Olan Binaların Gün Boyu Güneş Işığından Yararlanması İçin Bir Aplikasyon Önerisi <i>An Application Suggestion for the Buildings will be Constructed in the Region of Eastern Mediterranean to Benefit from the Solar Energy During All Day</i> <b>Nuri SAĞIR, Mustafa LAMAN.....</b>	81

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ  
DERGİSİ**

*Çukurova University, Journal of Faculty of Engineering and Architecture*

**Sahibi**

Beşir ŞAHİN  
Çukurova Üniversitesi  
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanı

**Editör**

Mesut ANIL

**YAYIN KURULU**

Mesut ANIL Melih BAYRAMOĞLU  
Hasan ÇETİN Recep YURTAL  
Osman BABAARSLAN

**YAZI İNCELEME KURULU (Editorial Board)**  
(SÜREKLİ)

İ.Deniz AKCALI (Ç.Ü.)	Orhan AKSOĞAN (Ç.Ü.)
Ahmet AYHAN (S.Ü.)	A.Feyzi BİNGÖL (F.Ü.)
Cavit DEMİRKOL (Ç.Ü.)	İlhan ERHAN (M.S.Ü.)
Aziz ERTUNÇ (Ç.Ü.)	Cahit HELVACI (D.E.Ü.)
Fikret İŞLER (Ç.Ü.)	M.Baki KARAMIŞ (E.Ü.)
Erdal KEREY (İ.Ü.)	Salih KIRKGOZ (Ç.Ü.)
Güven ÖNAL (İ.T.Ü.)	Işık ÖZPEKER (İ.T.Ü.)
Osman PARLAK (Ç.Ü.)	Kazım PIHTILI (F.Ü.)
Hamit SERBEST (Ç.Ü.)	Sedat TEMUR (S.Ü.)
Ulvi Can ÜNLÜGENÇ (Ç.Ü.)	Bedri TUC (G.Ü.)
İbrahim UZMAY (E.Ü.)	Cengiz YETİŞ (Ç.Ü.)
Tuncay YILMAZ (Ç.Ü.)	

**(Bu Sayıda Görüşlerinden Yararlanılan Diğer Hakemler)**

İ.Altay ACAR (Ç.Ü.)	Semiha AKCAOZOĞLU (N.Ü.)
Hüseyin AKILLI (Ç.Ü.)	M.Azmi AKTACIR (H.Ü.)
Mehmet ARDİÇLIOĞLU (E.Ü.)	H.Murat ARSLAN (Ç.Ü.)
Murat BİKCE (M.K.Ü.)	Atilla BİLGİN (K.T.Ü.)
Orhan BÜYÜKALACA (Ç.Ü.)	Faruk Fırat ÇALIM (M.K.Ü.)
Serpil ÇERÇİ (Ç.Ü.)	Ulus ÇEVİK (Ç.Ü.)
İbrahim ÇOBANOĞLU (P.Ü.)	Ercan ERDİŞ (M.K.Ü.)
Onur ERMAN (Ç.Ü.)	Uğur EŞME (M.Ü.)
Tamer GÖK (M.Ü.)	Osman GÜNAYDIN (N.Ü.)
S.Seren GÜVEN (Ç.Ü.)	Hakan GÜNEYLİ (Ç.Ü.)
Erkin ERTEN (Ç.Ü.)	Figen KARAMAN (Ytepe Ü.)
Aleattin KILIÇ (Ç.Ü.)	Ahmet Mahmut KILIÇ (Ç.Ü.)
Adnan KONUK (O.G.Ü.)	Mustafa MAMAK (Ç.Ü.)
Emel ORAL (Ç.Ü.)	M.Emin ÖCAL (Ç.Ü.)
Erol ÖZER (M.Ü.)	Metin Hakan SEVERCAN (N.Ü.)
Ahmet ŞENOL (Ç.Ü.)	Tuğrul TALASLIOĞLU (O.K.A.Ü.)
A.Hamza TANRIKULU (Ç.Ü.)	A.Kamil TANRIKULU (Ç.Ü.)
Serkan TOKGÖZ (M.Ü.)	Seyhan TÜKEL (Ç.Ü.)
Nesimi ULUDAĞ (M.Ü.)	Ergül YAŞAR (Ç.Ü.)
Gürhan YALÇIN (N.Ü.)	Abdulkadir YAŞAR (M.Ü.)
Hüseyin R.YERLİ (Ç.Ü.)	Abdulazim YILDIZ (Ç.Ü.)

**YAZISMA ADRESİ**

Ç.Ü., Mühendislik-Mimarlık Fakültesi  
Dergi ve Yayın Kurulu Başkanlığı  
01330 Balcalı / ADAÑA

Tel : (322) 338 63 57 Fax : (322) 338 61 26

(Bu sayı Çukurova Mühendisler - Mimarlar Güçlendirme Derneği tarafından bastırılmıştır.)



ÇUKUROVA UNIVERSITY  
JOURNAL OF FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT 23  
VOL

SAYI 2  
NO

Aralık 2008  
December

ISSN 1019-1011

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

- Comparative Modeling in Low Plasticity Burnishin (LPB) Process Using Back-Propagation (BPN) and General-Regression Networks (GRNN)  
*Galetaj İşleminin Geri Yayılmalı ve Genel Regresyonlu Yapay Sinir Ağlarıyla Kıyaslamalı Modeli*  
**Uğur EŞME, İrem ERSÖZ KAYA, Funda KAHRAMAN, Aysun SAĞBAŞ, Ayça ÇAKMAK PEHLİVANLI, Turgay İBRİKÇİ.....** 1
- Pamuk Atıkları ve Tekstil Külleri ile Üretilen Hafif Yapı Malzemelerinin Yalıtım Özellikleri  
*Insulation Properties of Light Construction Materials Made with Cotton and Textile Ash Wastes as Admixtures*  
**Hanifi BİNİCİ, Orhan AKSOĞAN, Remzi GEMCİ.....** 15
- Polyester Liflerle Güçlendirilmiş Beton Kirişlerin Mekanik Özellikleri  
*Mechanical Properties of Concrete Beams Strengthened Made with Polyesteyrene Fibers*  
**Hanifi BİNİCİ, Remzi GEMCİ, Cevher Deha TÜRKÖZER, Orhan AKSOĞAN, Gülden KOÇ.....** 25
- Çatlamaların Betonarme Perdelerin Rijitlikleri Üzerine Olan Etkisinin İncelenmesi  
*Investigation of the Cracking Effects on the Stiffness of Shear Walls*  
**İlker Fatih KARA, Cengiz DÜNDAR.....** 35
- Betonarme Kiriş Elemanlarda Bulunan Farklı Donatı Oranlarının ve Değişik Yükleme Tiplerinin Etkili Atalet Momenti Üzerine Olan Etkisinin İrdelenmesi  
*Effect of Reinforcement Ratios and Loading Types on the Effective Moment of Inertia of a Reinforced Concrete Beam*  
**İlker Fatih KARA, Cengiz DÜNDAR.....** 51
- Eş Zamanlı Mühendislik Kavramının Türk İnşaat Sektöründe Uygulanabilirlik Düzeyinin İrdelenmesi  
*Analyzing the Implementation Level of Concurrent Engineering in Turkish Construction Sector*  
**M.Emin ÖCAL, Berna ŞEKERCİ.....** 67
- Doğu Akdeniz Bölgesinde Yapılacak Olan Binaların Gün Boyu Güneş Işığından Yararlanması İçin Bir Aplikasyon Önerisi  
*An Application Suggestion for the Buildings will be Constructed in the Region of Eastern Mediterranean to Benefit from the Solar Energy During All Day*  
**Nuri SAĞIR, Mustafa LAMAN.....** 81

STA4-CAD Paket Programı ile SAP2000 Analiz Programının Mod Birleştirme Yöntemi Kullanarak Karşılaştırılması <i>Comparing of STA4-CAD Packaged Programme with SAP2000 Statics Calculation Programme with Mode Superposition Method</i>	
<b>İrfan S.GELİBOLU, Ali DOĞAN, H.Murat ARSLAN.....</b>	97
Tabakalı Kompozit İnce Plakların Plak Düzlemine Dik Yükleme Etkisi Altındaki Eğilme Analizi <i>Bending Analysis of Laminated Composite Thin Plates Under The Effects of the Transverse Loading</i>	
<b>Ali DOĞAN, Emel YAĞCI, H.Murat ARSLAN.....</b>	109
Değişken Kesitli Kompozit Çubukların Serbest Titreşim Analizi <i>Free Vibration Analysis of Composite Rods with Variable Cross-Section</i>	
<b>Faruk Fırat ÇALIM, Murat BİNGÖL, Beytullah TEMEL.....</b>	127
Beton Yollarda Karışım İncelik Modülünün Sürtünme Kaybına Etkisi <i>The Effect of Concrete Pavement Fineness Modulus on Friction Loss</i>	
<b>Orhan KARPUZ, Muhammet Vefa AKPINAR, Tuba SERT, Murat ÖRNEK.....</b>	137
Yapay Sinir Ağı ve Lineer Model ile Köprü Ayaklarında Oyulma Derinliğinin Tahmini <i>Prediction of Scouring Depth at Bridge Pier by Artificial Neural Networks and Linear Model</i>	
<b>Fikret KOCABAŞ, Burhan ÜNAL, Buğrayhan BİÇKİCİ, Mutlu VARDAR, Yasin KIZIL..</b>	147
Adana İlinde Yer Kaynaklı Isı Pompaları İçin Toprak Sıcaklıklarının Belirlenmesi <i>The Determining of Ground Temperatures for Ground-Source Heat Pumps in Adana</i>	
<b>Arif ÖZBEK, Tuncay YILMAZ, Alper YILMAZ, Orhan BÜYÜKALACA.....</b>	159
Farklı Sayıdaki Silindirler Etrafında Faz Değişiminin Sayısal Olarak İncelenmesi <i>Numerical Investigation of Phase Change Around Different Numbers of Cylinder</i>	
<b>Ertan BUYRUK, Ahmet FERTELLİ, Nesrin SÖNMEZ.....</b>	171
Bucak (Karaisalı) ve Yakın Dolayının Jeolojisi ve Demiryolu Güzergahı Açısından Değerlendirilmesi <i>Geological Investigation of Bucak (Karaisalı) and Its Near Surroundings Area and Utilization with in the Railway Route Concept</i>	
<b>Cengiz KÖSE, Cavit DEMİRKOL, Ulaş İnan SEVİMLİ.....</b>	181
Farklı Kökenlere Sahip Killerin Kompaksiyon Özelliklerinin Karşılaştırılması <i>Correlation of Compact Properties of Clays with Distinct Origin</i>	
<b>Hakan GÜNEYLİ.....</b>	199
Uçucu Küllerin Killi Zeminler Üzerindeki Etkileri <i>Effects For Fly Ash on Clayey Soils</i>	
<b>Sinem AYTEKİN, Hakan GÜNEYLİ, Özgür YÜKSEL.....</b>	207
Farklı Kökenlere Sahip Killerin Şişme Özelliklerinin Karşılaştırılması <i>Correlation of Swelling Properties of Clays with Distinct Origin</i>	
<b>Hakan GÜNEYLİ.....</b>	219
Kompaksiyon Parametrelerinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmini <i>Estimation of Compaction Parameters Using Artificial Neural Networks</i>	
<b>Osman GÜNAYDIN, Bekir Sami TEZEKİCİ, Burak YILDIRIM, Ali ÖZVAN.....</b>	229

Ceyhan Kireçtaşlarından Üretilen ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanılan Kireçlerin Radyoaktivite Ölçümleri <i>Natural Radioactivity Measurements of Limes used as Building Materials (Ceyhan-Adana) in East Mediterranean Region</i> <b>Ahmet Ş. AYKAMIŞ, Ahmet Mahmut KILIÇ</b> .....	237
Küçük Ölçekli İnsansız Helikopter Kontrol Denei Seti Tasarımı ve Simulasyonu <i>Design of a Small Scale Unmanned Helicopter Control Experiment Set and Its Simulation</i> <b>Ercan KÖSE, Serhan YAMAÇLI, Y. Gürcan ÜLTANIR, Bekir ÖZÇELİK, Murat AKSOY</b> ...	247
Destek Vektör Motorları ile Protein Yapısındaki Düzensiz Bölgelerin Tahmini <i>Prediction of Protein Disorder Regions with Support Vector Machines</i> <b>İrem ERSÖZ KAYA, Turgay İBRİKÇİ, Okan ERSOY</b> .....	257
Yatay Gölge Elemanı Tasarımına Bir Yaklaşım ve Adana Örneği <i>An Approach of Overhang Design and Adana Example</i> <b>Nilgün Sultan YÜCEER</b> .....	269
Enerji Etkin Bina Tasarım Teknikleri, Adana Örneği <i>Energy Efficient Building Design Techniques, Adana Example</i> <b>Nilgün Sultan YÜCEER</b> .....	279
Kentsel Tasarım Kalitesi ve Mimarlık Politikaları <i>Urban Design Quality and Architectural Politics</i> <b>Serpil ÇERÇİ</b> .....	287
Enerji Tasarrufu İçin Bir "Güneş Evi" Örneği <i>A Model Solar House for Saving Energy</i> <b>Serpil ÇERÇİ, İbrahim ŞAHALİ</b> .....	299
Adana Yüksekbaş Dokuma ve İplik Fabrikası Yönetim Binası <i>Adana Yüksekbaş Weaving and Yarn Factory Administration Building</i> <b>Ayça Aşlıhan ÖZÜDOĞRU, Onur ERMAN</b> .....	311
Adana Kentsel Sit Alanındaki Fiziksel Değişim ve Sonuçları <i>The Implications of Physical Changes in the Adana Conservation Area</i> <b>Duygu SABAN ÖKESLİ, Figen KARAMAN, Tevfik YILDIRIM</b> .....	325
Belen-Topboğazı (Hatay) Arası Yol Yapım Çalışmaları <i>Road of Between Belen-Topboğazı (Hatay) Building Works</i> <b>Fırat YELKEN, Mesut ANIL</b> .....	341
Midyat Taşının Kaplama ve Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması <i>The Usage of Midyat Stone as a Covering and Building Material Researching</i> <b>Alper Cenk KAYA, Nil YAPICI, Mesut ANIL</b> .....	357



## ÖNSÖZ

Fakülte Dergimizin 23. cilt 2. sayısını kısa bir gecikmeyle yayınlamış bulunuyoruz. 2008 yılına ait bu ciltde 1'i İngilizce ve 29'u Türkçe olmak üzere 30 adet makale yer almaktadır. Bundan sonra yayınlanacak olan 2009 yılı 1. sayısını da Haziran ayında yayınlamayı planlıyoruz. Dergimize değerli öğretim elemanlarımızın güncel çalışmalarını bekler, gösterdikleri ilgiye teşekkür ederiz.

Fakülte bütçesinde yeterli ödenek olmadığı için dergimizin baskısını gerçekleştiren Çukurova Mühendisler-Mimarlar Güçlendirme Derneği'ne ve büyük bir özveriyle derginin dizgisini yapan Yazım-Yayım Bürosu sekreteri Filiz DEMİRKIRAN'a ve basımını büyük bir titizlikle gerçekleştiren Üniversitemiz Matbaası yetkililerine teşekkür etmeyi görev biliriz.

Yayın Kurulu





## YAZIM KURALLARI

Gönderilecek makaleler, Mühendislik Bilimleri ile ilgili başka hiçbir yerde yayınlanmamış, orijinal bir araştırma niteliğinde olmalıdır. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilemez. Yazı dili Türkçe ve İngilizce'dir. Dergi ofset tekniği ile basıldığından makaleler IBM uyumlu bilgisayarla Microsoft Word'97 ve yukarısı programda yazılmış, biri orijinal, ikisi fotokopi olmak üzere üç nüsha olarak gönderilmelidir.

Makalelerin incelemesi yapıldıktan sonra düzeltmeler yazarlar tarafından yapılmalı, tüm şekil ve grafikler yerleştirilmiş olarak, düzeltilmiş nüshaya ait disket ile birlikte 15 gün içerisinde geri gönderilmelidir. Makalenin başlığı metne uygun, kısa ve açık ifadeli olmalıdır. Başlık, büyük harflerle ve sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Makale 1 satır aralıkla yazılmalıdır. Alt başlıklarla ilk paragraf ve paragraflar arasında 1 aralık bırakılmalıdır. Yazar ad ve soyadları unvan belirtilmeden, başlığın 1 cm altına sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Yazar sayısı birden çok ise, hepsi alt alta yazılmalıdır. Yazar adresi (Üniversite, Fakülte, Bölüm, Şehir) makale başlığının altına yazılmalıdır.

Makaleler çizelge, şekil ve fotoğraflarla en fazla 15 sayfa olmalıdır. Ancak kısaltılması mümkün olmayan makalelerin yayınlanmasında yayın kurulu yetkilidir. Şekil ve grafikler çini mürekkep ile aydınlatılmış kağıda veya beyaz kuşe kağıda çizilmeli, resimler parlak fotoğraf kartına siyah-beyaz ve net basılmış olmalıdır.

Çalışma herhangi bir kurumun desteği ile yapılmış ise, bu ilk sayfanın altına \* işaretini takip edecek şekilde dipnot olarak yazılmalıdır.

Başlıklar 1., 2., ve alt başlıklar 1.1., 1.2., vb. numaralandırılıp, alt başlıklar küçük harflerle, fakat kelime baş harfleri büyük olarak yazılmalıdır. Metindeki eşitlikler (1), (2),... vb. şeklinde numaralandırılmalı ve numaralar sayfanın en sağına yerleştirilmelidir. Daktiloda bulunmayan işaretler, siyah çini mürekkep ve şablon kullanılarak (veya elle çok düzgün bir şekilde) yazılmalıdır.

Makalenin bölümleri aşağıdaki sıraya göre olmalıdır : Türkçe başlık, özet, İngilizce başlık ve özet, metin, teşekkür (gerekli ise) ve kaynaklar. Özetler en az beş, en fazla on satır olmalıdır. Özetten sonra makalenin İngilizce başlığı büyük harflerle ve sayfa ortalanarak yazılıp, bunun altına da "Abstract" İngilizce olarak verilmelidir. Metinde mutlaka giriş ve sonuç bölümleri bulunmalıdır. Ara bölümler materyal ve metod, deneysel çalışma, teorik esaslar gibi başlıklar veya alt başlıklar şeklinde düzenlenebilir. Metin içinde kaynaklara atıfta bulunmak istenildiğinde, yazar adı verilerek veya verilmeksizin kaynak numarası parantez içinde gösterilmelidir. Numaralandırma metinde veriliş sırasına göre yapılmalıdır. İki den fazla yazar sayısı durumunda ilk iki yazar adı yazılıp, Türkçe kaynaklarda "ve diğ." Yabancı kaynaklarda "et.al." ibaresi eklenir. Kaynak makale ise, önce yazar adı baş harfi, yazarın soyadı, makalenin adı (yalnız ilk kelimenin baş harfi büyük), derginin adı veya varsa kısaltılmış adı, dergi cilt ve sayısı, parantez içinde yılı ve en sona da başlangıç ve bitiş sayfaları tire ile ayrılarak verilmelidir. Kaynak bir kitap ise yazar adının ilk harfi, soyadı, kitap adı (kelime harfleri büyük), yayınevi, yayın yeri, yayın yılı ve sayfa numarası verilmelidir.

Dergiye gönderilen yazılar yayınlansın veya yayınlanmasın iade edilmez. Makaleleri yayınlama yetkisi dergi yayın kuruluna aittir.

Yayınlaması istenen makaleler aşağıdaki adrese gönderilir:

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

Dergi Yayın Kurulu Başkanlığı

01330 Balcalı-ADANA

Tel : (322) 338 63 57 Fax : (322) 338 61 26



**COMPARATIVE MODELING IN LOW PLASTICITY BURNISHING (LPB)  
PROCESS USING BACK-PROPAGATION (BPN) AND GENERAL-  
REGRESSION NETWORKS (GRNN)**

**Uğur EŞME, İrem ERSÖZ KAYA, Funda KAHRAMAN, Aysun SAĞBAŞ,**  
*M.U., Department of Mechanical Education, Tarsus/Türkiye*

**Ayça ÇAKMAK PEHLİVANLI,**  
*İst.Kültür Univ., Department of Computer Engineering, İstanbul/Türkiye*

**Turgay İBRİKÇİ**  
*C.U., Department of Electrical&Electronics Engineering, Adana/Türkiye*

**ABSTRACT :** *Low plasticity burnishing (LPB), a plastic deformation process, is becoming more popular as a finishing process: thus, how to select the burnishing parameters to reduce the surface roughness and to increase the surface quality is especially crucial. This paper reports the use of back-propagation (BPN) and General Regression Neural Networks (GRNN) techniques to model the burnishing process. The ANN models of surface roughness parameters is developed with the burnishing conditions such as burnishing force, number of tool passes, feed rate and burnishing speed. The experimental results showed that predicted results obtained by BPN were closest to the actual results.*

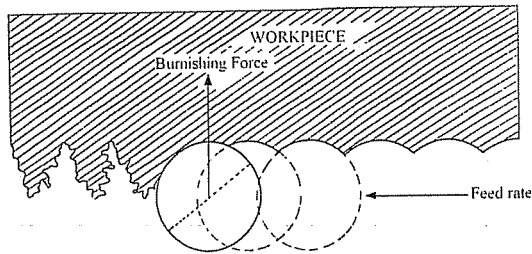
**GALETAJ İŞLEMİNİN GERİ YAYILMALI VE GENEL REGRESYONLU  
YAPAY SINIR AĞLARIYLA KIYASLAMALI MODELİ**

**ÖZET :** *Galetaj ile soğuk yüzey işleme yüzey kalitesini arttırdığından günümüzde popüler bir soğuk işleme prosesi haline gelmiştir. Bu yüzden galetaj parametrelerinin doğru ve net bir şekilde seçilmedi gerekmektedir. Bu çalışmada geri yayımlı ve genel regresyonlu yapay sinir ağları kullanılarak galetaj parametrelerinin (baskı kuvveti, paso sayısı, ilerleme hızı ve galetaj hızı) yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri kıyaslamalı bir model ile açıklanmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak geri yayımlı yapay sinir eğlari ile tahmin edilen sonuçların gerçek sonuçlara çok yakın olduğu görülmüştür.*

## 1. INTRODUCTION

The function performance of a machined component such as fatigue strength, load bearing capacity, friction, etc. depends to a large extent on the surface as topography, hardness, nature of stress and strain induced on the surface region. Nowadays, about 50% of the energy supplied is lost in the friction of elements in relative motion (1,2). Roughness values less than 0.1 mm are required for good aesthetic appearance, easy mould release, good corrosion resistance, and high fatigue strength. During recent years, however, considerable attention has been paid to the post-machining metal finishing operations such as burnishing which improves the surface characteristics by plastic deformation of the surface layers (2,3).

Burnishing is considered as a cold-working finishing process, differing from other cold-working, surface treatment processes such as shot peening and sand blasting, etc. in that it produces a good surface finish and also induces residual compressive stresses at the metallic surface layers (4,5). Accordingly, burnishing distinguishes itself from chip-forming finishing processes such as grinding, honing, lapping and super-finishing which induce residual tensile stresses at the machined surface layers (4,6). Also, burnishing is economically desirable, because it is a simple and cheap process, requiring less time and skill to obtain a high-quality surface finish (6). The burnishing process can be achieved by applying a highly polished and hard ball or roller onto a metallic surface under pressure. As indicated in Figure 1, pressure causes the peaks of the metallic surface to spread out permanently, when the applied burnishing force exceeds the yield strength of the metallic material, to fill the valleys (4-6).



**Figure 1.** Schematic representation of ball burnishing process (7)

Beside producing a good surface finish, the burnishing process has additional advantages over other machining processes, such as securing increased hardness, corrosion resistance and fatigue life as a result of producing compressive residual stress. Residual stresses are probably the most important aspect in assessing integrity because of their direct influence on performance in service. Thus, control of the burnishing process (burnishing conditions) in such a way as to produce compressive residual stresses in the surface region could lead to considerable improvement in component life (2,6).

## 2. EXPERIMENTAL DETAILS

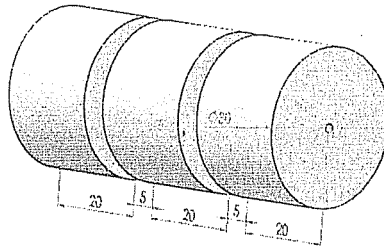
### 2.1. Material

In this study, high strength precipitation hardening 7XXX series wrought aluminum alloy AA 7075 was used. The AA 7075 aluminum alloy is used in aerospace industry due to its strength, good mechanical properties. The chemical composition and mechanical properties of the workpiece material is given in Table 1.

**Table 1.** Chemical and mechanical properties of workpiece material

Chemical composition (%)	Al	Cu	Mg	Cr	Zn
	90.0	1.60	2.50	0.23	5.60
Mechanical properties	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Shear strength (MPa)	Fatigue strength (MPa)	Hardness (HB500)
	220	95	150	160	60

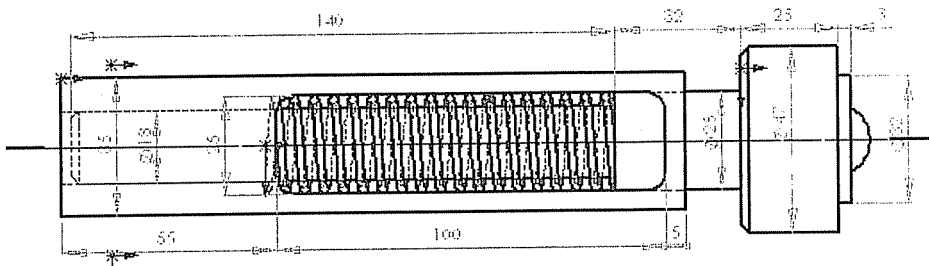
The workpiece material, as shown in Figure 2, was prepared with the dimensions of 30 mm diameter and 60 mm in length as a three part each having 20 mm in length.



**Figure 2.** Dimensions of workpiece material

### 2.2. Machines and Equipments

A 18 mm diameter steel ball was used for burnishing. The detailed drawing is shown in Figure 3. When the ball or roller is pressed against the surface of the metallic specimen, a pre-calibrated spring was compressed; this spring is being used mainly to reduce the possible sticking of the tool onto the surface.



**Figure 3.** Designed low plasticity burnishing tool used in the experiments

The experiments were performed on a *FANUC GT-250B* CNC machining center. Dry turning and burnishing were used in all the experimental work and alcohol was used to clean the specimens before burnishing. Cleaning of the ball was carried out continuously in order to prevent any hard particles from entering the contact surface between the tool and the specimen, such hard particles usually leaving deep scratches, which may damage the burnished surface of the specimen.

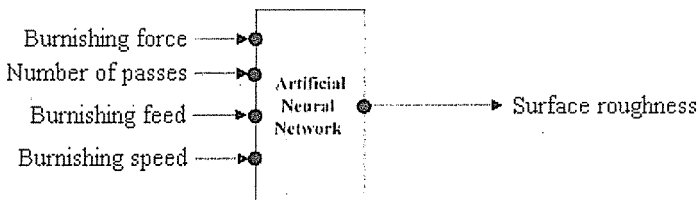
*Phynix TR-100* model surface roughness tester was used to measure the surface roughness of the burnished samples. Cut off length ( $\lambda$ ) was chosen as 0.3 for each roughness measurement. Six measurements of surface roughness were taken from the surface of the samples and average of the roughness was used in the training of neural networks.

### 2.3. Artificial Neural Network Modeling (ANN)

Artificial neural network (ANN) is one of the most powerful computer modelling techniques, based on statistical approach, currently being used in many fields of engineering for modeling complex relationships which are difficult to describe with physical models. ANN has been extensively applied in modeling many metal-cutting operations such as turning, milling, and drilling (7-9). However, this study was inspired by the very limited data on the application of ANN in the modeling the relationship between burnishing conditions and the process parameters during burnishing process of AA 7075 aluminum alloy.

There has been continual increase in research interest in the applications of ANN in modeling and monitoring of machining operations (7,10,11). The input/output dataset of the model is illustrated schematically in Figure 4. The input parameters of the neural network are the burnishing force ( $F$ , kgf), number of passes ( $N$ ), burnishing feed ( $f$ , mm/min) and burnishing speed ( $V$ , rpm). The output parameter is the machined surface roughness ( $R_a$ ,  $\mu m$ ). The five basic steps used in general application of neural network are adopted in the development of the model:

- i. assembly or collection of data;
- ii. analysis and pre-processing of the data;
- iii. design of the network object;
- iv. training and testing of the network;
- v. Comparison of the training methods.



**Figure 4.** Schematic model of ANN for prediction of process parameters

### 2.3.1. The Training of the Network

Generally, there are three different learning strategies. First, the trainer may tell the network what it should learn (*Supervised Learning*), second, the trainer may indicate whether or not the output is correct without telling what the network should learn (*Reinforcement Learning*) and finally, the network learns without any intervention of the trainer (*Unsupervised Learning*). The learning set consists of the inputs and the outputs used in training the network. The required outputs take place in this set in the

**Table 2.** Experimental results and training set of ANN modeling

Exp.no	Burnishing force	Number of passes	Feed rate	Burnishing speed	Surface roughness
	F (kgf)	N	f (mm/min)	V (rpm)	R <sub>a</sub> ( $\mu$ m)
1	9	2	0.62	200	0.30
2	10	3	0.80	300	0.37
3	11	2	0.60	400	0.37
4	12	3	0.45	800	0.47
5	13	2	0.45	1000	0.44
6	14	4	0.45	600	0.65
7	15	4	0.45	600	0.71
8	16	2	0.27	200	0.60
9	17	3	0.60	600	0.69
10	18	4	0.45	600	0.89
11	19	3	0.27	400	0.85
12	20	2	0.27	500	0.78
13	21	3	0.50	600	0.90
14	22	4	0.27	1000	1.12
15	23	2	0.62	700	0.75
16	24	3	0.45	600	1.06
17	25	2	0.27	200	1.02
18	9	4	0.27	200	0.38
19	10	2	0.62	300	0.33
20	12	4	0.45	400	0.54
21	16	3	0.80	500	0.63
22	13	3	0.60	600	0.51
23	15	2	0.27	700	0.55
24	16	3	0.62	800	0.64
25	17	4	0.45	900	0.82
26	20	3	0.62	1000	0.81
27	14	2	0.45	400	0.49
28	16	4	0.80	600	0.76
29	11	3	0.27	800	0.42
30	9	2	0.30	1000	0.28
31	10	3	0.35	600	0.37
32	11	4	0.40	400	0.48
33	12	3	0.45	200	0.48
34	10	2	0.30	300	0.33
35	11	4	0.27	500	0.49

case of supervised learning, while in other cases, they are not found in it (12,13). In the present study, supervised learning approach was used. Both back propagation neural network (BPN) and general regression neural network (GRNN) were used as a training method. The computer program has been developed under MATLAB (14) and as given in Table 2, a database of thirty-five experimental results was used to train the ANN model.

### 2.3.1.2. Back Propagation Neural Network (BPN)

The back-propagation network is composed of many interconnected neurons that are often grouped into input, hidden and output layers. The neurons of the input layer are used to receive the input vector  $X$  of the system and the neurons of the output layer are used to generate the corresponding output vector  $Y$  of the system. The back-propagation network used in this study is shown in Figure 5.

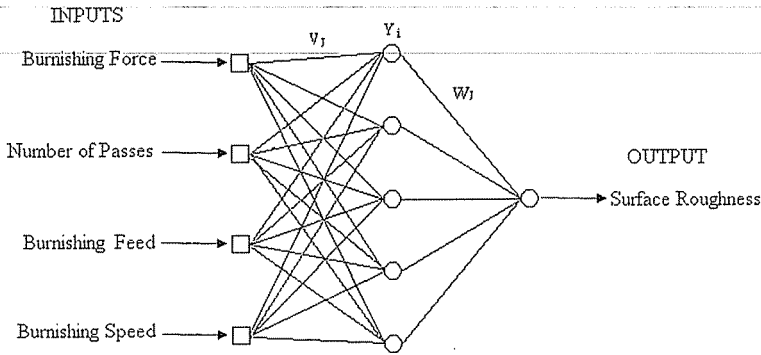


Figure 5. BPN network used for predicting surface roughness

For each neuron, a summation function for all the weighted inputs is calculated as:

$$\text{net}_j^k = \sum_i w_{ji}^k o_i^{k-1} \quad (1)$$

where  $\text{net}_j^k$  is the summation function for all the inputs of the  $j$ -th neuron in the  $k$ -th layer,  $w_{ji}^k$  is the weight from the  $i$ -th neuron to the  $j$ -th neuron and  $o_i^{k-1}$  is the output of the  $i$ -th neuron in the  $(k-1)$ -th layer.

As shown in Equation (1), the neuron evaluates the inputs and determines the strength of each one through its weighting factor, i.e. the larger the weight between two neurons, the stronger is the influence of the connection (15). The result of the summation function can be treated as an input to an activation function from which the output of the neuron is determined. The output of the neuron is then transmitted along



the weighted outgoing connections to serve as an input to subsequent neurons. To modify the connection weights properly, a supervised learning algorithm (16) involving two phases is employed. The first is the forward phase which occurs when an input vector  $X$  is presented and propagated forward through the network to compute an output for each neuron. Hence, an error between the desired output  $y_j$  and actual output  $o_j$  of the neural network is computed. The summation of the square of the error  $E$  can be expressed as:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n (y_j - o_j)^2 \quad (2)$$

The second is the backward phase which is an iterative error reduction performed in a backward direction. To minimize the error between the desired and actual outputs of the neural network as rapidly as possible, the gradient descent method, adding a momentum term (16), is used. The new incremental change of weight  $\Delta w_{ji}^k(n+1)$  can be expressed as:

$$\Delta w_{ji}^k(n+1) = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ji}^k} + \alpha \Delta w_{ji}^k(n) \quad (3)$$

where  $\eta$  is the learning rate,  $\alpha$  is the momentum coefficient and  $n$  is the index of iteration. Through this learning process, the network memorizes the relationships between input vector  $X$  and output vector  $Y$  of the system through the connection weights.

### 2.3.1.3. General Regression Neural Networks (GRNN)

The general structure of the data set used is the matrices in which each row corresponds to an experiment, and the columns are the descriptors of the experiment. The input descriptors are burnishing force, number of passes, burnishing feed and burnishing speed of a given measurement, and the output label indicates surface roughness. Thus, the data set is a  $X \times D$  matrix, where  $X$  is the number of experiments and  $D$  is the number of descriptors.

The descriptor metric might differ substantially from column to column. This distortion can result in some problems. To avoid potential problems, the descriptor values were normalized according to the z-score shown in Equation (4).

$$z_{.j} = (x_{.j} - \mu_j) / \sigma_j \quad (4)$$

where  $x_{.j}$  is the  $j^{\text{th}}$  descriptor for the pattern,  $\mu_j$  is the mean given in Equation (5) and  $\sigma_j$  is the standard deviation given in Equation (6) of the  $j^{\text{th}}$  descriptor.

$$\mu_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n} \quad (5)$$

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \mu_j)^2}{n-1}} \quad (6)$$

where  $x_{ij}$  is the  $i^{\text{th}}$  experiment for the descriptor  $j$ ,  $n$  is the number of experiments in the  $j^{\text{th}}$  column. This scaling process reveals data with zero mean and unit variance. After applying z-score test to the experimental results the general regression neural network (GRNN) modeling was applied to the training results.

GRNN is a one-pass supervised learning algorithm which can be used for estimation of continuous variables. It is a memory-based feed-forward neural network with highly parallel structure (17). This method is based on the probability density function  $f(X, y)$  which can be estimated by a Parzen estimator (18).

The basic regression equation is given in Equation (7).

$$y(x) = E[y|X] = \int y f(X, y) dy / \int f(X, y) dy \quad (7)$$

where  $E[y | X]$  is the conditional mean of the dependent variable  $y$  given  $X$  which is a particular value of the random independent variable  $x$ . According to Parzen (18), the estimation of the pdf  $f(X, y)$  for the univariate case is given in Equation (8).

$$f(X, Y) = \frac{1}{n\sigma^2} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{X - X_i}{\sigma}\right) K\left(\frac{Y - Y_i}{\sigma}\right) \quad (8)$$

where  $\sigma$  is a kernel width (smoothing parameter),  $n$  is the number of samples in the training set, and  $K(x)$  is a kernel function. In Equation (9), the Gaussian form of  $K(x)$  is shown (19).

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2} \quad (9)$$

With the choice of the Gaussian kernel for  $K(x)$  given in Equation (9), the  $f(X, y)$  estimator holds in the multivariate case, Cacoullos (20) extended Parzen's (18) results in the following form (18,20)

$$f(X, Y) = C \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{(X - X^i)^T (X - X^i)}{2\sigma^2}\right) \exp\left(-\frac{(y - Y^i)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (10)$$

where  $C$  is a constant given in Equation (11),  $X^i$  is the  $i^{\text{th}}$  training vector,  $Y^i$  is the corresponding value of  $y$ , and  $d$  is the dimension of the vector  $X$ .

$$C = \frac{1}{(2\pi)^{(d+1)/2} \sigma^{(d+1)}} \quad (11)$$

The basic Nadaraya-Watson kernel estimator given in Equation (12) is obtained by substituting Equation (10) into Equation (7) and integrating over  $y$  (17).

$$Y(X) = \frac{\sum_{i=1}^n y^i \exp\left(-\frac{(X-X^i)^T(X-X^i)}{2\sigma^2}\right)}{\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{(X-X^i)^T(X-X^i)}{2\sigma^2}\right)} \quad (12)$$

The only adjustable parameter of the network is  $\sigma$ , the smoothing factor for the kernel function. It is critical to decide an optimum value for  $\sigma$ . The larger values of this factor cause the density to be smooth, and  $Y(X)$  then converges to the sample mean of the observed  $y_i$ . On the other hand, when  $\sigma$  is chosen very small, the density is forced to have non-gaussian shapes. Then, the oscillatory points have a bad effect on the estimate. All values of  $y_i$  are taken into account where the points closer to  $x$  are given heavier weights, if the optimum value of  $\sigma$  is selected (21). In this study kernel width,  $\sigma$ , was selected as 0.02.

As shown in Figure 6, the structure of the GRNN consists of 4 layers; the input layer, the hidden (pattern) layer, the summation layer and the output layer. As a preprocessing step, all input variables of the training data are scaled. Then, they are copied as the weights into the pattern units.

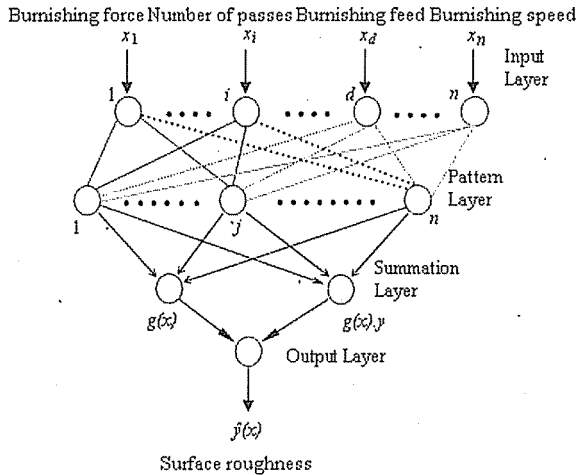


Figure 6. Constructed GRNN model

The main advantage of GRNN according to other techniques is fast learning. It is a one-pass training algorithm, and does not require an iterative process. The training time is just the loading time of the training matrix. Also, it can handle both linear and non-

linear data because the regression surface is instantly described everywhere, even just one sample is enough for this. Thus, other existing pattern nodes tolerate faulty samples. Another advantage is the fact that adding new samples to the training set does not require re-calibration of the model. As the sample size increases, the estimate surface converges to the optimal regression surface. Thus, it requires many training samples to span the variation in the data and all these to be stored for the future use. Solely, this causes a trouble of an increase in the amount of the computation to evaluate new points. In the course of time, highly improvements in the speed of the computer's processing power prevent this being a major problem. Furthermore, this also can be overcome by applying the various clustering techniques for grouping samples that each center is represented by this group of samples (21). However, there is only one disadvantage that there is no intuitive method for choosing the optimal smoothing factor.

### 2.3.1.4. Testing Stage

In order to understand whether an ANN is making good predictions, the test data that has never been presented to the network is used and the results are checked at this stage. The statistical methods of root-mean-square error (RMSE), the coefficient of multiple determination ( $R^2$ ) values have been used for making comparisons (13,22-25). These values are determined by the following equations:

$$RMSE = \left( \frac{1}{n} \sum_j |a_j - p_j|^2 \right)^{1/2} \quad (13)$$

$$R^2 = 1 - \left( \frac{\sum_j (a_j - p_j)^2}{\sum_j (p_j)^2} \right) \quad (14)$$

where;  $p$  is the predicted value,  $a$  the actual value and  $n$  the number of samples

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

The comparisons of experimental results with the ANN predictions which was trained by BPN and GRNN have been depicted in terms of percentage error for validation set of experiments. From Table 3, it is evident that for our set of data the neural network predicts the surface roughness closer to the experimental values. In the prediction of surface roughness values the average errors for BPN and GRNN are found to be as 5% and 9% respectively.

The average RMSE was found to be as 0.01 for BPN and 0.02 for GRNN. The value of the multiple coefficient of  $R^2$  between experimental results and ANN prediction is obtained as 0.99 for BPN and 0.96 for GRNN models. This value showed that BPN model fits well to the experimental results.

Table 3. Validation set used for ANN analysis trained with BPN and GRNN

Exp.no	Burnishing Force $F$ (kgf)	Number of passes $N$	Feed rate $f$ (mm/min)	Burnishing speed $V$ (rpm)	Measured Surface Roughness $R_a$ ( $\mu m$ )	BPN				GRNN			
						Predicted Surface Roughness $R_a$ ( $\mu m$ )	Error	RMSE	$R^2$	Predicted Surface Roughness $R_a$ ( $\mu m$ )	Error	RMSE	$R^2$
1	10	2	0.62	200	0.34	0.36	-0.02	0.0034	0.9969	0.31	0.03	0.0067	0.9906
2	10	3	0.80	600	0.36	0.37	-0.01	0.0013	0.9993	0.40	-0.04	0.0089	0.9900
3	11	4	0.27	200	0.50	0.52	-0.02	0.0034	0.9985	0.47	0.03	0.0067	0.9959
4	12	3	0.40	400	0.48	0.45	0.03	0.0074	0.9956	0.48	0.00	0.0000	1.0000
5	13	3	0.45	1000	0.51	0.47	0.04	0.0083	0.9928	0.47	0.04	0.0089	0.9928
6	15	3	0.10	600	0.66	0.64	0.02	0.0048	0.9990	0.51	0.15	0.0335	0.9135
7	17	4	0.27	600	0.84	0.88	-0.04	0.0080	0.9979	0.85	-0.01	0.0022	0.9999
8	18	4	0.30	800	0.89	0.91	-0.02	0.0048	0.9995	0.82	0.07	0.0157	0.9927
9	21	2	0.62	800	0.68	0.76	-0.08	0.0180	0.9889	0.75	-0.07	0.0157	0.9913
10	22	3	0.45	600	0.96	0.96	0.00	0.0001	1.0000	0.90	0.06	0.0134	0.9956
11	23	2	0.25	300	0.93	0.92	0.01	0.0013	0.9999	1.02	-0.09	0.0201	0.9922
12	24	4	0.62	200	1.27	1.04	0.23	0.0514	0.9511	0.87	0.4	0.0894	0.7886
13	25	2	0.80	1000	0.70	0.87	-0.17	0.0369	0.9618	0.75	-0.05	0.0112	0.9956
14	10	3	0.62	900	0.36	0.37	-0.01	0.0024	0.9993	0.63	-0.27	0.0604	0.8163
15	11	4	0.45	800	0.47	0.46	0.01	0.0018	0.9995	0.65	-0.18	0.0402	0.9233
16	12	2	0.80	300	0.39	0.39	0.00	0.0002	1.0000	0.33	0.06	0.0134	0.9669
17	13	3	0.80	600	0.49	0.45	0.04	0.0079	0.9921	0.63	-0.14	0.0313	0.9506
18	14	4	0.50	700	0.65	0.64	0.01	0.0020	0.9998	0.67	-0.02	-0.0045	0.9991
19	9	2	0.27	800	0.28	0.35	-0.07	0.0162	0.9600	0.28	0.00	0.0000	1.0000
20	25	4	0.27	1000	1.29	1.05	0.24	0.0537	0.9478	1.12	0.17	0.0380	0.9770
						Average error: 5%				Average error: 9%			
						Average RMSE: 0.01				Average RMSE: 0.02			
						Average $R^2$ : 0.99				Average $R^2$ : 0.96			

#### 4. CONCLUSIONS

In this study, for the modeling of the effects of ball burnishing parameters (burnishing force, number of passes, feed rate and burnishing speed) on the surface roughness of the AA 7075 aluminum alloy depending on various processing parameters, an ANN-based approach with BPN and GRNN train algorithms have been suggested and successfully implemented. Very close agreement was obtained with the measured actual results.

The experimental results showed that the BPN network has better learning ability and gave the closest results (with average error of 5% and multiple coefficient of 0.99) for the low plasticity burnishing process than the GRNN (with average error of 9% and multiple coefficient of 0.96) network.

#### 5. REFERENCES

1. Kukielka, L., "Designating the field areas for the contact of a rotary burnishing element with the rough part, providing a high-quality product", *Journal of Mechanical Technology* 19, 319–356, 1989.
2. Axir, M.H., "An investigation into roller burnishing", *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 40, 1603–1617, 2000.
3. Loh, N.H., Tam, S.C., Miyazawa, S., "A study of the effects of ball-burnishing parameters on surface roughness using factorial design", *Journal of Mechanical Working Technology* 18, 53–61, 1989.
4. Hassan, A.M., "The effects of ball- and roller-burnishing on the surface roughness and hardness of some non-ferrous metals", *Journal of Materials Processing Technology*, (72), 385–391, 1997.
5. Wick, C., Veilleux, R.F., "Tool and manufacturing engineers handbook", *Soc. Manuf Eng*, 16–38, 1985.
6. Hassan, A.M., AL-Bsharat, A.S., "Influence of burnishing process on surface roughness hardness and microstructure of some nonferrous metals", *Wear* 199, 1–8, 1996.
7. Ezugwu, E.O., Fadarea, D.A., Bonneya, J. Da Silva, R.B., Sales, W.F., "Modelling the correlation between cutting and process parameters in high-speed machining of Inconel 718 alloy using an artificial neural network", *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 45, 1375–1385, 2005.
8. Ezugwu, E.O., Arthur, S.J., Hines, E.L., "Tool-wear prediction using artificial neural Networks", *J. Mater. Process. Technol.* 49, 255–264, 1995.
9. Dimla Sr., D.E., "Application of perceptron neural networks to toolstate classification in a metal-turning operation", *Eng. Appl. Artif. Intell.* 12, 471–477, 1999.
10. Sick, B., "On-line and indirect tool wear monitoring in turning with artificial neural networks: a review of more than a decade of research", *Mech. Syst. Signal Process.* 16 (4), 487–546, 2002.
11. Dimla Jr. D.E., Lister, P.M., Leighton, N.J., "Neural network solution to the tool condition monitoring problem in metal cutting—a critical review of methods", *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 37(9), 1219–1241, 1997.
12. Petropoulos, G.A., Torrance, A., Pandazaras, C.N., "Abbott curves characteristics of turned surfaces", *Int J Mach Tool Manuf*, 43, 237–243, 2003.

13. Nalbant, M., Gokkaya, H., Toktas, I., Sur, G., "The experimental investigation of the effects of uncoated, PVD- and CVD-coated cemented carbide inserts and cutting parameters on surface roughness in CNC turning and its prediction using artificial neural networks", *Robot Comput Integr Manuf.*, doi:10.1016/j.rcim.2007.11.004, 2008.

14. MATLAB 6.5, "The Language of Technical Computing release 13", Natick, The MathWorks, Inc., 2002.

15. Juang, S.C., Tarn, Y.S., Lii, H.R., "A comparison between the back-propagation counter-propagation networks in the modeling welding process", *Journal of Materials Processing Technology* 75, 54–62, 1998.

16. McClelland, J., Rumelhart, D., "Parallel Distributed Processing", vol. 1, MIT Press, Cambridge, MA, 1986.

17. Specht, D.F., "A General Regression Neural Network", *IEEE Trans. Neural Networks*, 2, 568-576, 1991.

18. Parzen, E., "On Estimation of a Probability Density Function and Mode", *Ann. Math. Stat.*, 33, 1065-1076, 1962.

19. Tomandl, D., Schober, A., "A Modified General Regression Neural Network (MGRNN) with New, Efficient Training Algorithms as a Robust 'black box'-tool for Data Analysis", *Neural Networks*, 14, 1023-1034, 2001.

20. Cacoullos, T., "Estimation of a multivariate density. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*", 18, 179-189, 1966.

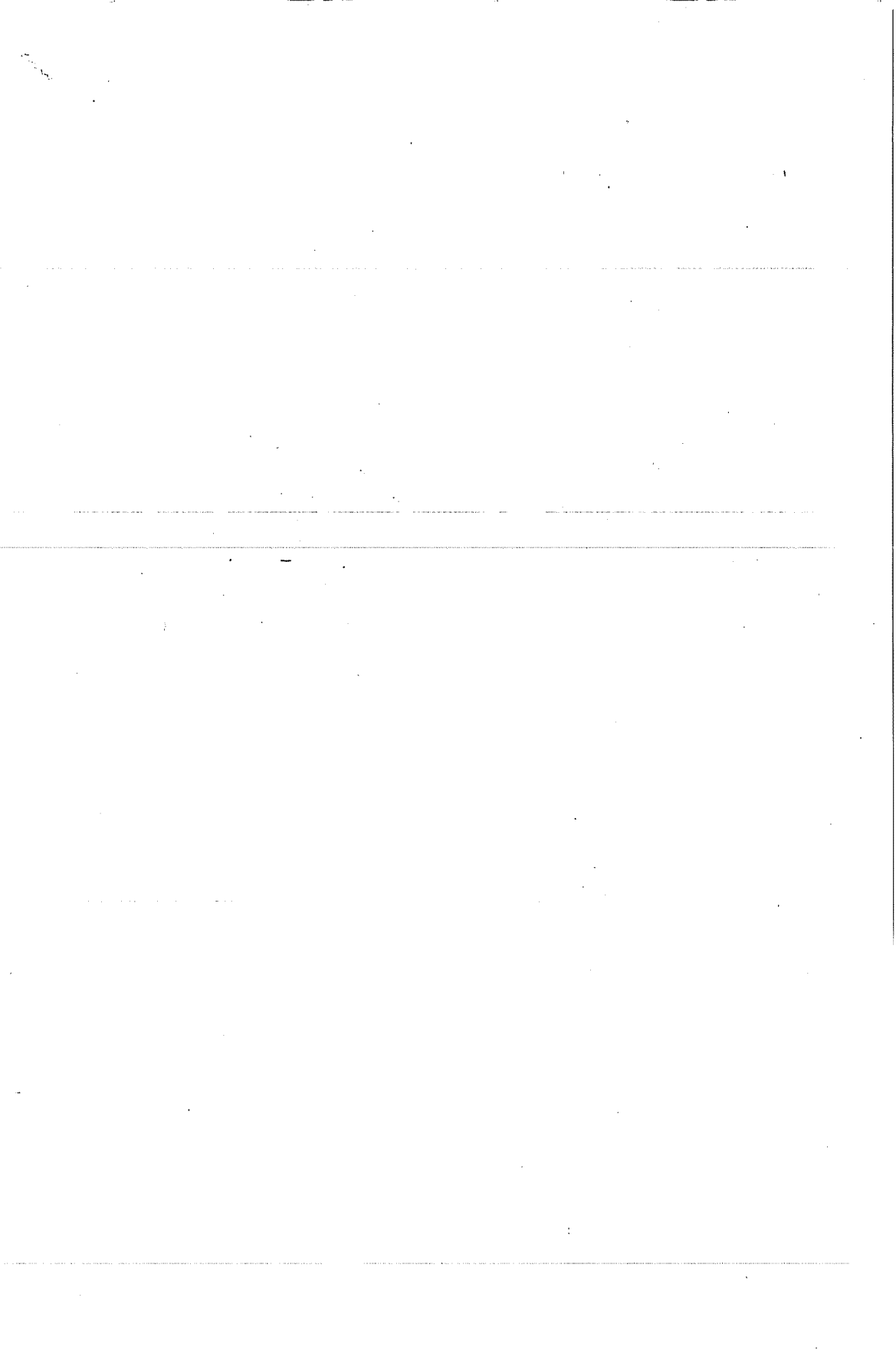
21. Ersoz, I., Ibrikci, T., Cakmak, A., Ersoy, O.K., "Secondary Structure Prediction of Hemoglobin by Neural Networks", *ANNIE 2004 Artificial Neural Networks in Engineering*, University of Missouri-Rolla, Missouri, USA, 2004.

22. Arcaklioglu, E., "Performance comparison of CFCs with their substitutes using artificial neural network", *I J Energy Res* 28, 1113–1125, 2004.

23. Sozen, A., Arcaklioglu, E., Ozalp, M., Caglar, N., "Forecasting based on neural network approach of solar potential in Turkey", *Renewable Energy* 30, 1075–90, 2005.

24. Sozen, A., Arcaklioglu, E., Ozkaymak, M., "Turkey's net energy consumption", *Appl. Energy* 81, 209–221, 2005.

25. Toktas, I., Akturk, N., "A new approach using artificial neural Networks for conceptual design of cylindrical helical gears", In: *Proceedings of the MTET 2005 1st international vocational and technical education technologies congress*, Marmara University, 754–62, 5–7, Istanbul/Turkey, September 2005.





**PAMUK ATIKLARI VE TEKSTİL KÜLLERİ İLE ÜRETİLEN HAFİF YAPI  
MALZEMELERİNİN YALITIM ÖZELLİKLERİ****Hanifi BİNİCİ***K.S.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş/Türkiye***Orhan AKSOĞAN***Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye***Remzi GEMCİ***K.S.Ü., Tekstil Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş/Türkiye*

**ÖZET** : Dünyanın birçok bölgesinde çok miktarda pamuk ve tekstil atıkları bulunmaktadır. Bu atıkların büyük bir kısmı çevre kirliliği yapmaktadır. Bu çalışmada Kahramanmaraş Tekstil Fabrikalarından elde edilen atık malzeme (pamuk atığı) ve küllerin yalıtım elemanı üretiminde katkı maddesi olarak kullanılması araştırılmıştır. Farklı oranlarda dört karışım yapılmıştır. Üretilen panellerin ve blokların ısı yalıtımı gibi birçok mühendislik özellikleri araştırılmıştır. Örneklerin basınç ve eğilme dayanımları, birim ağırlıkları, su emme oranları ilgili standartlara göre bulunmuştur. Bütün araştırmalar Türk standartlarına göre yapılmıştır. Atık tekstil küllü ve pamuk atıkları ile desteklenmiş blok ve panellerin üstün mühendislik özellikleri olduğu görülmüştür. Sonuçlar söz konusu küllerin ve pamuk atıklarının yalıtım malzemesi üretiminde kullanılabileceğini göstermiştir

**INSULATION PROPERTIES OF LIGHT CONSTRUCTION MATERIALS  
MADE WITH COTTON AND TEXTILE ASH WASTES AS ADMIXTURES**

**ABSTRACT** : Huge amounts of cotton and textile ash wastes are disposed from countries all over the world. The majority of cotton wastes and textile ash wastes is abandoned and causes serious environmental problems. This paper presents a parametric experimental study, which investigates the potential use of cotton and textile ash combination for producing new low cost and lightweight composite as a building material. The physical and mechanical properties of concrete mixes having cotton waste and textile ash waste are investigated. The compressive strength, flexural strength, unit weight and water absorption values of the product satisfy the relevant standards. The thermal insulation of brick is also carried out. The cotton and textile ash wastes bricks house has been found to be superior to the concrete brick house for sustained comfortable indoor temperatures. The process undertaken can be easily applied in the current brick plants. It yields a lighter weight composite having potential to be used for walls, wooden board substitute, economically alternative to the concrete blocks, ceiling panels, sound barrier panels, etc.

## 1. GİRİŞ

Termik santrallerde çok ince partiküller baca çekişi ile taşınarak elektro filtrelerde toplanır. Bu küller baca gazları ile sürüklenir. Daha sonra küller hava ile temas ederek ani soğuma sonucu puzolanik özellik kazanırlar. Genellikle küresel bir yapıya sahip olan bu küllerin çapları 1–100 mikron arasındadır. Termik santrallerin atık uçucu küllerinin değerlendirilerek hem ekonomiye kazandırılması hem de çevreye verdiği zararı en aza indirmek için çalışmalar yapılmaktadır. Ülkemizde milyonlarca ton uçucu kül termik santrallerde yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Bu miktarın çok az bir kısmı çimento üretiminde, baraj enjeksiyonlarında ve tuğla üretiminde kullanılmaktadır. Oysa endüstriyel bir atık olan uçucu küllerin birçok ülkede değişik ve yaygın kullanım alanları vardır (1).

Puzolanik bir madde olan uçucu küllerin betonda katkı maddesi olarak kullanılmasına 1950'li yıllarda kuzey Amerika ülkelerinde başlanmış ve 1970'li yıllarda enerji krizinden sonra yaygınlaşarak devam etmiştir (2). Enerji ihtiyacına paralel olarak üretim miktarı büyük ölçülere ulaşan uçucu küllerin tarımda, kimya endüstrisinde, zemin ıslahından çeşitli yapı malzemesi üretimine kadar çok sayıda potansiyel kullanım alanları bulunmaktadır (3).

Uçucu küllerin daha kolay kohezyonlu bir beton sağlamkla birlikte akışkanlığı azalttığı, bu nedenle bir akışkanlaştırıcı madde ile beraber kullanılması gerekebileceği açıklanmaktadır (4). Puzolan kullanım amaçları beton teknolojisinde enerji tasarrufu sağlamak ve betona taze ve sertleşmiş halde bazı yeni özellikler kazandırmaktır. Puzolanların etkinlikleri, mineralojik ve kimyasal yapısına, aktivitesine, kullanım miktarına ve beton bileşim özelliklerine bağlıdır. Yüksek miktarda CaO içeren uçucu küller betonda ilk yaşlardaki mukavemetleri de artırmakta ve oldukça yüksek son mukavemet vermektedir. Bunların süper akışkanlarla kullanılması ile yüksek mukavemetli beton üretiminde yeni bir çığır açılmıştır (5). Uçucu küller betonda termik rötreyi önlemek için kütle betonu yapımında kullanılmalıdır. Bu malzemelerin doğrudan betona katılması durumunda büyük enerji tasarrufu sağlanabilir. Uçucu küller çok ince olduklarından geçirimsiz beton üretiminde kullanılabilir (6).

Kahramanmaraş'ta tekstil fabrikaları çok yaygındır ve sürekli gelişmektedir. Bu fabrikalarda tekstil üretim prosesinde yüksek ısı elde etmek için linyit kömürü yakılmaktadır. Bu kömürlerin külleri daha sonra her fabrika için ciddi çevre sorunlarına neden olmaktadır. İldeki tekstil fabrikalarının her yıl yüz binlerce ton kül atığı heba edilmektedir. Bu küller şehrin çöp merkezlerine veya boş alanlara atılmakta ve kimi zaman dolgu işlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca bu fabrikaların son atık ürünleri değerlendirilememektedir. Homojen olmayan pamuk atıkları da çalışmada değerlendirilmiştir.

Üretilen örnekler Türk standartlarında bulunan testlere tabi tutularak mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada, atıl durumdaki kül ve pamuk atıklarının ekonomiye kazandırılması amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Çalışmada, Kahramanmaraş, ilinde yaygın olarak bulunan tekstil fabrikalarının atıkları olan küller ve pamuk atıkları kullanılmıştır. Küller alındıktan sonra 200

mikronluk elekten elendiğinde çok ince olduğu görülmüş ve Blaine değerlerinin 2400 cm<sup>2</sup>/g olduğu anlaşılmıştır. Deneylede kullanılan kül ve CEM I çimentonun kimyasal içerikleri Tablo 1’de, fiziksel analizleri ise Tablo 2’de verilmiştir. Kullanılan malzemelerin görüntüsü Şekil 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Kül ve Çimentonun Kimyasal İçerikleri

Katkı türü	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Yanma kaybı
Kül	32.46	9.76	11.12	31.46	3.11	0.63	0.54	8.42	2.50
CEM I	19.40	5.36	3.79	64.30	2.25	0.90	0.09	2.47	1.22

**Tablo 2.** Kül ve Çimentonun Fiziksel Özellikleri

Malzeme	Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /gr)	İncelik	
			200 µ Elek Üzerinde kalan %	90 µ Elek Üzerinde kalan %
Kül	2.30	3600	0.34	1.65
CEM I	3.14	3269	0.24	1.45



**Şekil 1.** Kullanılan Pamuk Atığı

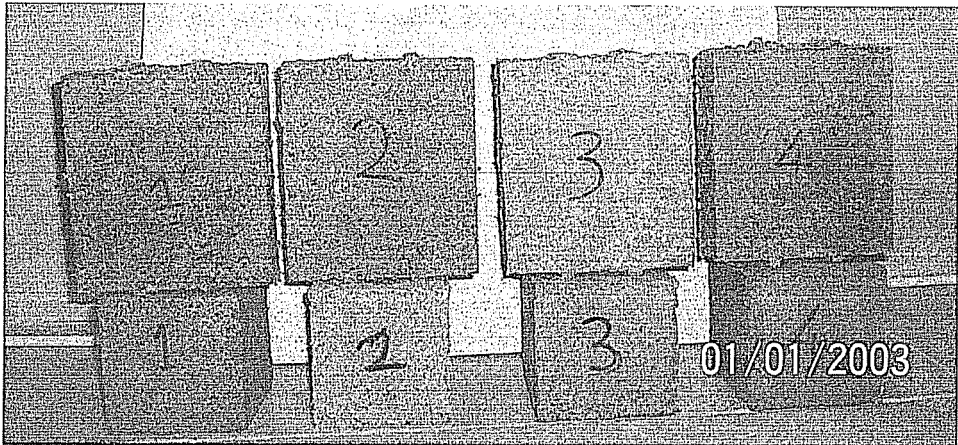
## 2.2. Metot

Tekstil külü camsı yapısı ile parlak bir görünüme sahiptir. Tekstil külleri fabrika baca filtrelerinden çıktığından oldukça incedir. Kül ve pamuk atığı, çimento ve su değişik oranlarda karıştırılarak uygun kıvam elde edildikten sonra kalıplanmış ve 28 günlük basınç dayanımları ile diğer standart özellikleri test edilmiştir. Pamuk atıkları

organik bir madde olduğundan zaman içerisinde çürütücü bakteriler oluşabilmektedir. Bu riski ortadan kaldırmak için karışımlarda anti bakteriyel ilaç kullanılmıştır. Karışım oranları Tablo 3'te verilmiştir. Üretilen blokların görüntüsü Şekil 2 ve deneysel çalışmalar için hazırlanan model evler Şekil 3'te verilmiştir.

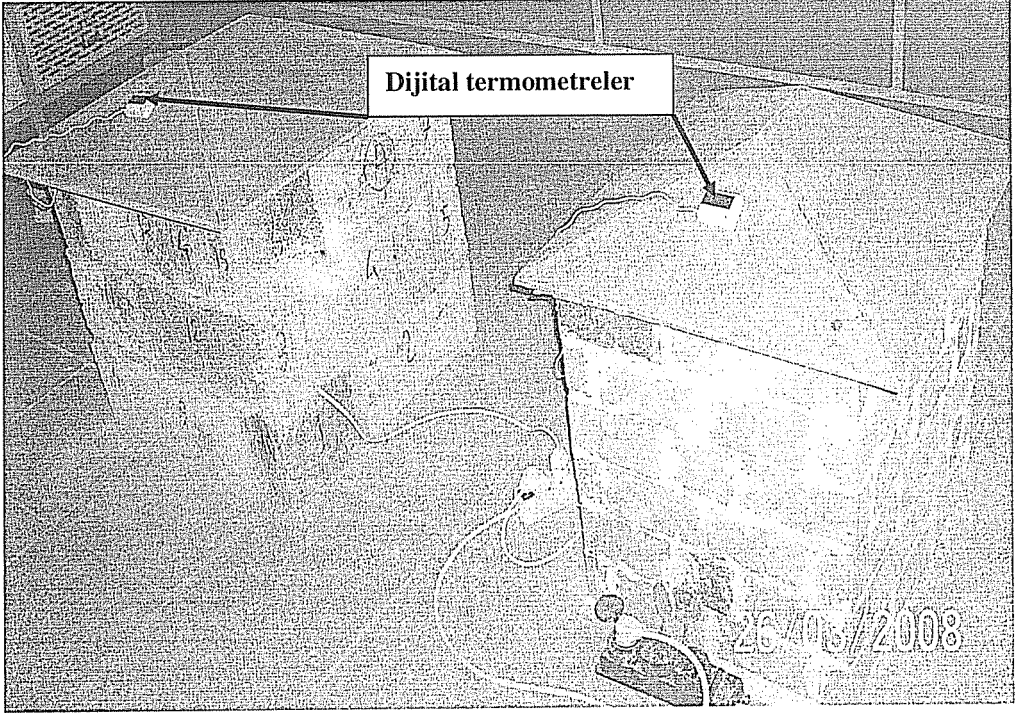
**Tablo 3.** Harç bileşenleri (gr)

No	Seri	Bileşenler			
		Kül	Çimento (CEM I)	Pamuk atığı	Su
1	I	400	300	200	490
2		400	300	200	490
3		400	300	200	490
1	II	500	400	200	520
2		500	400	200	520
3		500	400	200	520
1	III	400	500	100	520
2		400	500	100	520
3		400	500	100	520
1	IV	500	400	100	450
2		500	400	100	450
3		500	400	100	450



**Şekil 2.** Üretilen Plaka ve Bloklar

Model ev yapımında dolu tuğla boyutu (5 x 9 x 19 cm) olan elemanlar ve 10 x 20 x 40 cm boyutlu briketler kullanılmıştır. Üretilen model evlerin birincisi geleneksel briket malzemeden diğeri ise bu çalışmada üretilen pamuk ve tekstil külü atıklarıyla üretilen bloklarla yapılmıştır. Öncelikle laboratuvar ortamının dış mekan sıcaklığı ölçülmüştür (15 °C).Deney süresince bu sıcaklığın değişmemesi sağlanmıştır. Her iki model evin iç ortamı özdeş ısıtıcılarla kontrollü olarak (termostatla) 30 dakika ısıtılmıştır. Daha sonra ısıtma işlemi durdurulmuş ve her 30 dakika sonra model evlerin iç ortamlarının sıcaklığı kaydedilmiştir. En son 150 dakika sonraki okuma elde edilmiş ve elde edilen sonuçlar verilmiştir.



Şekil 3. Üretilen Model Evler

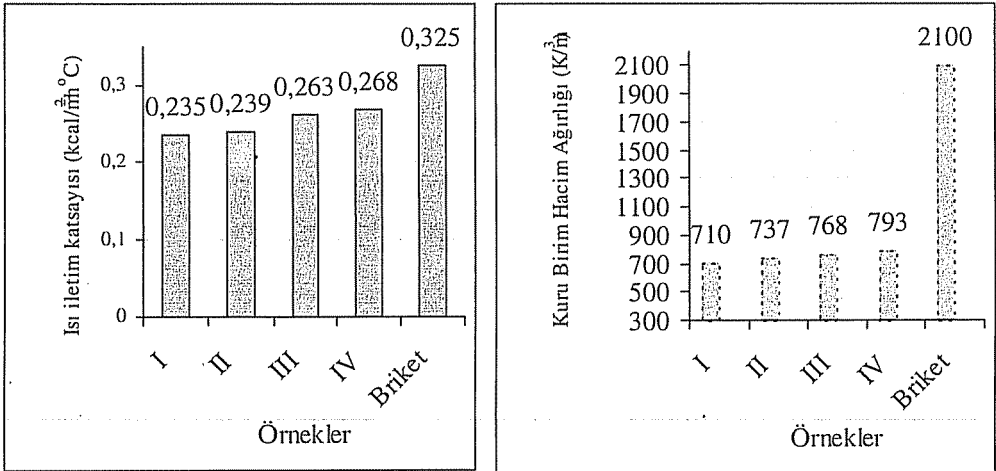
### 3. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

Blokların fiziksel özellikleri TS 2823'e su emme özellikleri ASTM C 67-03'e, [7] ısı yalıtımı TS 415 ve TS 2381'e göre yapılmıştır. Basınç dayanımı için 105 x 90 x 75 mm ve eğilme dayanımı için ise 105 x 225 x 75 mm boyutlarında numuneler üretilmiştir. Örneklerin basınç ve eğilme dayanımları bulunmuştur. Örnekler üzerinde yapılan deneylerin sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Deney Sonuçları

Örnekler	Basınç dayanımı (MPa)	Eğilme dayanımı (MPa)	Kuru Birim hacim ağırlık ( $\text{kg/m}^3$ )	Su emme (%)	Isı yalıtım katsayıları ( $\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ )
I	8.95	2.95	710	26	0.235
II	11.25	2.85	737	25	0.239
III	13.40	2.35	768	30	0.263
IV	11.60	2.40	793	32	0.268
Ortalama	<b>11.3</b>	<b>2.63</b>	<b>752</b>	<b>38.3</b>	<b>0.250</b>

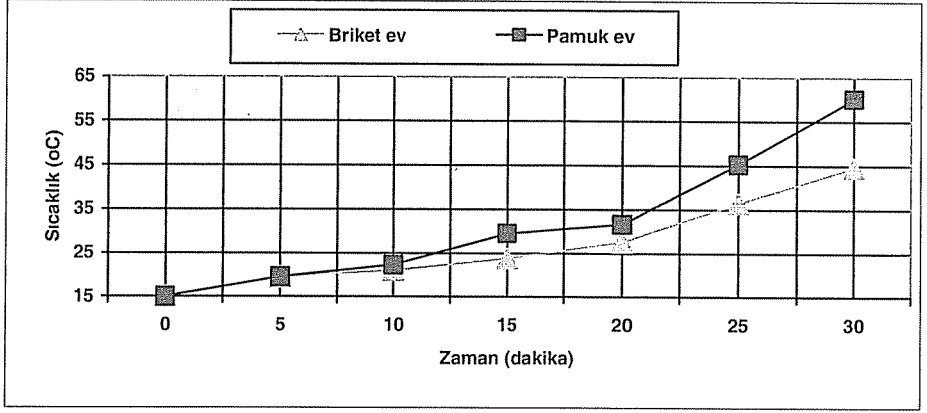
Genellikle birim hacim ağırlığı arttıkça malzemenin ısı yalıtım değeri düşmektedir. Zira çimento miktarı fazla olan numunenin (III) birim ağırlığı en fazla oysa ısı yalıtım değeri en azdır (Şekil 4). Diğer yandan çimento miktarı en çok olan III. örneğin basınç dayanımı en büyük iken pamuk atığı miktarı en çok olan örneğin de eğilme dayanımı en büyüktür.

**Şekil 4.** Numunelerin ısı yalıtım katsayısı ve kuru birim hacim ağırlıkları

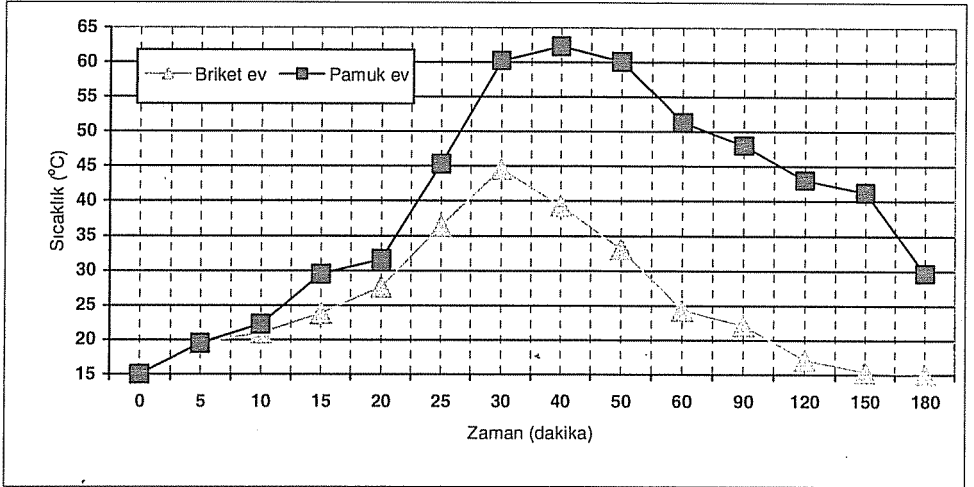
Model evlerden elde edilen sıcaklık değerleri Tablo 5, Şekil 5 ve 6'da verilmiştir.

**Tablo 5.** Model Evlerden Elde Edilen Sıcaklık Değerleri

Model evler	Isınma ısısı (°C)	Isınma süresi (dakika)	150 dakika Sonraki sıcaklık (°C)	Toplam ısı kaybı (°C)
Briket ev	45.3	30	27.4	17.9
Pamuk ev	60.2	30	49.6	10.6



**Şekil 2.** Model evlerin zamanla ısınma sırasındaki sıcaklık değişimi



**Şekil 3.** Model evlerin soğuma sırasındaki sıcaklık değişimi

Bu çalışmada, çeşitli miktarlarda atık kül, atık pamuk ve çimento ile üretilen hafif malzemelerin betonun yalıtım özelliği üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Sonuçlar, atık tekstil külü ve pamuğun yapı elemanlarının yalıtım özelliklerinde iyileşme ve dolayısıyla çevreye kaybedilen ısı miktarlarında bir azalma sağlanabileceğini göstermektedir. Atık tekstil külü ve pamukla üretilen evdeki ısı kaybı briketle üretilen eve göre son derece küçük olmuştur. Briket evdeki toplam ısı kaybı, atık tekstil külü ve pamukla üretilen bloklarla yapılan evde çok daha fazla olmuştur. Diğer yandan aynı hacme sahip briket ve pamuk evlerin ısınma düzeyleri zamana göre farklı bulunmuştur. Bunun nedeni malzeme içerisindeki pamuk miktarına bağlanmıştır. Isı yalıtım katsayıları da aynı malzemelerde farklı bulunmuştur. Bunun nedeni de yine malzeme içerisindeki çimento ve kül oranıyla açıklanabilir. Tekstil külü ve pamukla üretilen blokların ısı yalıtım katsayısı briquete göre %29 daha küçük bulunmuştur. Bu sonuç aynı sürede pamuk evin briquete göre daha hızlı ısınabildiğini göstermektedir. Kullanılan katkı malzemelerinin atık olması nedeniyle, sağlanan yalıtım iyileştirmeleri düşük bir ek maliyetle gerçekleştirilebilecektir. Atık tekstil külü ve pamuk esaslı malzeme ilavesinin, yapının en azından yük taşımayan dış panelleri ve tavan yalıtımı açısından önemli olduğu göz önüne alınmalıdır.

#### 4. SONUÇLAR

Dünyadaki enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Türkiye’de harcanan enerjinin yaklaşık % 40’ı konutlarda tüketilmektedir [8]. Bu enerjinin % 80’i de ısınma amaçlıdır. Türkiye’de tüketilen enerjinin % 65’inden fazlası ithal edilmektedir. Bu yüzden üretilen malzemeler yapılarda önemli oranda ısı tasarrufuna katkı sağlayacaktır.

Üretilen blokların birçok mühendislik özelliği avantajlar sunmaktadır. Bu avantajlar aşağıda sıralanmıştır.

- 1- Yeterli basınç ve eğilme dayanımı vardır.
- 2- Üstün ısı yalıtım özelliğine sahiptir.
- 3- Atık olan pamukların ve tekstil küllerinin ekonomiye kazandırılmasının yanında çevre kirliliğinin önüne geçilecektir.
- 4- Özellikle istenilen boyutta üretilebileceğinden duvar malzemesi olarak kullanılabilir.
- 5- Binaların zati (kendi) ağırlıkları deprem sırasında yapının hasar görmesine katkı yaptığından bu yükün azaltılması çok önemlidir. Önerilen bu malzeme ile bina yükleri de azaltılabilmektedir.

#### 5. TEŞEKKÜR

Çalışma sırasında gerekli katkıları sağlayan Teknisyen Abdulselim Akdağ ve Fatih Binici’ye teşekkür ederiz.

#### 6. KAYNAKLAR

1. Kılınçkale, M.F., "Uçucu Küllü Çimento Üretiminde Uçucu Külün Öğütme Şeklinin Çimento Üzerinde Etkisi" Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Bildiriler Kitabı, TMMOB yayını, 172 s, Ankara, 1995.
2. Baradan, B., "Yapı Malzemesi II", Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, Genişletilmiş Üçüncü Baskı, s.149, İzmir, 1994.



3. Tokyay, M., "Traslı Çimento Nedir? Ne Değildir?" TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 12 -15 Aralık, Ankara, 1994.
4. Akman, M.S., "Traslı Çimento Nedir? Ne Değildir?" TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 12 -15 Aralık, Ankara, 1994.
5. Özturan, T., "Yüksek Mukavemetli Beton Üretiminde Mineral Katkı Maddelerinin Etkinliği", 2.Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 1991.
6. Temiz, H., "Uçucu Kül ve Silis Dumanının Beton Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi", Doktora Tezi, Elazığ, 1997.
7. ASTM C 67-03, Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials; 2003.
8. Tanrıverdi, E., Isı yalıtım ve tasarrufu, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 427, 109-115, 2004.



**POLYESTER LİFLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BETON KİRİŞLERİN  
MEKANİK ÖZELLİKLERİ****Hanifi BİNİCİ,***K.S.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş/Türkiye***Remzi GEMCİ,***K.S.Ü., Tekstil Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş/Türkiye***Cevher Deha TÜRKÖZER ve Orhan AKSOĞAN***Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye***Gülden KOÇ***K.S.Ü., Tekstil Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş/Türkiye*

**ÖZET :** Dünyanın birçok bölgesinde çok miktarda tekstil atıkları bulunmaktadır. Bu atıkların büyük bir kısmı çevre kirliliği yapmaktadır. Bu çalışmada Kahramanmaraş Tekstil Fabrikalarından elde edilen polyester lif katkılı betonla üretilen kirişlerin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Polyester liflerinin beton matrisine ilavesi ile kirişin, eğilme ve çekme özelliklerinde önemli bir iyileşmenin meydana geldiği gözlenmiştir. Beton kirişin eğilme mukavemetindeki artışın, tek eksenli çekme mukavemeti ile karşılaştırıldığı zaman daha önemli olduğu görülmüştür. Liflerin %0.01, 0.02 ve 0.03 oranlarında ilavesi ile beton kirişin eğilme mukavemetinde sırasıyla %41, 43 ve 45'e kadar artışlar meydana gelmiştir. Bununla birlikte lif takviyesiyle betonun basınç dayanımı bir miktar azalmıştır.

**MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE BEAMS STRENGTHENED  
MADE WITH POLYESTEYRENE FIBERS**

**ABSTRACT :** Huge amounts of textile wastes are disposed from countries all over the world. The majority of cotton wastes and textile wastes are disposed and cause serious environmental problems. This paper presents a parametric experimental study; the effect of polyesteyrene fibers on the mechanical properties of concrete beams was studied. A significant improvement in the flexural and tensile properties of the beams was obtained by addition of polyesteyrene fibers. The flexural strength of the strengthened beams were compared with those of the control ones and a significant increase was observed. The increase obtained was 41,43 and 45% with the addition of 0.01, 0.02 and 0.03% wt., respectively. However, the compressive strength of the concrete slightly decreased by the addition of fibers.

## 1. GİRİŞ

Çokça kullanılan yapı malzemelerinden biri olan beton, büyük basınç kuvvetlerini taşıyabilmesi özelliği ile bilinir. Buna karşın, çekme etkisi altındaki davranışı zayıftır [1]. Beton yarı gevrek bir malzeme olduğundan çekme dayanımı düşüktür ve betonarme yapıların projelendirilmesinde dikkate alınmaz. Betonun basınç altındaki davranışı üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. Ancak, betonun kırılma davranışının daha iyi anlaşılması ve çekme ile ilgili özelliklerin ve kırılma parametrelerinin belirlenmesi için daha fazla bilgiye gereksinim vardır [2]. Betonun dayanımı ve diğer mekanik özellikleri çeşitli katkı maddeleri yardımıyla iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Katkı maddeleri olarak değişik kimyasalların yanı sıra çeşitli türlerde çelik lifler de kullanılmaktadır. Beton basınç dayanımı arttıkça, betonun kırılması sırasında bağıl olarak daha az enerji yuttuğu bilinmektedir. Betona çelik lif katkısı yapıldığında ise, daha yüksek enerji yutma kapasitesine sahip, kırılma anında daha sünek davranış sergileyebilen ve çatlama riski daha düşük olan malzemeler ortaya çıkmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı da çelik lifli betonlara talep giderek artmaktadır [3].

Betonun çekme gerilmesi, basınç gerilmesinin yaklaşık onda biri kadardır. Betonun duktilitesini ve çekme dayanımını arttırmak için betona çelik çubuklar yerleştirilmektedir. Bununla beraber yalın betonun çekme dayanımı, çatlak direnci, aşınma ve darbe dayanımı, tokluk gibi mekaniksel özelliklerini geliştirmek için içerisine lifli malzemeler katılmaktadır. Lifli beton, donatısız betondan farklı fiziksel özelliklere sahip kompozit bir malzemedir [4]. Lifler beton matrisi içerisinde genellikle sürekli veya süreksiz rastgele dağılmakta, betonda mikro donatı vazifesini görüp çatlakların fazlaca gelişmesini engellemektedir. Lifli betonun en önemli mekaniksel özelliklerinden birisi, enerji yutabilme kapasitesidir. Tokluk olarak da adlandırılan bu özellik, yük-sehim eğrisinin altında kalan alan ile ifade edilir. Çatlak direnci, duktilite ve darbe direnci gibi birçok malzeme özelliği enerji yutabilme kapasitesi ile ilişkilidir. Artan kullanımı nedeni ile yapı dünyasında yerini alan lifli betonlar üzerine çalışmalar, son yıllarda yoğunluk kazanmıştır. Betona yeni özellikler kazandırmak ve bazı özelliklerini de belirgin olarak iyileştirmek için içerisine çelik, cam ve polipropilen lifler yanında kimyasal ve puzalanık katkı maddeleri de katılmaktadır [5-8]. Betonlarda kullanılan lifler, çekme ve eğilme dayanımını arttırmakta, rötre çatlaklarını ise önemli ölçüde azaltmaktadır [9,10].

Dayanım, süneklik ve dayanıklılık gibi özelliklere sahip malzeme arayışı, lifli ve yüksek performanslı beton gibi malzemelere olan ilginin artmasına neden olmuştur [11-19]. Bu tür malzemelerin kullanım alanları gün geçtikçe artmakta ve kompozitlerin özelliklerini geliştirmek için önemli adımlar atılmaktadır [20-22].

Bu çalışmada, beton bir kirişe çelik donatı yerine polyester lifler katılarak kirişin eğilme ve basınç dayanımları gibi özellikleri incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1 Çimento

Deneylerde kullanılan CEM I çimentonun kimyasal içerikleri Tablo 1'de, fiziksel özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Çimentonun Kimyasal İçerikleri (%)

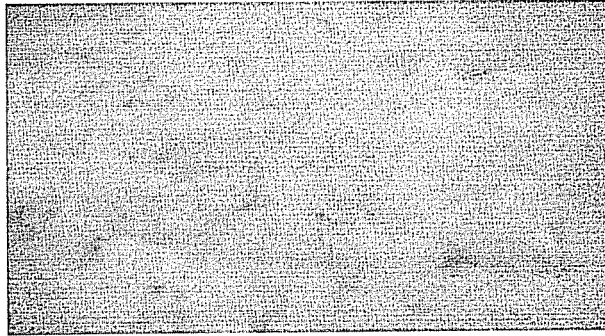
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Yanma kaybı
19.40	5.36	3.79	64.30	2.25	0.90	0.09	2.47	1.22

**Tablo 2.** Çimentonun Fiziksel Özellikleri

Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	İncelik	
		200 µ elek üzerinde kalan %	90 µ elek üzerinde kalan %
3.18	3260	0.24	1.45

### 2.1.2. Polyester

Kullanılan lifli malzemelerin görüntüsü Şekil 1’de verilmiştir. Bu lifler asitlere karşı dayanıklı, bazlara karşı dayanıksız olup yükseltgen ve indirgen maddelere karşı dayanıklıdır. Az rutubet absorbe etmesi sayesinde elektrik iletkenliği düşüktür. Güve ve zararlı böceklerden etkilenmez. Ayrıca küf ve mantar gibi mikroorganizmalardan da zarar görmez. Kullanılan polyester liflerinin fiziksel özellikleri Tablo 3’te verilmiştir.



**Şekil 1.** Kullanılan Polyester Lifler

**Tablo 3.** Polyester Liflerinin Fiziksel Özellikleri

Kopma dayanımı (g/denye)	Kopma anındaki uzama yüzdesi	Özgül ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> )	Normal şartlarda nem oranı (%)	Kesit şekli
4.5- 5.5	15-25	1.38	0.4	Enine kesitleri genellikle yuvarlaktır

### 2.1.3. Agregası

Maksimum tane boyutu 31,5 mm olan kırmataş kullanılmıştır. Agreganın tane dağılımı analizi Tablo 4’te verilmiştir.

**Tablo 4.** Agreganın Tane Dağılımı Analizi

Agrega türü	Elek göz boyutu	Yüzde geçen							
		31.5	16	8	4	2	1	0.5	0.25
Taş unu		100	100	100	100	71	62	47	22
0-5 Kırma kum		100	100	100	95	72	60	35	10
5-15 Kırma çakıl		100	100	88	22	0.5	0.1	0	0
5-25 Kırma çakıl		100	68	2	0.2	0	0	0	0

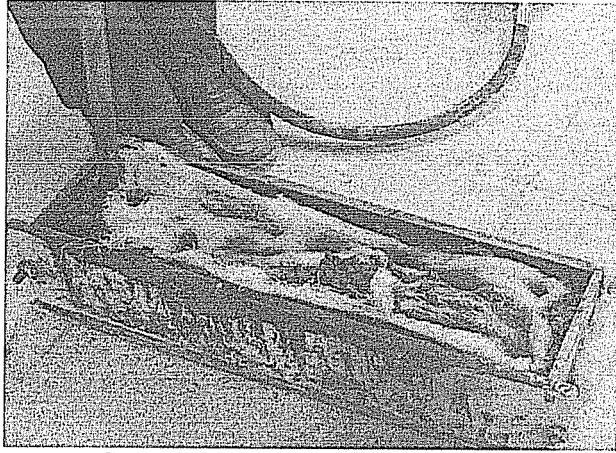
## 2.2. Metot

Çalışmada kullanılan betonun bileşen miktarları Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** Betonun Bileşen Miktarları

Bileşenler	Katkısız	%0.01	%0.02	%0.04
	beton	Polyestren katkılı beton	Polyestren katkılı beton	Polyestren katkılı beton
Çimento (kg)	3.65	3.65	3.65	3.65
Su (lt)	2.73	2.73	2.73	2.73
Kum (kg)	13.92	13.92	13.92	13.92
Çakıl (kg)	11.42	11.42	11.42	11.42
Taş unu (kg)	0.23	0.23	0.23	0.23
Süper akışkanlaştırıcı (lt)	0.042	0.042	0.042	0.042
Polyestren (kg)	-	0.003	0.006	0.09

Deneylerde Şekil 2'de görülmekte olup kiriş boyutuna göre hazırlanan ve üç tabaka halinde betona yerleştirilen lifler kullanılmıştır. Kiriş boyutları 300x300x600mm dir. Adana çimento fabrikası A.Ş.'nin üretmiş olduğu CEM I ve şebeke suyu kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0,4 alınmış ve süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. İlgili standartlara göre karışım hesapları yapıp %0.01, 0.02 ve 0.03 oranında lif ilavesiyle kirişler üretilmiştir. Sıkıştırma işlemi vibratörle yapılmıştır. Basınç dayanımı deneyi için hazırlanan taze beton harcı 150x150x150 mm'lik küp kalıplara yerleştirilip şişlenerek sıkıştırılmış ve su tankına konulmak üzere 23<sup>0</sup>C' deki kür odasında %90 bağıl nemde koruma altına alınmıştır. Burada 24 saat bekletildikten sonra 23<sup>0</sup>C'de değişmez sıcaklıktaki su tankında bekletilmiştir. 28 gün suda bekletildikten sonra çıkarılıp kurutulduktan sonra basınç deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 2. Numune Hazırlanması

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

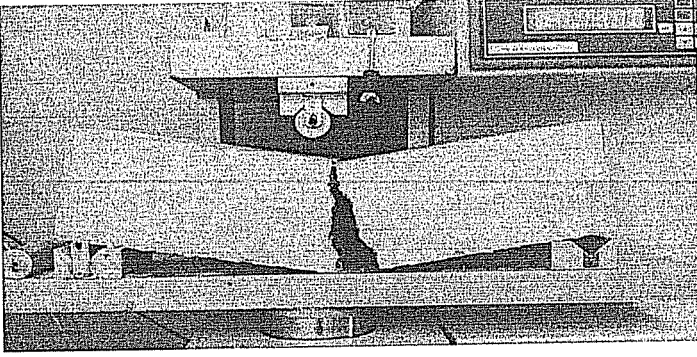
Malzemenin kullanılabilirliğinin belirlenmesinde eğilme dayanımı en önemli özelliktir. Şekil 3 ve 4'te görülen deney düzeneği hazırlanmış, mesnetler arası 500mm olarak ayarlanmış ve numunenin ortasında yükleme yapılabilmesi için ortasına silindirik şeklinde bir demir çubuk yerleştirilmiştir. Aletin presi demire tam oturacak şekilde indirilip, numunenin orta noktasının yaptığı deplasmanı hesaplamak için alete 0,001 mm hassasiyetinde bir kumparator bağlanmıştır. Aletin yükleme hızı 75kg/dakikaya ayarlanıp numuneler deneye tabi tutulmuştur. Her numune için yük-deplasman değerleri elde edilmiştir. Nihai basınç kuvveti (P) tespit edildikten sonra numunenin basınç dayanımı

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(1)$$

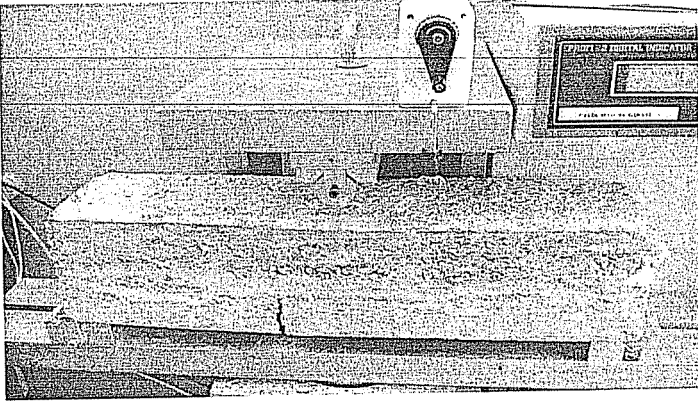
ve eğilme dayanımı

$$\sigma_c = \frac{3.P.L}{2bh^2} \dots\dots\dots(2)$$

İfadesi ile hesaplanmış ve Tablo 6'da verilmiştir. Basınç presi makinesi, beton numunesinin taşıyabileceği maksimum kuvvete (P) ulaştığı anda yüklemeye otomatik olarak son verilmektedir. Kontrol örneğinin yükleme sonrasında tamamen kırıldığı ( tam göçme) gözlenirken, lif takviyeli örneğin kırılmasına rağmen toptan göçmediği ve taşıma kapasitesinin devam ettiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3. Prizmatik Kontrol Kiriş Numunesinin Kırılması



Şekil 4. Prizmatik Lif Takviyeli Kiriş Numunesinin Kırılması

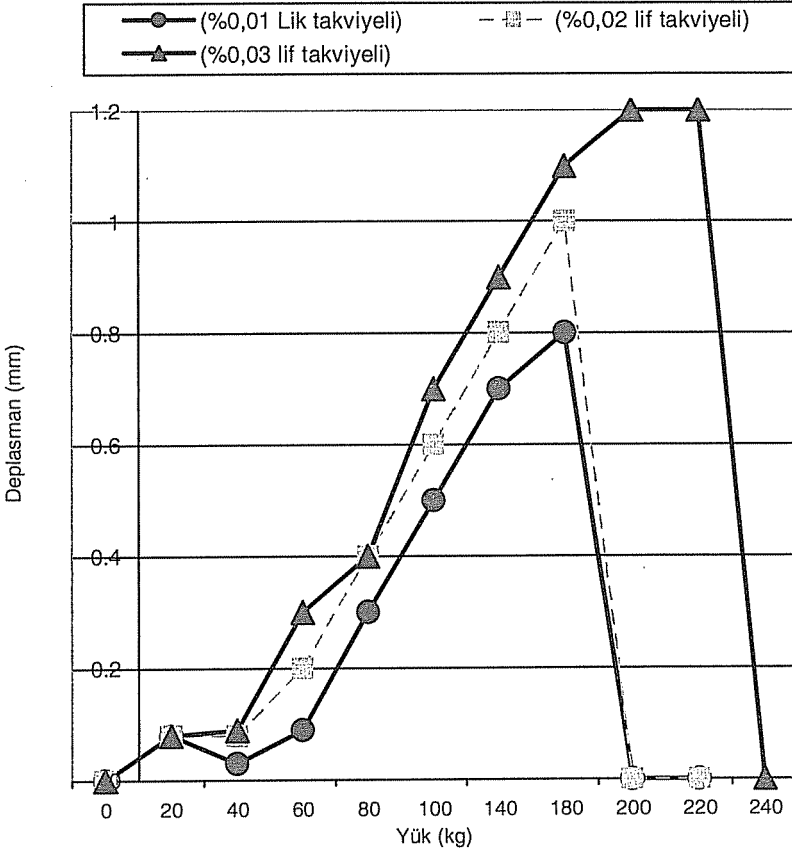
Tablo 6. Eğilme ve Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Örnekler	Basınç dayanımı ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	Eğilme dayanımı ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
Kontrol	180.7	8.18
%0.01 lif takviyeli	178.8	13.69
%0.02 lif takviyeli	172.3	14.11
%0.03 lif takviyeli	167.8	14.66

Lif katkısının basınç dayanımını çok fazla etkilemediği, aksine, lif oranı arttıkça az da olsa basınç dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir. Şekil 3'te kontrol örneğinin yüklemeye hemen sonra taşıma gücünü kaybetmiş ve tamamen göçmüştür. Şekil 4'te verilen lif takviyeli kirişin, taşıma kapasitesini çok daha fazla yük altında kaybetmesine rağmen toptan göçmediği gözlemlenmiştir. Bu davranış yapılarının deprem ve benzeri dinamik yük etkisinden sonra çok önemlidir. Çünkü bu davranış deprem sonrasındaki mal ve can kaybını azaltır.



Kontrol örneğine göre, %0.01 lif katkıli örneğin eğilme dayanımı %41, %0.02 lif katkıli olanın % 43 ve % ve %0.03 lif katkıli olanın %45 daha fazla elde edilmiştir. Sonuç olarak görülüyor ki, liflerin eğilme dayanımını önemli ölçüde artırmaktadır. Diğer yandan lif katkıli örneklerin basınç dayanımları kontrol örneğinin basınç dayanımına çok yakın bulunmuştu. Lif katkıli betonların yük-deplasman ilişkisi Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Lif Katkıli Betonların Yük-Deplasman Davranışı

Yük-deplasman ilişkisine göre, % 0.03 polyester lif katkıli örneğin çok daha esnek olduğu ve daha çok deformasyon gösterdiği gözlenmiştir. Normal betona polyester lif katılmasıyla şekil değiştirme ve eğilme dayanımı gibi betonun elastik özellikleri iyileştirilmektedir. Bu sayede deprem etkisi altında deplasmanların arttırılmasına katkı sağlayacağı için lifli betonlar önemli avantajlar sunmaktadır.

#### 4. SONUÇLAR

Üretilen lif katkılı betonların eğilme dayanımları, katkısız betona göre çok daha yüksek bulunmuştur. Beton kırışte boyuna polyester liflerin donatı görevi üstlendiği söylenebilir. Özellikle üç tabakalı yapılan örneğin eğilme dayanımı diğer örneklerden çok daha fazla bulunmuştur. Lifli betonlarla elde edilen süneklik düzeyi yüksek betonarme yapıların deprem kuvvetleri altındaki davranışını olumlu yönde etkileyecektir. Ülkemizin deprem kuşağında olduğu göz önüne alındığında gevrek bir malzeme olduğu bilinen betonun bu zayıf yönünü iyileştirmenin önemli olduğu açıktır. Bu malzemelerle yapılan yapıların dinamik etkilere karşı enerji emme yeteneği geleneksel yapılara göre daha yüksek olduğundan bu tür etkiler sonucu meydana gelebilecek yapısal hasarlar en alt düzeye indirilebilir. Sonuç olarak, bir atık olan bu liflerin beton kırış elemanlarda kullanılması durumunda hem ekonomiye kazandırılacağı hem de kırışın eğilme kapasitesinin artırılacağı söylenebilir.

#### 5. TEŞEKKÜR

Çalışma sırasında gerekli katkıları sağlayan Teknisyen Abdulselim Akdağ'a teşekkür ederiz.

#### 6. KAYNAKLAR

1. Esen, Y., "Poliakrilonitril Katkılı Lifli Betonların Özellikleri ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1996.
2. Taşdemir, M.A., Lydon, F.D. ve Barr, B.I.G., "The Tensile Strain Capacity of Concrete", Magazine of Concrete Research, 48, 211-218, 1996.
3. Altun, F., Yılmaz, C., Durmuş, A., Arı, K., "Çelik Lif Katkılı ve Katkısız Betonarme Kırışlerin Basit Eğilme ve Patlama Yükleme ile Davranışlarının İncelenmesi", Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(1-2) 112-120, 2006.
4. Çivici, F., "Çelik Lif Donatılı Betonun Eğilme Tokluğu", Pamukkale Üniv. Mühendislik Bil. Dergisi, 12, ( 2), 183-188, 2006.
5. Yeğinobalı, A., "Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Katkı Maddesi Olarak Kullanılması", TÇMB/AR-GE/Y01.01 3. Baskı, Ankara, 2003.
6. Arslan, A. ve Ulucan, Z., "Çelik Liflerin Erken Yaştaki Betonarme Kırışlerin Göçmesine Etkisi", İMO Teknik Dergisi, 8(4), 1507-1515, 1997.
7. Wong, C., "Use of Short Fibers in Structural Concrete to Enhance Mechanical Properties", University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying, 1, 178-182, 2004.
8. Esen, Y., "Poliakrilonitril Lif Takviyeli Betonların Mekanik Özelliklerinin ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması", F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15 (1), 47-54, 2003.
9. Şimşek, O., Erdal, M. ve Sanca, E., "Silis Dumanının Çelik Lifli Betonun Eğilme Dayanımına Etkisi", Gazi Üniv. Müh. MİM. Fak. Dergisi, 20( 2), 211-215, 2005.
10. Esen, Y., Yılmaz, B., "Poliakrilonitril Lifli Betonda Kullanımının Araştırılması", Beton 2008, Uluslararası Hazır Beton Kongresi, 19-21 Haziran, 645-651, İstanbul, 2008.

11. Do, M.T., Chaal, O. and Aitcin, P.C., "Fatigue Behavior of High-Performance Concrete", *ASCE JM.* 1, 96–111, 1993.
12. Gao, L. and Hsu, C.T.T., "Fatigue of Concrete under Uniaxial Compression Cyclic Loading", *ACI Mater J*, Sept.–Oct, 575–581, 1998.
13. Hordijk, D.A., Wolsink, G.M. and Vries, J., "Fracture and Fatigue Behaviour of High Strength Limestone Concrete as Compared to Gravel Concrete", *HERON*, 40(2):125–146, 1995.
14. Hsu, T.C., "Fatigue of Plain Concrete", *ACI Journal*, 78, 292–305, 1981.
15. Otter, D.E. and Naaman, A.E., "Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete under Cyclic Loading". *ACI Material Journal*, July-Aug. 254–261, 1988.
16. Ramakrishnan, V., Meyer, C., Naaman, A., Zhao, G. and Fang, L., "Cyclic Behavior", *Fatigue Strength, Endurance Limit and Models for Fatigue Behavior of FRC*, In: Naaman A, Reinhardt, editors. *High performance fiber reinforced cement composites*. London: E & FN Spon, 1996.
17. Su, E.C.M. and Hsu, T.T.C., "Biaxial Compression Fatigue and Discontinuity of Concrete", *ACI Material Journal*, May–June, 178–188, 1988.
18. Cachim, P.B., Figueiras, J.A. and Pereira, P.A.A., "Fatigue Behavior of Fiber-Reinforced Concrete in Compression", *Cement and Concrete Composites*, 24, 211–217, 2002.
19. Singh, S.P. and Kaushik, S.K., "Fatigue Strength of Steel Fibre Reinforced Concrete in Flexure", *Cement and Concrete Composites*, 25, 779–786, 2003.
20. Ezeldin, A.S. and Shiah, T.W., "Analytical Immediate and Long-Term Deflections of Fiber-Reinforced Concrete Beams", *Journal of Structural Engineering*. 121, 727–737, 1995.
21. Ekinci, C.E., "Yapı ve Tasarımcının İnşaat El Kitabı", Üniversite Kitabevi, 1206s. Elazığ, 2005.
22. Wu, H-C. and Li, V.C., "Trade-off Between Strength and Ductility of Random Discontinuous Fiber Reinforced Cementitious Composites", *Cement and Concrete Composites*. 16, 23–29, 1999.
23. Yıldırım, S.T. ve Ekinci, C.E., "Çelik, Cam ve Polipropilen Lifli Betonlarda Donma-Çözülme Etkilerinin Araştırılması", *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 18 (3), 359–366, 2006.



## ÇATLAMALARIN BETONARME PERDELERİN RİJİTLİKLERİ ÜZERİNE OLAN ETKİSİNİN İRDELENMESİ

**İ. Fatih KARA**

*N.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Niğde/Türkiye*

**Cengiz DÜNDAR**

*Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*

**ÖZET :** *Bu çalışmada perde elemanlarda oluşan çatlamları göz önünde bulunduran iteratif yöntemle dayalı bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Betonarme perdeye etkiyen yatay ve dikey yüklerden dolayı elemanlarının çatlama halinde etkili atalet momentlerinin hesabında ACI ve olasılığa dayalı etkili rijitlik modelleri kullanılmıştır. Analizde çatlamalardan sonra kayma rijitliğinde oluşan değişimler de göz önünde bulundurulmuş olup, etkili kayma modüllerinin hesabında literatürde mevcut olan ve Cedolin ve Dei Poli tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Geliştirilen program aracılığı ile deneysel çalışması yapılmış ve yüksekliğinin genişliğine olan oranı farklı olan yatay ve dikey yükler etkisi altındaki perde örnekleri çözümlenmiş ve elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılmasından oldukça uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma kapsamında eğilme ve kayma deformasyonlarının toplam deplasmanlar üzerine olan etkisi de araştırılmıştır.*

### INVESTIGATION OF THE CRACKING EFFECTS ON THE STIFFNESS OF SHEAR WALLS

**ABSTRACT :** *In this study, a computer program has been developed considering the cracking in the reinforced concrete shear walls based on the iterative analytical model. ACI and probability-based effective stiffness models are used for the effective moment of inertia of the cracked members. In the analysis, after the development of cracks, the variation of shear rigidities are taken into account and reduced shear stiffness is considered by using effective shear modulus model available in the literature proposed by Cedolin and Dei Poli. The reinforced concrete shear walls with different aspect ratios subjected to lateral and vertical loads have been solved by the developed computer program and the result have been found in good agreement with the experimental results. In the present study, the effect of flexural and shear deformation on the total displacement of shear walls have also been investigated.*

## 1. GİRİŞ

Betonarme taşıyıcı sistemlerin yükseklikleri arttıkça özellikle deprem ve rüzgar etkisi nedeniyle oluşan yatay yüklerin taşınmasında perdeler önemli bir yapı elemanı olarak ortaya çıkmaktadırlar. Betonarme yapıya uygulanan yatay yükler altında kat yer değiştirmelerinin sınırlandırılması bakımından özellikle son yıllarda perdelerin kullanılması zorunlu bir hale gelmiştir. Perde elemanların rijitliklerinin diğer elemanlara göre daha büyük olması nedeniyle yatay yüklerin büyük bir kısmı bu elemanlar tarafından karşılanmakta ve bu nedenle perdelerin rijitlikleri tasarımında oldukça önemli olabilmektedir. Perde elemanlarının rijitliğini çatlama, yükleme durumu, donatı düzenlenmesi ve oranı, atalet momenti kayma modülü ve perdelerin yüksekliklerinin genişliklerine olan oranı gibi birçok parametre etkilemektedir. Perdelerin rijitliklerinin bunun gibi birçok parametreye bağlı olması nedeniyle bu elemanların rijitliklerinin kesin olarak belirlenmesi her zaman problem olmuştur. Bununla birlikte yapılan analitik ve deneysel çalışmalar çoğunlukla perdelerin kapasitelerinin belirlenmesine yönelik olup, rijitliklerinin elde edilmesi için yapılan çalışmalar çok sınırlı sayıda bulunmaktadır.

Betonarme yapıların yatay ve düşey yükler etkisi altındaki yapısal analizi genellikle lineer elastik hesap yöntemleri kullanılarak yapılmasına karşın kesit hesaplarında beton ve çeliğin elastik ötesi davranışlarını göz önüne alınmaktadır. Betonun çekme dayanımının düşük olması nedeniyle betonarme elemanlarda çatlama kaçınılmaz bir olay olup elemanların açıklıkları boyunca büyük değişimler gösterebilmektedir. Betonarme elemanlar her ne kadar donatılı olsa bile kullanım yükleri altında çatlayabilmektedir. Çatlama etkisi de hesaba katılarak, betonarmenin gerçek özelliği olan doğrusal olmayan davranışlarının dikkate alınmasıyla, yapıda oluşacak yer değiştirme değerleri lineer analiz sonuçlarına göre önemli değişimler gösterebilmektedir. Bu değişime neden olan en büyük etken ise çatlama sonrası elemanların açıklıkları boyunca büyük değişiklik gösteren eğilme ve kayma rijitliği değerleridir. Betonarme perdelerde oluşan çatlama da bu elemanların eğilme ve kayma rijitliği değerlerini azaltıp dolayısıyla deplasmanları da önemli ölçüde arttırmaktadırlar.

Betonarme yapıların analizinde yapıyı oluşturan elemanlarda oluşan çatlama göz önünde bulunduran birçok çalışma literatürde mevcuttur. Perdelerde oluşan çatlama sonlu elemanlar yöntemine dayandırarak göz önünde bulunduran birçok çalışma da yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemiyle çatlama dolaylı rijitlikteki azalmaları göz önünde bulundurarak geliştirilen çalışmalar mikro eleman ve makro eleman yaklaşımları şeklinde sınıflandırılmışlardır (1-4). Mickleborough, Ning et. al., yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme perdelerde çatlama etkisini olasılığa dayalı etkili rijitlik modeli ile göz önünde bulunduran bir yöntem geliştirmişlerdir (5). Çalışmalarında yatay ve düşey yükler etkisindeki değişik yükseklikteki betonarme perdeleri yüklemeye tabii tutmuşlar ve perde elemanlarının davranışlarını irdelemeye çalışmışlardır. Geliştirdikleri analiz yönteminde çatlama sonrası kayma rijitliğinde oluşan değişimleri lineer elastik analizde uygulanan yöntemle elde etmişlerdir.

Bu çalışmada perde elemanlarda oluşan çatlama göz önünde bulunduran iteratif yöntemeye dayalı analitik bir yöntem geliştirilmiş ve bu yöntemeye dayalı olarak bir bilgisayar programı oluşturulmuştur. Perdeye etkiyen yüklerden dolayı elemanların

çatlaması halinde etkili atalet momentlerinin hesabında ACI (6) ve olasılığa dayalı etkili rijitlik modelleri kullanılmıştır. Analizde çatlamalardan sonra kayma rijitliğinde oluşan değişimler de göz önünde bulundurulmuş olup etkili kayma modüllerinin hesabında literatürde mevcut olan ve Cedolin ve Dei Poli (7) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Geliştirilen program aracılığı ile deneysel çalışması yapılmış yatay ve düşey yükler etkisi altındaki değişik yükseklikteki perde örnekleri çözümlenmiş ve elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında eğilme ve kayma deformasyonlarının toplam deplasmanlar üzerine olan etkisi de irdelenmiştir.

## 2. FORMÜLASYONDA KULLANILAN MODELLER

### 2.1. Etkili Atalet Momenti için Kullanılan Modeller

Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki perde elemanlarının çatlaması halinde etkili atalet momenti değerleri ACI ve olasılığa dayalı etkili rijitlik modelleri ile göz önünde bulundurularak analize dahil edilmişlerdir. ACI modelinde etkili atalet momenti değerleri

$$I_{\text{eff}} = \left( \frac{M_{\text{cr}}}{M} \right)^m I_1 + \left[ 1 - \left( \frac{M_{\text{cr}}}{M} \right)^m \right] I_2, \quad M \geq M_{\text{cr}} \quad (1a)$$

$$I_{\text{eff}} = I_1, \quad M < M_{\text{cr}} \quad (1b)$$

denklemindeki gibi elde edilmektedirler. Bu denklemlerdeki  $I_1$  ve  $I_2$  sırası ile kesitin çatlamadan önceki ve tamamen çatlamış haldeki atalet momenti değerleridir. Bu eşitliklerde ayrıca deneysel sonuçlarla uyumlu olacak şekilde  $m=3$  olarak alınmaktadır. Olasılığa Dayalı Etkili Rijitlik Modelinde çatlayan elemanların etkili atalet momenti değerleri bu elemanlarda oluşan moment diyagramındaki çatlayan ve çatlamayan bölge alanlarının toplam alana oranına bağlı olacak şekilde elde edilerek analize dahil edilmişlerdir (Şekil 1). Bu yöntemde etkili atalet momenti değerleri (2) denklemlerindeki gibi elde edilmektedir.

$$A_{\text{uncr}} = \int_{M(x) < M_{\text{cr}}} M(x) \quad (2a)$$

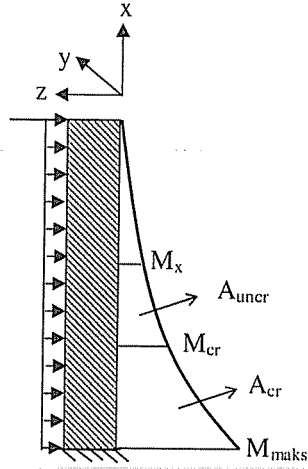
$$A_{\text{cr}} = \int_{M(x) \geq M_{\text{cr}}} M(x) \quad (2b)$$

$$A = A_{\text{cr}} + A_{\text{uncr}} \quad (2c)$$

$$P_{\text{uncr}} [M(x) < M_{\text{cr}}] = \frac{A_{\text{uncr}}}{A} \quad (2d)$$

$$P_{\text{cr}} [M(x) \geq M_{\text{cr}}] = \frac{A_{\text{cr}}}{A} \quad (2e)$$

$$I_{\text{eff}} = P_{\text{uncr}} I_1 + P_{\text{cr}} I_2 \quad (2f)$$



**Şekil 1.** Uygulanan yükler etkisi altındaki bir elemanda eğilme momentinden dolayı oluşabilecek çatlayan ve çatlamayan bölgeler

Bu denklemlerdeki  $P_{cr}$  bir elemanda oluşan moment dağılımına bağlı olarak  $M$  momentinin  $M_{cr}$  momentinden büyük olma olasılığını yani kesitin çatlama olasılığını,  $P_{uncr}$  ise  $M$  momentinin  $M_{cr}$  momentinden küçük olma olasılığını ifade etmektedir. (1) ve (2) eşitliklerindeki  $M$ , ilgili kesitteki eğilme momentini  $M_{cr}$  ise çatlama anındaki eğilme momentini ifade etmekte olup,

$$M_{cr} = \frac{(f_r + \sigma_v) I_t}{y_t} \quad (3)$$

şeklinde her iterasyon sonucunda elde edilen aksel yük düzeyine bağlı olarak değişen formda hesaplanmaktadır. (3) denklemindeki  $\sigma_v$  aksel basınç gerilmesini,  $f_r$  betonun eğilmekteki çekme dayanımını,  $y_t$  ise kesitin en alt çekme yüzünden ağırlık merkezine olan uzaklığını ifade eden değerlerdir. ACI tarafından verilen denklem genellikle kirişlerin etkili atalet momentlerinin elde edilmesinde kullanılmakta olup, bu çalışmada çatlama momenti  $M_{cr}$ 'nin hesaplanmasında aksel yük değeri göz önünde bulundurularak perde elemanlar için de kullanılmıştır.

## 2.2. Etkili Kayma Rijitliği için Kullanılan Model

Elemanlarda oluşan çekme şekil değiştirmesi değerinin, çatlama anındaki çekme şekil değiştirmesi değerini aşması halinde, etkili kayma modülü değeri literatürde mevcut olan ve Cedolin ve Dei Poli (7) tarafından önerilen aşağıdaki denklem aracılığı ile göz önünde bulundurularak analize dahil edilmişlerdir.

$$\bar{G}_c = 0.24 G_c (1 - 250 \epsilon_t), \quad \epsilon_t \geq \epsilon_{cr} \quad (4a)$$



$$\bar{G}_c = G_c,$$

$$\varepsilon_1 < \varepsilon_{cr}$$

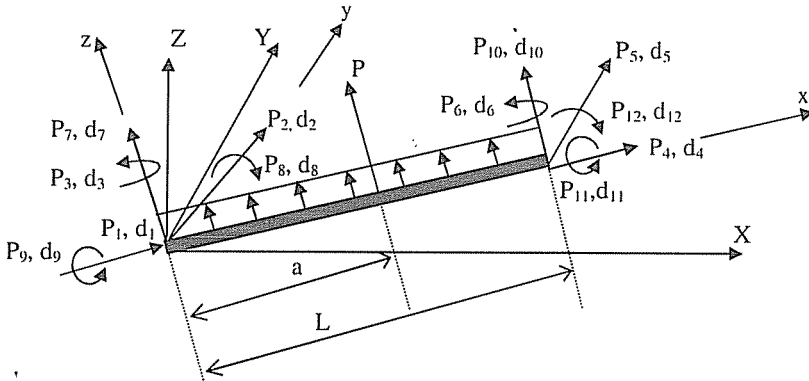
$$(4b)$$

Bu denklemlerdeki  $\varepsilon_1$  ilgili kesitteki çekme şekil değiştirmesi değerini,  $\varepsilon_{cr}$  çatlama anındaki çekme şekil değiştirmesini ve  $G_c$  ise betonun elastik kayma modülünü ifade etmektedirler. Bu çalışmada, temel denklemlerin elde edilmesinde üç boyutlu analiz göz önünde bulundurulduğundan etkili atalet momenti denklemlerinde geçen  $I_{eff}$ ,  $M_{cr}$ ,  $M$ ,  $I_1$ ,  $I_2$  ve etkili kayma modelleri denklemlerinde geçen  $\varepsilon_1$  ve  $\varepsilon_{cr}$  değerleri, her iki eksene ait eğilme ve kayma ile ilgili değerlerdir.

### 3. ÇATLAMALARIN ETKİSİ GÖZ ÖNÜNDE BULUNDURULARAK TEMEL DENKLEMLERİN OLUŞTURULMASI VE GELİŞTİRİLEN YÖNTEM

Bu çalışmada geliştirilen yöntemde formülasyonlar rijitlik matrisi yöntemine dayandırılarak oluşturulmuştur. Temel denklemlerin oluşturulmasında genel olarak üç boyutlu durum göz önüne alınarak elemanların ara tekil ve yayılı yükler etkisi altında olabilecekleri göz önünde bulundurulmuştur.

Analizde temel denklemlerin oluşturulması için ilk etapta birim yüklemeler uygulanarak eleman esneklik katsayıları elde edilmiş, daha sonra da denge denklemleri ve uygunluk şartlarından yararlanılarak bazı bölgelerinde çatlama oluşabilecek elemanların rijitlik matrisi ve yük vektörü değerleri bulunmuştur.



Şekil 2. Bir elemanda uygulanan yükler etkisi altında oluşabilecek uç deplasmanları ve bunlara karşılık gelen kuvvetler

Genel olarak üç boyutlu bir eleman için esneklik katsayıları konsol bir elemana ilgili yönlerde birim kuvvetler uygulanarak elde edilmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Konsol bir elemana uygulanan birim kuvvet yönleri

Uygunluk denklemlerinden de faydalanılarak esneklik katsayılarını içeren denklem aşağıdaki gibi matris formunda elde edilmektedir.

$$\begin{bmatrix} f_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f_{22} & f_{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f_{32} & f_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & f_{77} & f_{78} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & f_{87} & f_{88} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & f_{99} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_7 \\ P_8 \\ P_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_7 \\ d_8 \\ d_9 \end{bmatrix} \quad (5)$$

(5) ifadesindeki  $f_{ij}$ ,  $j$  doğrultusunda bir birimlik kuvvet uygulanması sonucu  $i$  doğrultusunda oluşan deplasman olup, aşağıdaki denklemden görüldüğü gibi virtürel iş prensibinden yararlanılarak elde edilmektedir.

$$f_{ij} = \int_0^L \left( \frac{M_{zi} M_{zj}}{E_c I_{effz}} + \frac{M_{yi} M_{yj}}{E_c I_{effy}} + \frac{V_{yi} V_{yj}}{\bar{G}_c A} s + \frac{V_{zi} V_{zj}}{G_c A} s + \frac{M_{bi} M_{bj}}{G_c I_o} + \frac{N_i N_j}{E_c A} \right) dx \quad (6)$$

Bu eşitlikteki  $M_{zi}$ ,  $M_{zj}$ ,  $M_{yi}$ ,  $M_{yj}$ ,  $M_{bi}$ ,  $M_{bj}$ ,  $V_{zi}$ ,  $V_{zj}$ ,  $V_{yi}$ ,  $V_{yj}$ ,  $N_i$  ve  $N_j$  değerleri,  $i$  ve  $j$  doğrultusunda bir birimlik kuvvet uygulanması sonucu oluşan eğilme momenti, burulma momenti, kesme kuvveti ve normal kuvvet değerleridir. Yine aynı denklemdaki  $A$ ,  $E_c$ ,  $s$ ,  $\bar{G}_c$ ,  $I_o$  ve  $G_c$  ise, kesit alanı, elastisite modülü, şekil katsayısı, etkili kayma modülü, burulma atalet momenti ve elastik kayma modülü değerleridir.

Betonarme yapıyı oluşturan elemanlar üzerine etkiyen düzgün yayılı ve ara tekil yüklerden dolayı oluşan uç kuvvetleri uygunluk şartları ve denge denklemleri kullanılarak aşağıdaki eşitliklerdeki gibi bulunmaktadır.

$$P_{70} = -(f_{88} f_{70} - f_{78} f_{80}) / (f_{77} f_{88} - f_{78} f_{87}) \quad (7a)$$

$$P_{80} = -(f_{77} f_{80} - f_{78} f_{70}) / (f_{77} f_{88} - f_{78} f_{87}) \quad (7b)$$

$$P_{100} = -(q L + P + P_{70}) \quad (7c)$$

$$P_{120} = -(q L^2/2 + P(L-a) + P_{70} L + P_{80}) \quad (7d)$$

$$P_{10} = P_{20} = P_{30} = P_{40} = P_{50} = P_{60} = P_{90} = P_{110} = 0. \quad (7e)$$

Bu denklemlerdeki  $f_{i0}$  değerleri dış yüklerden dolayı  $i$  doğrultusunda oluşan deplasmanlar olup (8) ifadesindeki gibi virtürel iş prensibinden yararlanılarak hesaplanmaktadır.

$$f_{i0} = \int_0^L \left( \frac{M_{yi} M_0}{E_c I_{effy}} + \frac{V_{zi} V_0}{G_c A} s \right) dx \quad (8)$$

Bu eşitlikteki  $M_0$  ve  $V_0$  değerleri elemanın yerel  $z$  eksenı doğrultusundaki dış kuvvetlerden dolayı oluşan eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleridir.

Üç boyutlu bir eleman için (12x12) boyutundaki rijitlik matrisi ise, (5) denklemindeki esneklik katsayılarını içeren matrisin tersi alınarak ve denge denklemleri kullanılarak elde edilmektedir. Eleman rijitlik denklemi sonuç olarak

$$\underline{k} \underline{d} + \underline{P}_0 = \underline{P} \quad (9)$$

formunda elde edilmektedir. Bu eşitlikteki  $\underline{k}$  (12x12),  $\underline{d}$  (12x1),  $\underline{P}_0$  (12x1) ve  $\underline{P}$  (12x1) değerleri eleman rijitlik matrisi, deplasman vektörü, dış kuvvetlerden dolayı oluşan uç kuvvet vektörü ve sonuç uç kuvvet vektörü değerleridir. Bu değerler eleman eksen takımında (x,y,z) olup, transformasyon matrisi aracılığı ile global eksen takımına (X,Y,Z) çevrilmektedirler.

Uygulanan yatay ve düşey yüklerden dolayı elemanların çatlayan ve çatlamayan bölgelere sahip olabileceğinden dolayı (Şekil 1), esneklik katsayılarının elde edilmesinde kullanılan integral değerleri her bölge için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Çatlamamanın meydana geldiği bölgelerdeki atalet momenti ve kayma modülü değerlerinin eğilme momentine bağlı olarak değişimi, yapıdaki iç kuvvetlerin yeniden dağılımını zorunlu kıldığından, analizde iteratif bir yöntem uygulanarak çözüme gidilmiştir.

Geliştirilen yöntemde ilk etapta esneklik katsayıları, bu değerlerden de eleman rijitlik denklemi elde edilmekte, daha sonra ise sistem rijitlik matrisi ve sistem yük vektörü oluşturulmaktadır. Elde edilen sistem denklemi çözülerek sistem deplasmanları ile elemanların uç kuvvetleri ile uç deplasmanları bulunmaktadır. Her iterasyonda işlemler adım adım bu şekilde uygulanarak çözüme ulaşılmaktadır.

#### 4. BİLGİSAYAR PROGRAMI

Betonarme yapıların analizi için iteratif yöntemle dayalı olarak geliştirilen bilgisayar programı Fortran 77'de yazılmıştır. Programda, yükler yapıya adım adım uygulanıp her yük adımında iteratif işlemlere başvurulmaktadır. Herhangi bir yük adımında birbirini izleyen iki iterasyondaki eleman uç kuvvetleri arasındaki belirlenen yakınsaklık sağlanınca iterasyonlara son verilmekte ve diğer yük adımına geçilmektedir. Geliştirilen programda her yük adımı içerisinde

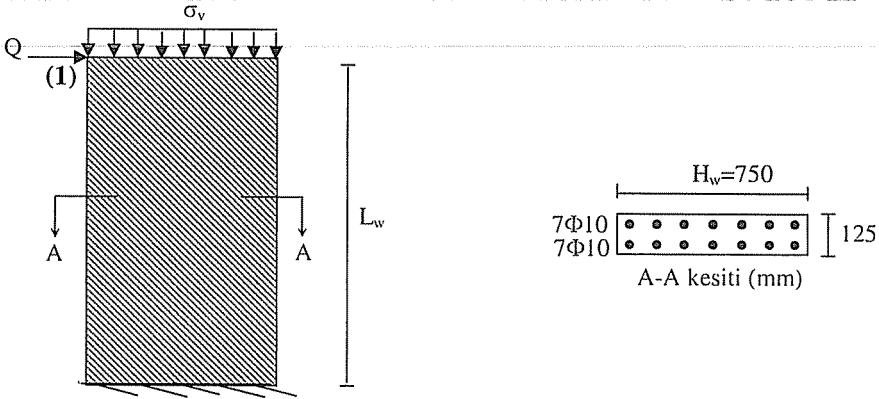
$$\left| \frac{P_i^n - P_i^{n-1}}{P_i^n} \right| \leq \varepsilon \quad (10)$$

şeklinde bir yakınsaklık kriteri kullanılmıştır. Bu denklemdaki  $\varepsilon$  yakınsaklık kriterini,  $n$  iterasyon numarasını,  $P_i^n$  ve  $P_i^{n-1}$   $n$ . ve  $(n-1)$ . iterasyonlarda elemanda oluşan uç kuvveti değerleridir. Bilgisayar programına veri girişi “genel bilgiler”, “eleman özellikleri”, “mesnet şartları”, “koordinatlar” ve “yükler” olmak üzere beş data bloğundan oluşan ve herhangi bir editör yazılımı ile hazırlanabilen data dosyasından yapılabilmektedir.

## 6. SAYISAL UYGULAMALAR

### 6.1. Deneysel Çalışması Yapılmış Betonarme Perde Örnekleri

Deneysel çalışması Mickleborough, Ning et. al. (5) tarafından yapılan bu örnek değişik yükseklikteki, yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme perdelerden oluşmaktadır. Betonarme perdelerin kesit özellikleri ve kesit içindeki donatılar Şekil 4’de gösterilmiştir. Bununla birlikte yüklemeye tabii tutulan bu perdelerle ilgili gerekli bilgiler de Tablo1’de verilmiştir.



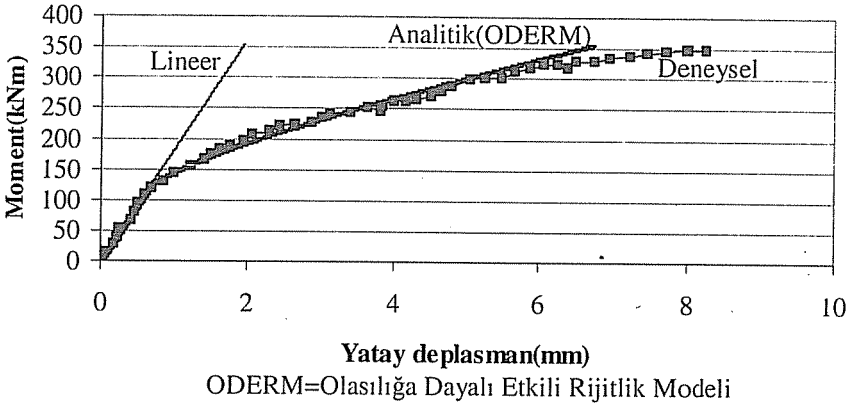
Şekil 4. Yatay ve düşey yükler etkisindeki betonarme perdeler

Çizelge 1. Yüklemeye tabii tutulan betonarme perdelerle ilgili bilgiler

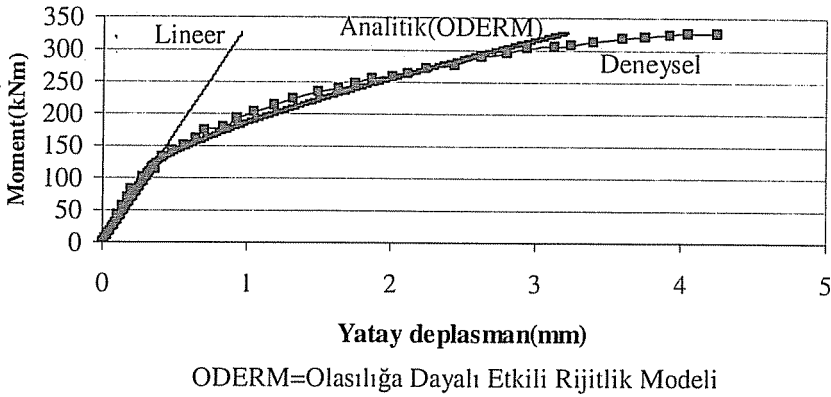
Perde	$L_w(L_w/H_w)$	$\sigma_v$ (N/mm <sup>2</sup> )
SH-H	1500 mm(2)	5.3
SM-H	1125 mm(1.5)	5.2
SL-H	750 mm(1)	5.1

Örnekte betonarme perdelerle etkiyen eksenel yükler sabit kalmak üzere yatay yükler (Q) perdeler taşıma gücüne erişinceye kadar artırılarak, perdenin üst kısmında (1 numaralı düğümde) eğilmeden dolayı ve eğilme ile birlikte kaymadan dolayı oluşan toplam yatay deplasmanlar elde edilmişlerdir.

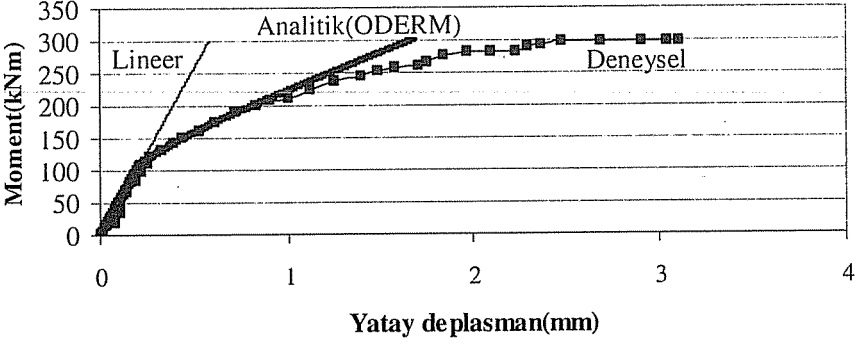
Geliştirilen analitik yönteme bağlı olarak uygulanan yüklerden dolayı betonarme perdenin en üst noktasında elde edilen, eğilmeden dolayı oluşan yatay deplasmanların gerek lineer elastik analiz gerekse deneysel çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılması Şekil (5-7)'da gösterilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi lineer analiz sonucu elde edilen yatay deplasman değerleri ile gerek deneysel gerekse bu çalışmada elde edilen sonuçlar arasında, uygulanan yatay yükün artmasına bağlı olarak çatlamların etkisiyle büyük farklılıklar olduğu görülmüştür. Geliştirilen model aracılığı ile eğilmeden dolayı elde edilen deplasmanların, yatay yük seviyesinin taşıma gücü yükünün yaklaşık olarak %84 olduğu düzeye kadar büyük bir yakınlık içerisinde olduğu görülmüştür.



Şekil 5. SH-H Perdesi için eğilmeden dolayı oluşan yatay deplasmanların karşılaştırılması



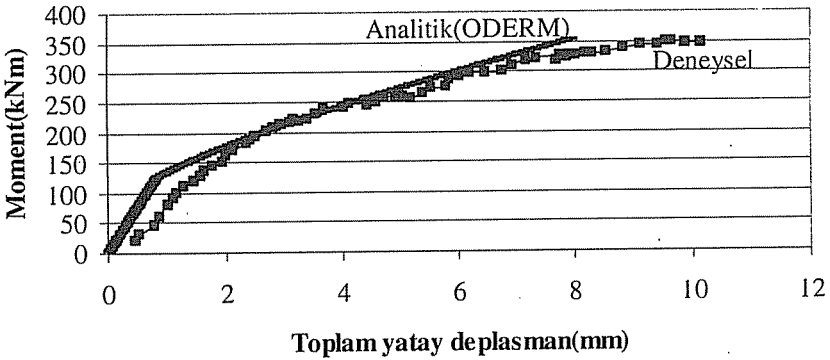
Şekil 6. SM-H Perdesi için eğilmeden dolayı oluşan yatay deplasmanların karşılaştırılması



ODERM=Olasılığa Dayalı Etkili Rijitlik Modeli

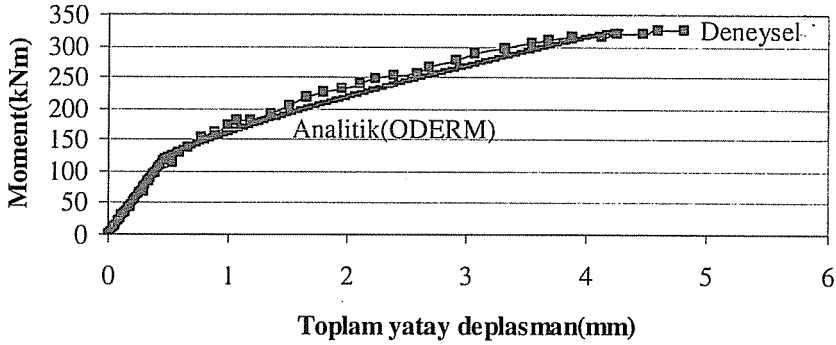
Şekil 7. SL-H Perdeleri için eğilmeden dolayı oluşan yatay deplasmanların karşılaştırılması

Toplam yatay deplasmanların uygulanan yatay yüke bağlı olarak oluşan moment değerlerine göre değişimi ise Şekil (8-10)'de gösterilmiştir. Şekillerden eğilme ve kaymadan dolayı oluşan toplam yatay deplasmanların da deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Geliştirilen analitik yöntem yüksekliğinin genişliğine olan oranı farklı olan perdelerde eğilme deplasmanlarını deneysel olarak elde edilen değerlerle yakınlık içerisinde elde etmektedir. Bununla birlikte toplam yatay deplasmanlar da aynı şekilde deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olmaktadır. Ayrıca elde edilen sonuçlara bağlı olarak perdelerin yüksekliklerinin genişliklerine olan oranı arttıkça eğilme deplasmanlarının daha etkin olduğu yani eğilmeden dolayı oluşan deplasmanların toplam deplasmanlar içindeki yüzdesinin daha da arttığı görülmüştür.



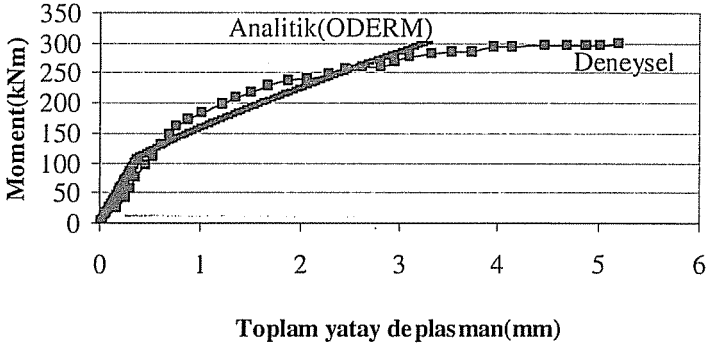
ODERM=Olasılığa Dayalı Etkili Rijitlik Modeli

Şekil 8. SH-H Perdeleri için toplam yatay deplasmanların karşılaştırılması



ODERM=Olasılığa Dayalı Etkili Rijitlik Modeli

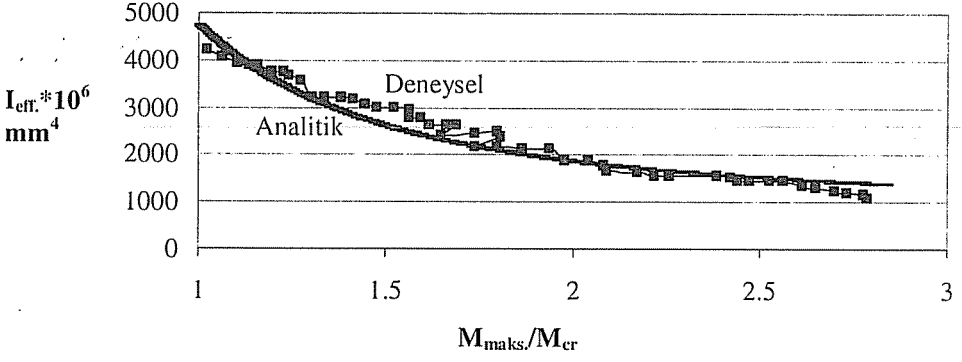
Şekil 9. SM-H Perdesi için toplam yatay deplasmanların karşılaştırılması



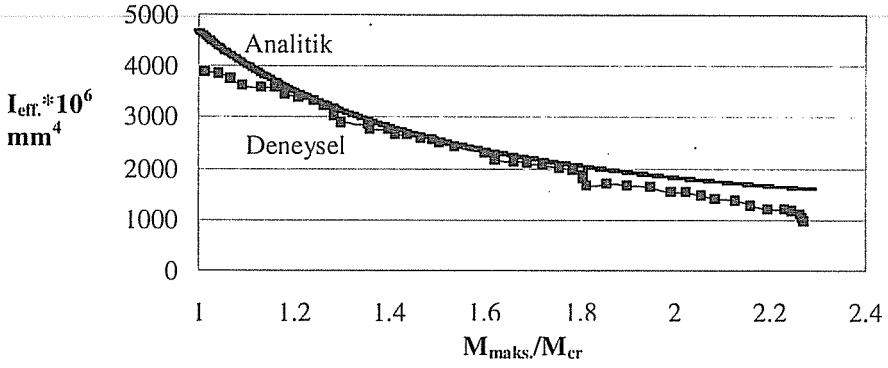
ODERM=Olasılığa Dayalı Etkili Rijitlik Modeli

Şekil 10. SL-H Perdesi için toplam yatay deplasmanların karşılaştırılması

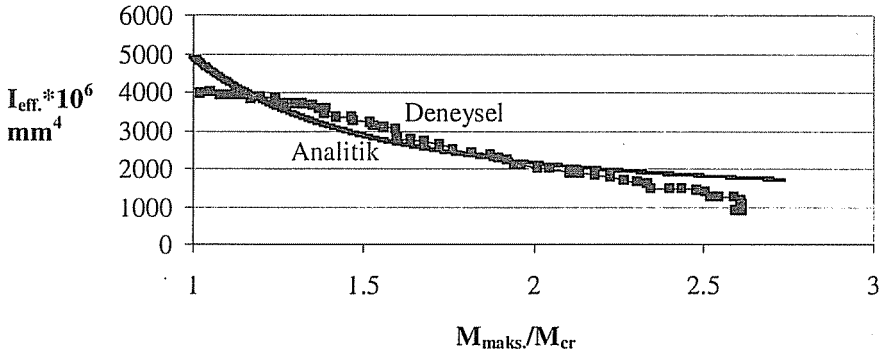
Farklı yükseklikteki betonarme perdeler üzerine uygulanan yüklere bağlı olarak olasılığa dayalı etkili rijitlik modeli ile elde edilen etkili atalet momenti değerleri Şekil (11-13)'de gösterilmiştir. Şekillerden farklı perde yükseklikleri durumunda teorik olarak elde edilen değerlerin deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olduğu görülmüştür.



Şekil 11. SH-H Perdesi için etkili atalet momenti değerlerinin karşılaştırılması



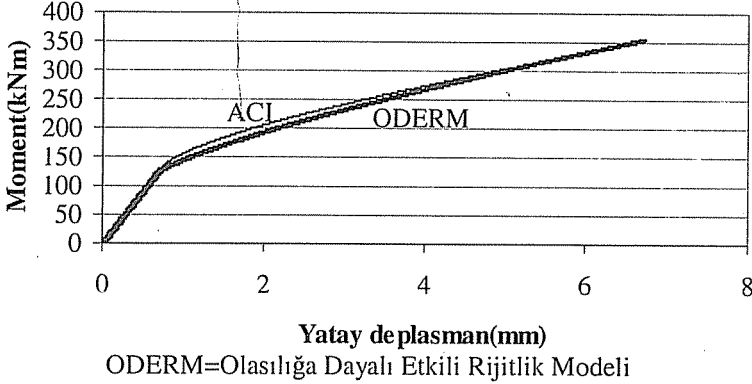
Şekil 12. SM-H Perdesi için etkili atalet momenti değerlerinin karşılaştırılması



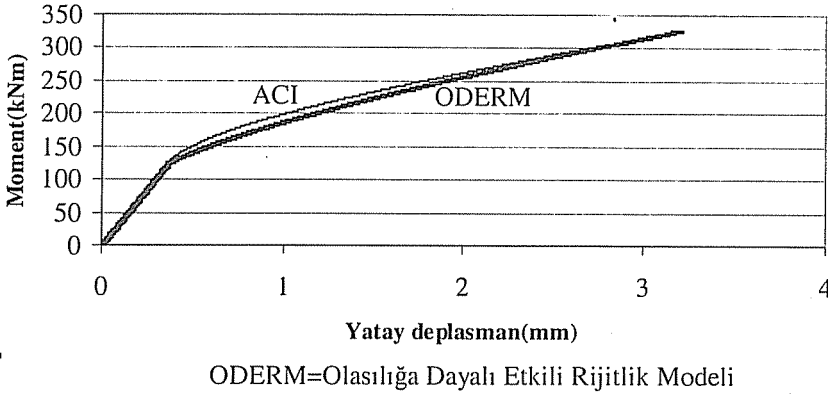
Şekil 13. SL-H Perdesi için etkili atalet momenti değerlerinin karşılaştırılması



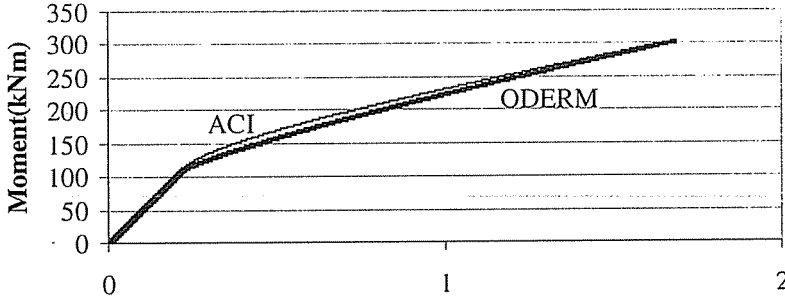
Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme perde örnekleri ayrıca çatlamalardan sonra elemanların etkili atalet momentlerinin hesabında değişik modeller kullanılarak analiz edilmiş ve elde edilen yatay deplasman değerlerine bağlı olarak bu modellerin karşılaştırılması Şekil (14-16)'da gösterilmiştir. Etkili atalet momentlerinin hesabında farklı modeller kullanılmasına karşın elde edilen deplasman değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir



Şekil 14. SH-H Perdesi için etkili atalet momenti hesabında farklı modeller kullanılarak elde edilen yatay deplasmanların karşılaştırılması



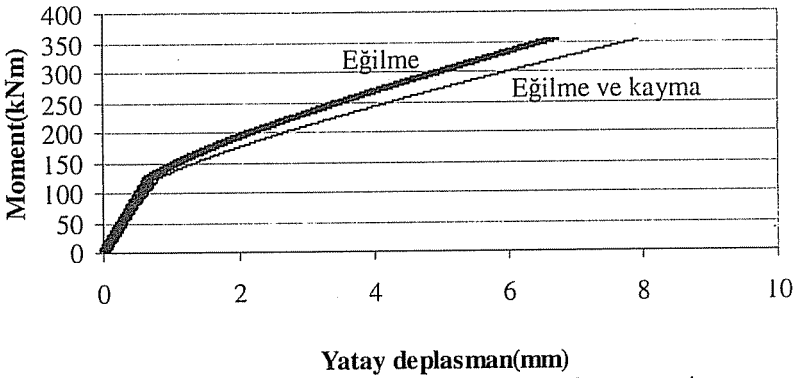
Şekil 15. SM-H Perdesi için etkili atalet momenti hesabında farklı modeller kullanılarak elde edilen yatay deplasmanların karşılaştırılması



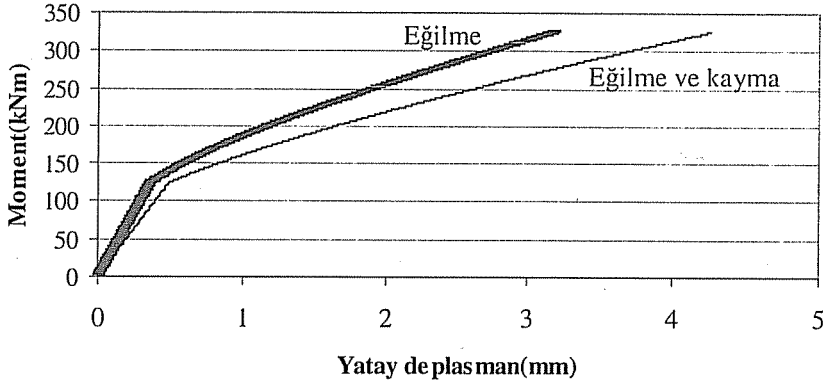
Yatay deplasman(mm)  
ODERM=Olasılığa Dayalı Etkili Rijitlik Modeli

Şekil 16. SL-H Perdesi için etkili atalet momenti hesabında farklı modeller kullanılarak elde edilen yatay deplasmanların karşılaştırılması

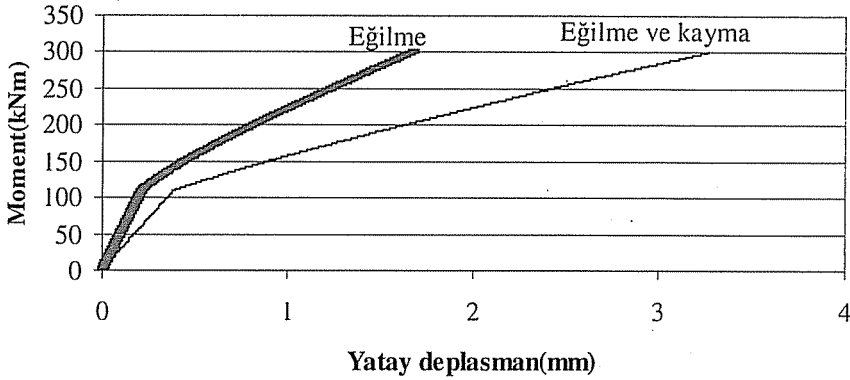
Kayma deformasyonları etkisinin perde elemanlarının en üst noktasındaki toplam deplasmanlar üzerine olan etkisi Şekil (17-19)'de görülmektedir. Perdeye uygulanan yükün artmasına bağlı olarak kayma deformasyonlarının toplam deplasmanlar içindeki yüzdesinin arttığı ve özellikle yüksekliğinin genişliğine olan oranı düşük olan perdelerde kayma deformasyonları etkisinin daha da önemli olduğu görülmüştür.



Yatay deplasman(mm)  
Şekil 17. SH-H Perdesi için kayma deformasyonlarının toplam yatay deplasmanlar üzerine olan etkisi



Şekil 18. SM-H Perdesi için kayma deformasyonlarının toplam yatay deplasmanlar üzerine olan etkisi



Şekil 19. SL-H Perdesi için kayma deformasyonlarının toplam yatay deplasmanlar üzerine olan etkisi

## 7. SONUÇLAR

Bu çalışmada perde elemanlarda oluşan çatlamlar göz önünde bulundurularak iteratif yöntemle dayalı bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemin kullanılabilirliğinin belirlenebilmesi açısından literatürde mevcut olan ve deneysel çalışması yapılmış yüksekliğinin genişliğine olan oranı farklı olan, yatay ve düşey yükler etkisindeki betonarme perdeler geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile çözümlenmiştir. Geliştirilen analitik yöntem yüksekliğinin genişliğine olan oranı farklı olan perdelerde eğilmeden dolayı oluşan deplasmanları, yatay yük seviyesinin taşıma gücü yükünün %84 olduğu düzeye kadar deneysel sonuçlarla büyük bir yakınlık içerisinde elde etmektedir. Bununla birlikte toplam yatay deplasmanları da özellikle yüksek perdelerde deneysel sonuçlarla uyum içerisinde elde etmektedir. Ayrıca

perdelerin yüksekliklerinin genişliklerine olan oranı arttıkça eğilme deplasmanlarının daha etkin olduğu ve eğilmeden dolayı oluşan deplasmanların toplam deplasmanlar içindeki yüzdesinin daha da arttığı görülmüştür. Bu çalışmada geliştirilen yöntemin en önemli avantajı da proje mühendisleri için tasarımda önemli olabilecek olan perde elemanlarının eğilme rijitliğindeki değişimleri yapıya uygulanan yüke bağlı olarak elde edebilmesidir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara bağlı olarak perdeye uygulanan yükün artmasıyla kayma deformasyonlarının toplam deplasmanlar içindeki yüzdesinin arttığı ve özellikle yüksekliğinin genişliğine olan oranı düşük olan perdelerde kayma deformasyonları etkisinin daha da önemli olduğu görülmüştür.

## 8. KAYNAKLAR

1. Polak, M.A. and Vecchio, F.J., "Nonlinear analysis of reinforced concrete shells", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 119(12), 3439-3462, 1993.
2. Massicotte, B., Elwi, A.E. and MacGregor, J.G., "Tension-stiffening model for planar reinforced concrete members", *J. Struct. Eng. ASCE*, 116(11), 3039-3058, 1990.
3. Massicotte, B., MacGregor, J.G. and Elwi, A.E., "Behavior of reinforced concrete panels subjected to axial and lateral loads", *Structural Journal*, ASCE, 2324-2343, Sept. 1990.
4. Chen, W.F., "Plasticity in reinforced concrete", McGraw-Hill, New York; 1982.
5. Mickleborough, N.C., Ning, F., and Chan, C.M., "Prediction of the stiffness of reinforced concrete shear walls under service loads", *ACI Struct. J.*, 96(6), 1018-1026, 1999.
6. ACI-318-95, *Building code requirements for reinforced concrete (ACI 318-95)*, Michigan, 1995.
7. Codelin, L., Dei Poli, S., "Finite Element Studies of Shear Critical Reinforced Concrete Beams", *J. Engineering Mech. Div., ASCE, (EM3)*, 1977.
8. Dundar, C. ve Kara, I.F., "Three dimensional analysis of reinforced concrete frames with cracked beam and column elements", *Engineering Structures*, 29(9), 2262-2273, 2007.
9. Ning, F., "Lateral Stiffness Characteristics of Tall Reinforced Concrete Buildings Under Service Loads, PhD dissertation, Dept. of Civ. Engrg., Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, 1998.

## BETONARME KİRİŞ ELEMANLARDA BULUNAN FARKLI DONATI ORANLARININ VE DEĞİŞİK YÜKLEME TİPLERİNİN ETKİLİ ATALET MOMENTİ ÜZERİNE OLAN ETKİSİNİN İRDELENMESİ

**İlker Fatih KARA**

*N.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Niğde/Türkiye*

**Cengiz DÜNDAR**

*Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*

**ÖZET :** Bu çalışmada kiriş ve kolonlarda oluşan çatlamlar göz önünde bulundurulurken betonarme çerçevelerin analizi için geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile değişik yükleme tipi ve farklı donatı oranlarının betonarme kiriş elemanlarının etkili atalet momentleri üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Betonarme yapıya etkileyen yatay ve düşey yüklerden dolayı elemanlarının çatlaması halinde etkili atalet momentlerinin hesabında ACI, CEB ve olasılığa dayalı etkili rijitlik modelleri kullanılmıştır. Elemanların etkili atalet momenti ile ilgili olarak önerilen bu farklı modellerin sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Geliştirilen bilgisayar programı ile deneysel çalışması yapılmış farklı yüklemeler etkisi altındaki betonarme kiriş örneklerinin çözümlenmesinden özellikle etkili atalet momenti hesabında kullanılan olasılığa dayalı etkili rijitlik modelinin deney sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Açıklık ortasındaki tekil yük durumunda donatı oranının, özellikle düşük donatı oranına sahip kirişlerin etkili atalet momenti üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bu yükleme durumunda etkili momenti ifadeleri daha önceden önerilen denklemler aracılığı ile donatı etkisini de içerecek şekilde düzenlenerek, deneysel sonuçlarla uyum içerisinde değerler elde edilmiştir.

## EFFECT OF REINFORCEMENT RATIOS AND LOADING TYPES ON THE EFFECTIVE MOMENT OF INERTIA OF A REINFORCED CONCRETE BEAM

**ABSTRACT :** In this study, the effects of various load types and different reinforcement ratios on the effective moment of inertia of beams have been investigated by using the computer program developed for the analysis of reinforced concrete frames with beams and columns in cracked state. ACI, CEB and probability-based effective stiffness models are used for the effective moment of inertia of the cracked members. The results of the different models for the effective moment of inertia of reinforced concrete members have been compared with the experimental results. The experimental reinforced concrete beam examples subject to different load types, available in the literature have been solved with the computer program and the results have been compared with the test results in the scope of the study. The results of the probability-based effective stiffness model have been found in a good agreement with the experimental results. For the mid-point loading case, the effect of reinforcement ratio on the effective stiffness of reinforced concrete beams is a significant factor for the lightly reinforced beams. These effects have been incorporated the probability-based

*effective stiffness models and the results have been found in good agreement with the experimental results.*

## 1. GİRİŞ

Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki çok katlı yapılarda yapı malzemesi olarak betonarme elemanların kullanılması halinde eğilme rijitliğinde oluşan değişimler ve buna bağlı olarak deplasmanlar tasarımda oldukça önemli olabilmektedir. Betonarme elemanlarda dayanım kriterleri beton ve çelik arasındaki etkileşim de göz önünde bulundurularak bu malzemelerin elastik ötesi davranışları hesaba katılıp kolay bir şekilde sağlanmasına karşın rijitlikle ilgili kriterlerin sağlanması her zaman kolay olmamaktadır. Betonun çekme dayanımının düşük olması nedeniyle betonarme elemanlarda çatlama kaçınılmaz bir olay olup açıklık boyunca büyük değişimler gösterebilmektedir. Yapı içerisindeki betonarme elemanlar her ne kadar donatılı olsa bile kullanım yükleri altında çatlayabilmektedir. Çatlamaların etkisi de hesaba katılarak, betonarmenin gerçek özelliği olan doğrusal olmayan davranışlarının dikkate alınmasıyla, yapıda oluşacak iç kuvvet ve yer değiştirme değerleri lineer analiz sonuçlarına göre önemli değişimler gösterebilmektedir. Bu değişime neden olan en büyük etken ise çatlama sonrası elemanların açıklıkları boyunca büyük değişiklik gösteren eğilme rijitliği değerleridir.

Betonarme taşıyıcı sistemin kendisinden beklenen işlevi yerine getirebilmesi için göçme durumuna karşı belirli bir güvenliğe sahip olmasının yanında, servis yükleri altında büyük yer değiştirmeler yapmaması hatta bu değerlerin belli sınırların altında kalması gerekmektedir. Özellikle düşey yükler etkisi altında kirişlerde meydana gelen çökmelerin gerçeğe daha yakın olarak hesaplanabilmesi için çatlamaya bağlı olarak bu elemanların eğilme rijitliklerindeki değişimler önemli olabilmektedir. Ayrıca betonarme elemanlar üzerindeki yüklerin tipi ve büyüklüğü ile birlikte bu elemanlarda bulunan donatı oranları da çatlamaların gelişimini ve ilerlemesini etkileyebilmektedir. Bu nedenden dolayı elemanlar üzerindeki yükleme tipi ve büyüklüğü ile birlikte bu elemanlardaki donatı oranları da eğilme rijitliği ve oluşan deplasmanlar üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilmektedir.

Betonarme yapıların analizinde, yapıyı oluşturan elemanlarda oluşan çatlamaları göz önünde bulunduran birçok çalışma literatürde mevcuttur. Betonarme elemanlar üzerindeki yükleme tipi ve bu elemanlarda bulunan donatı oranlarının çatlamalar üzerine olan etkisini irdeleyen çalışmalar ise sınırlı sayıda bulunmaktadır. Al-Shaikh ve Al-Zaid, tekil yük etkisi altındaki basit mesnetli betonarme kirişlerin etkili atalet momentlerinin hesabında donatı oranlarının etkisini incelemişlerdir (1). Değişik donatı oranlarına sahip kirişler üzerine yaptıkları deneysel çalışma sonuçlarıyla Branson'un yaptığı çalışmalar neticesinde ortaya çıkardığı ve ACI tarafından da benimsenen etkili atalet momenti denklemlerinin ortaya çıkardığı sonuçları karşılaştırmışlardır (2). Çalışmalarında ayrıca tekil yük etkisi altındaki basit mesnetli betonarme kirişlerin etkili atalet momentlerini çatlama uzunluğuna ( $L_{cr}$ ) ve kesitteki donatı oranına göre değişen bir katsayıya bağlı olarak ifade eden yeni bir model geliştirmişlerdir. Ning çalışmasında yatay ve düşey yük etkisi altındaki betonarme çerçevelerin analizinde çatlamaların etkisini olasılığa dayalı etkili rijitlik modeli ile göz önünde bulunduran bir yöntem geliştirmiştir (3). Çalışmasında ayrıca farklı donatı oranlarına sahip betonarme kirişlere

değişik yüklemeye tiplerini uygulayarak çatlamların gelişimini ve ilerlemesiyle birlikte eğilme rijitliğinde oluşan değişimleri incelemiştir. Dündar ve Kara, kiriş ve kolon elemanlardaki çatlamları göz önünde bulundurarak betonarme çerçevelerin üç boyutlu analizi için geliştirdikleri analitik yöntemle dayalı olarak bir bilgisayar programı oluşturmuşlardır (4). Çalışmalarında betonarme yapıya etkiyen yatay ve düşey yüklerden dolayı kiriş ve kolon elemanlarının çatlama halinde etkili atalet momentlerinin hesabında literatürde mevcut olan değişik yöntemleri kullanmışlardır. Geliştirdikleri yöntemde betonarme çerçeveye uygulanan yüklere bağlı olarak elemanlardaki çatlamların oluşum sırası ve elemanların eğilme rijitliğinde oluşan değişimleri de elde etmişlerdir.

Bu çalışmada kiriş ve kolonlarda oluşan çatlamlar göz önünde bulundurularak betonarme çerçevelerin analizi için daha önceden geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile değişik yüklemeye tipi ve farklı donatı oranlarının çatlamlar ve buna bağlı olarak betonarme kiriş elemanlarının etkili atalet momentleri üzerine olan etkisi irdelenmiştir. Çalışma kapsamı içerisinde ayrıca elemanların etkili atalet momenti ile ilgili olarak önerilen farklı modellerin deney sonuçları da göz önünde bulundurularak karşılaştırılması yapılmıştır.

## **2. ETKİLİ ATALET MOMENTİNİN HESABINDA KULLANILAN MODELLER**

Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme yapıda kiriş ve kolon elemanlarının çatlama halinde etkili atalet momenti değerleri ACI(5), CEB(6) ve olasılığa dayalı etkili rijitlik modelleri ile göz önünde bulundurularak analize dahil edilmişlerdir.

### ACI Modeli:

$$I_{\text{eff}} = \left( \frac{M_{\text{cr}}}{M} \right)^m I_1 + \left[ 1 - \left( \frac{M_{\text{cr}}}{M} \right)^m \right] I_2, \quad M \geq M_{\text{cr}} \quad (1a)$$

$$I_{\text{eff}} = I_1, \quad M < M_{\text{cr}} \quad (1b)$$

### CEB Modeli:

$$I_{\text{eff}} = \left[ \beta_1 \beta_2 \left( \frac{M_{\text{cr}}}{M} \right)^2 \frac{1}{I_1} + \left( 1 - \beta_1 \beta_2 \left( \frac{M_{\text{cr}}}{M} \right)^2 \right) \frac{1}{I_2} \right]^{-1}, \quad M \geq M_{\text{cr}} \quad (2a)$$

$$I_{\text{eff}} = I_1, \quad M < M_{\text{cr}} \quad (2b)$$

Bu denklemlerdeki  $I_1$  ve  $I_2$  sırası ile kesitin çatlama öncesi ve tamamen çatlama halindeki atalet momenti değerleridir. Yine aynı denklemlerde geçen  $\beta_1, \beta_2$  yüklemeye ve donatı özelliklerine bağlı olacak şekilde değişmektedir.  $\beta_1$  yüksek aderanslı donatı çeliği için 1, düz donatı için 0.5 alınmaktadır.  $\beta_2$  ise kısa süreli yüklemeye durumları için 0.8, uzun süreli veya tekrarlı yük durumları için 0.5 olarak alınmaktadır. Bu eşitliklerde ayrıca deney sonuçları da göz önünde bulundurularak  $m=3$  olarak alınmaktadır.

Olasılığa Dayalı Etkili Rijitlik Modeli:

Betonarme yapıya etkileyen yüklerden dolayı çatlayan elemanların etkili atalet momenti değerleri bu elemanlarda oluşan moment diyagramındaki çatlayan ve çatlamayan bölge alanlarının toplam alana oranına bağlı olacak şekilde elde edilerek analize dahil edilmişlerdir (Şekil 1). Literatürde olasılığa dayalı etkili rijitlik şeklinde de belirtilen bu yöntemde etkili atalet momentleri (3) denklemlerindeki gibi elde edilmektedir.

$$A_{\text{uncr}} = A_1 + A_2 = \int_{M(x) < M_{\text{cr}}} M(x) \quad (3a)$$

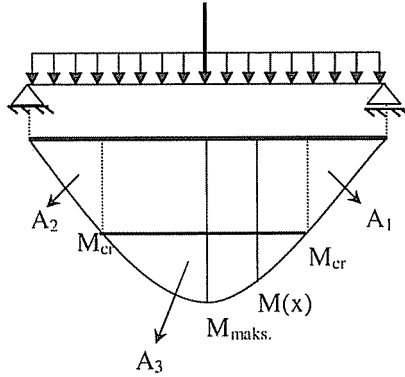
$$A_{\text{cr}} = A_3 = \int_{M(x) \geq M_{\text{cr}}} M(x) \quad (3b)$$

$$A = A_{\text{cr}} + A_{\text{uncr}} \quad (3c)$$

$$P_{\text{uncr}} [M(x) < M_{\text{cr}}] = \frac{A_{\text{uncr}}}{A} \quad (3d)$$

$$P_{\text{cr}} [M(x) \geq M_{\text{cr}}] = \frac{A_{\text{cr}}}{A} \quad (3e)$$

$$I_{\text{eff}} = P_{\text{uncr}} I_1 + P_{\text{cr}} I_2 \quad (3f)$$



**Şekil 1.** Yükler etkisi altındaki basit mesnetli bir kirişte eğilme momentinden dolayı oluşan çatlayan ve çatlamayan bölgeler.

(3) denklemlerdeki  $P_{\text{uncr}}$  bir kiriş elemanda oluşan moment dağılımına bağlı olarak  $M$  momentinin  $M_{\text{cr}}$  momentinden küçük olma olasılığını,  $P_{\text{cr}}$  ise  $M$  momentinin  $M_{\text{cr}}$  momentini aşma olasılığını yani kesitin çatlama olasılığını ifade etmektedir. (1), (2) ve (3) eşitliklerindeki  $M$ , ilgili kesitteki eğilme momentini  $M_{\text{cr}}$  ise çatlama anındaki eğilme momentini ifade etmekte olup,

$$M_{\text{cr}} = \frac{(f_r + \sigma_v) I_1}{y_t} \quad (4)$$



şeklinde tanımlanmaktadır. (4) denklemindeki  $f_r$ , betonun eğilmedeki çekme dayanımını,  $y_1$  kesitin en alt çekme yüzünden ağırlık merkezine olan uzaklığını,  $\sigma_v$  ise aksenal basınç gerilmesini ifade eden değerlerdir.

### 3. ÇATLAMALARIN ETKİSİ GÖZ ÖNÜNDE BULUNDURULARAK GELİŞTİRİLEN YÖNTEM

Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme yapının analizinde temel denklemlerin oluşturulması için ilk etapta birim yüklemeler uygulanarak eleman esneklik katsayıları elde edilmiş, daha sonra da dengeli denklemleri ve uygunluk şartlarından yararlanılarak bazı bölgelerinde çatlama oluşabilecek elemanların rijitlik matrisi ve yük vektörü değerleri bulunmuştur (4). Eleman rijitlik denklemi sonuç olarak,

$$\underline{k} \underline{d} + \underline{P}_0 = \underline{P} \quad (5)$$

formunda elde edilmiştir. Bu eşitlikteki  $\underline{k}$  (12x12),  $\underline{d}$  (12x1),  $\underline{P}_0$  (12x1) ve  $\underline{P}$  (12x1) değerleri eleman rijitlik matrisi, deplasman vektörü, dış kuvvetlerden dolayı oluşan uç kuvvet vektörü ve sonuç uç kuvvet vektörü değerleridir. Bu değerler eleman eksen takımında (x,y,z) olup, transformasyon matrisi aracılığı ile global eksen takımına (X,Y,Z) çevrilmiştir.

Yapıyı oluşturan elemanların çatlaman ve çatlamayan bölgelere sahip olabileceğinden dolayı (Şekil 1), esneklik katsayılarının elde edilmesinde kullanılan integral değerleri her bölge için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Çatlamaman meydana geldiği bölgelerdeki atalet momenti değerlerinin eğilme momentine bağlı olarak değişimi, yapıdaki iç kuvvetlerin yeniden dağılımını zorunlu kıldığından, analizde iteratif bir yöntem uygulanarak çözüme gidilmiştir.

Yapıların analizi için geliştirilen yöntemde ilk etapta eleman rijitlik denklemi elde edilmekte, daha sonra ise her elemandan gelen etki ve katkılar göz önünde bulundurularak sistem rijitlik matrisi ve sistem yük vektörü oluşturulmaktadır. Elde edilen sistem denklemi çözülerek sistem deplasmanları ile her elemanın uç kuvvetleri ile uç deplasmanları bulunmaktadır. Her iterasyonda işlemler adım adım bu şekilde uygulanarak çözüme ulaşılmaktadır (4).

### 4. BİLGİSAYAR PROGRAMI

Betonarme yapıların analizi için iteratif yöntemle dayalı olarak geliştirilen bilgisayar programı Fortran 77'de yazılmıştır. Analizde her iterasyonda bir önceki iterasyondaki eleman uç kuvveti değerleri kullanılarak çözümlenmeler yapılmakta olup birbirini izleyen iki iterasyondaki eleman uç kuvvetleri arasındaki belirlenen yakınsaklık kriteri sağlanınca iterasyonlara son verilmektedir. Geliştirilen programda,

$$\left| \frac{P_i^n - P_i^{n-1}}{P_i^n} \right| \leq \epsilon \quad (6)$$

şeklinde bir yakınsaklık kriteri kullanılmıştır. Bu denklemden  $\epsilon$  yakınsaklık kriteri, n iterasyon numarası,  $P_i^n$  ve  $P_i^{n-1}$  n. ve (n-1). iterasyonlarda elemanda oluşan uç kuvveti değerleridir. Bilgisayar programına veri girişi “genel bilgiler”, “eleman özellikleri”, “mesnet şartları”, “koordinatlar” ve “yükler” olmak üzere beş data bloğundan

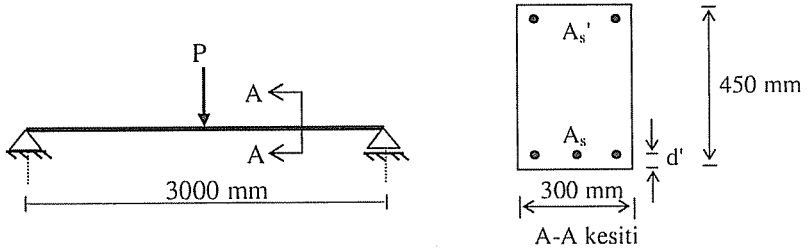
oluşan ve herhangi bir editör yazılımı ile hazırlanabilen data dosyasından yapılabilmektedir.

## 5. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu bölümde, bu çalışma kapsamı içerisinde bulunan, farklı yükleme tiplerinin ve beton içerisindeki değişik donatı oranlarının betonarme kiriş elemanlarının etkili atalet momentleri üzerine olan etkisi irdelenmiştir. Bununla birlikte elemanların etkili atalet momentleri ile ilgili olarak önerilen değişik modellerin deney sonuçları da göz önünde bulundurularak karşılaştırılması yapılmıştır.

### 5.1. Deneysel Çalışması Yapılmış Betonarme Kiriş Örnekleri

Bu örnekte farklı yükleme tipleri etkisi altındaki ve değişik donatı oranlarına sahip betonarme kiriş örnekleri deneysel olarak yüklemeye tabi tutulmuşlardır (3). Yüklemeye tabii tutulan kirişler, kesit özellikleri ve içerisindeki donatılar Şekil 2'de gösterilmiş ve ayrıca bu kirişlerle ilgili gerekli bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Yüklemeler açıklık ortasında tekil yük, iki noktasal yükleme ve düzgün yayılı yük olmak üzere üç farklı yüklemeden oluşmaktadır. Tüm kirişler 3000 mm açıklığında olacak şekilde basit mesnetli olarak düzenlenmiştir.



Şekil 2. Deneysel çalışması yapılmış açıklık ortasında tekil yüklü betonarme kiriş örneği

Çizelge 1. Betonarme kiriş örneğine ait bilgiler

Yükleme Durumu	Kirişler	Faydalı yükseklik (d, mm)	Çekme donatısı (A <sub>s</sub> )	Basınç Donatısı (A <sub>s</sub> ')
1 (Açıklık ortası tekil yük)	B16-1	400	3φ16	2φ12
	B20-1	396	3φ20	2φ12
	B25-1	393.5	3φ25	2φ12
2 (İki noktasal yük)	B16-2	400	3φ16	2φ12
	B20-2	396	3φ20	2φ12
	B25-2	393.5	3φ25	2φ12
U (Düzgün yayılı yük)	B16-U	400	3φ16	2φ12
	B20-U	396	3φ20	2φ12
	B25-U	393.5	3φ25	2φ12

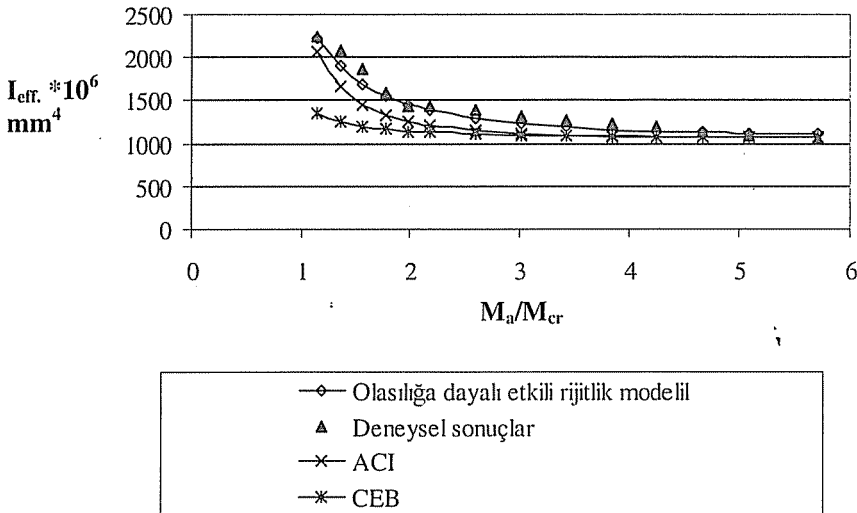
Deneysel olarak etkili atalet momenti değerleri deneyde ölçülen eğrilik değeri ile (7) ifadesindeki denklem kullanılarak elde edilmiştir (3).

$$I_{\text{exp}} = \frac{M_a}{E_c \varphi} \quad (7)$$

Bu denklemdeki  $E_c$  beton elastisite modülünü,  $M_a$  ve  $\varphi$  ise açıklık ortasındaki kesitte oluşan moment ve eğrilik değerlerini ifade etmektedir. Deneysel olarak yüklemeye tabii tutulan kirişlerin analitik olarak çözümlenmesinde çatlama momenti  $M_{cr}$  (4) denklemi ile elde edilmekte olup bu denklemde  $\sigma_v=0$  olarak alınmaktadır.

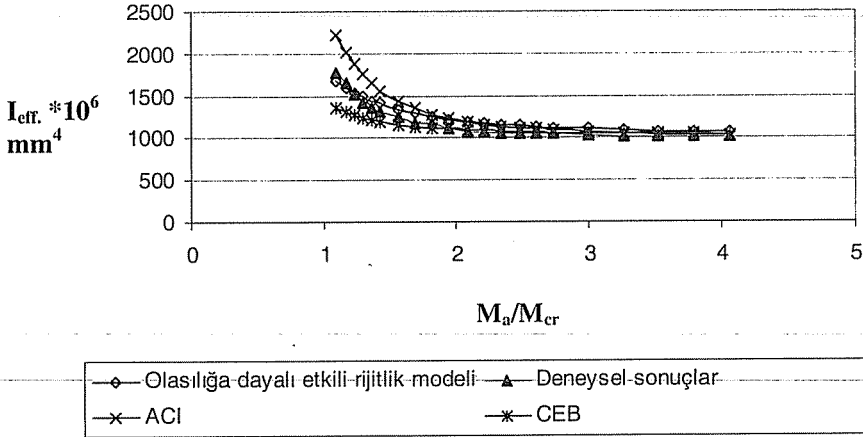
Açıklık ortasındaki tekil yük, iki noktasal yüklemeye ve düzgün yayılı yük olmak üzere farklı yüklemeler etkisi altındaki aynı çekme donatısına sahip kirişlerin deneysel olarak ve farklı modeller aracılığı ile elde edilen etkili atalet momenti değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3-6'da gösterilmiştir. Yükleme tipinden bağımsız olarak ACI tarafından önerilen denklem aracılığı ile elde edilen etkili atalet momenti değerlerinin, deneysel olarak elde edilen değerlerden açıklık ortası tekil yük durumu dışında, daha yüksek olduğu görülmüştür. Bununla birlikte CEB tarafından önerilen denklem aracılığı ile elde edilen değerler de tüm yüklemeye durumları için, deneysel olarak elde edilen değerlerden daha düşük olmaktadır (Şekil 3-5). Ayrıca Şekil 6'den yüklemeye tipinin değişmesine bağlı olarak etkili atalet momenti değerlerinin de değiştiği görülmektedir. Açıklık ortasındaki tekil yük durumu için elde edilen etkili atalet momenti değerlerinin aynı  $M_a/M_{cr}$  değerinde, diğer yüklemeye durumlarında elde edilen değerlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Olasılığa dayalı etkili rijitlik modeli ile elde edilen etkili atalet momenti değerlerinin de ACI ve CEB modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği ve deney sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

B25-1



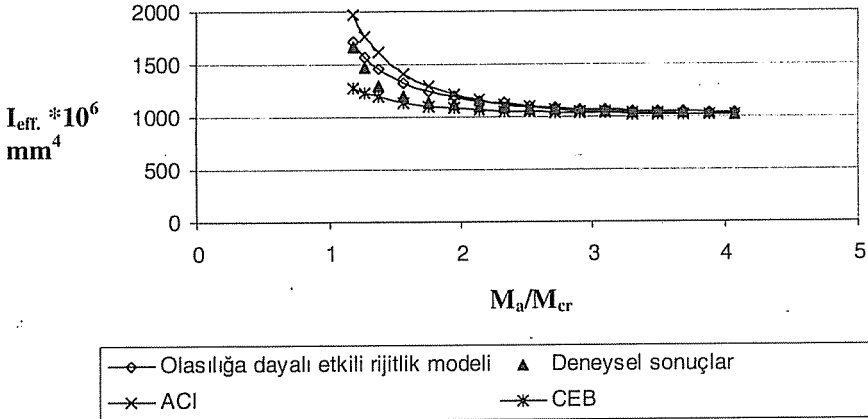
Şekil 3. Açıklık ortası tekil yük durumunda etkili atalet momentlerinin karşılaştırılması

B25-2



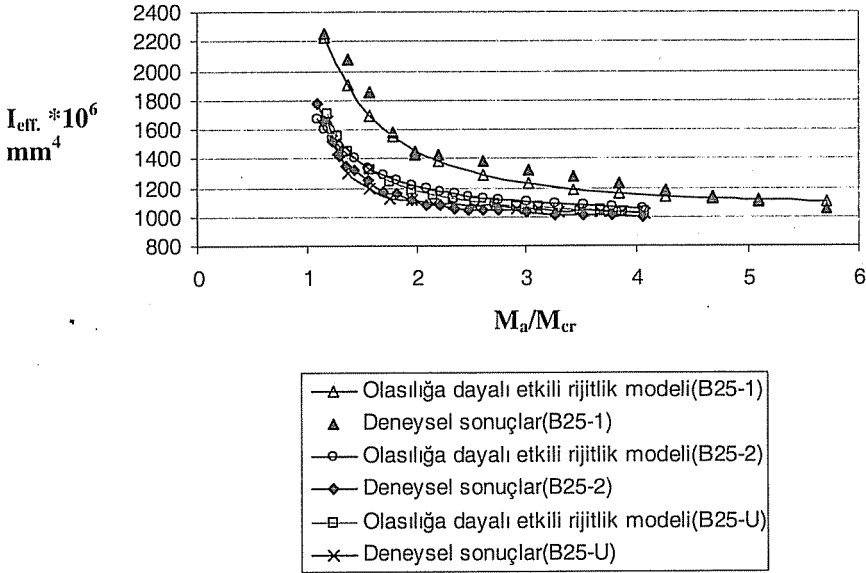
Şekil 4. İki noktasal yük durumunda etkili atalet momentlerinin karşılaştırılması

B25-U



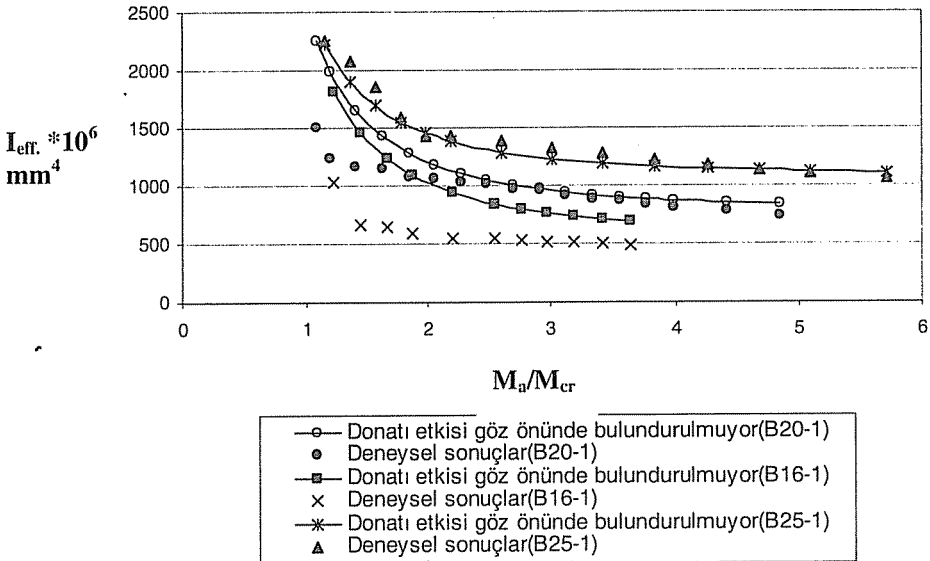
Şekil 5. Düzgün yayılı yük durumunda etkili atalet momentlerinin karşılaştırılması

*BETONARME KİRİŞ ELEMANLARDA BULUNAN FARKLI DONATI ORANLARININ  
VE DEĞİŞİK YÜKLEME TİPLERİNİN ETKİLİ ATALET MOMENTİ  
ÜZERİNE OLAN ETKİSİNİN İRDELENMESİ*



**Şekil 6.** Farklı yüklemeye tiplerinin etkili atalet momenti üzerine olan etkisi

Şekil 7’de açıklık ortasındaki tekil yük durumunda farklı donatı oranlarına sahip kirişlerin deneysel olarak elde edilen etkili atalet momenti değerleri ile olasılığa dayalı etkili rijitlik modeli aracılığı ile donatı etkisini göz önünde bulundurmadan elde edilen etkili atalet momenti değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.



**Şekil 7.** Açıklık ortası tekil yük durumunda donatı etkisi göz önünde bulundurulmadan elde edilen etkili atalet momentlerinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması

Çekme donatısı  $3\phi 25$  ( $\rho=0.39\rho_b$ ) olan kiriş için elde edilen etkili atalet momenti değerlerinin deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Ancak çekme donatısı  $3\phi 16$  ( $\rho=0.39\rho_b$ ) ve  $3\phi 20$  ( $\rho=0.39\rho_b$ ) olan kirişlerin elde edilen etkili atalet momenti değerleriyle deneyde elde edilen değerler arasında büyük farklılıkların olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlar da göz önünde bulundurularak bu yükleme durumunda  $3\phi 16$  ve  $3\phi 20$  çekme donatısına sahip kirişlerin etkili atalet momentleri daha uygun sonuçların elde edilebilmesi amacıyla, Ning tarafından önerilen ve donatı etkisini içerecek şekilde aşağıdaki denklemdeki gibi düzenlenmişlerdir (3).

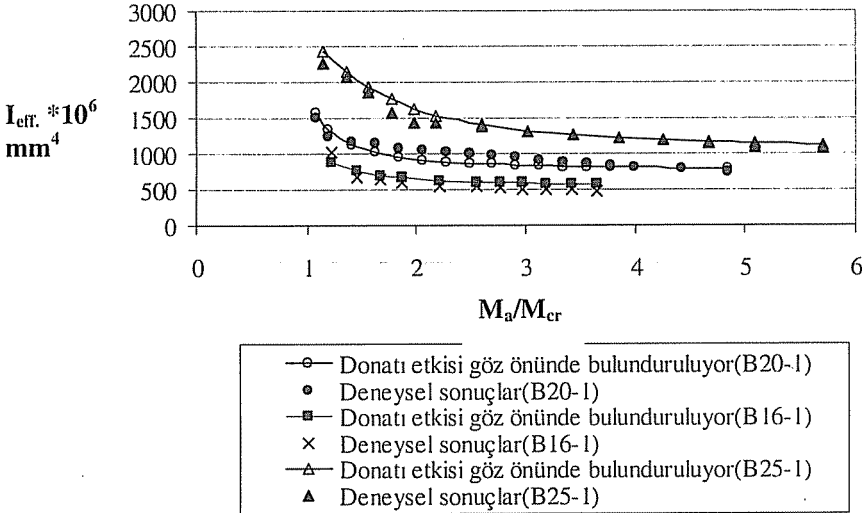
$$I_{\text{eff}} = [1 - P_{cr} P_p] I_{\text{uncr}} + P_{cr} P_p I_{cr} \quad (8)$$

Bu eşitlikteki  $P_p$  ve  $\alpha$  değerleri kesitteki donatı oranına bağlı olacak şekilde aşağıdaki denklemlerdeki gibi elde edilmektedirler.

$$P_p = (P_{cr})^\alpha \quad (9a)$$

$$\alpha = \begin{cases} \sqrt[3]{\rho'' - 1} & 0 \leq \rho'' \leq 1 \\ \sqrt[3]{\rho'' - 0.46} & \rho'' > 1 \end{cases} \quad \rho'' = \frac{d}{h} \rho \quad (9b)$$

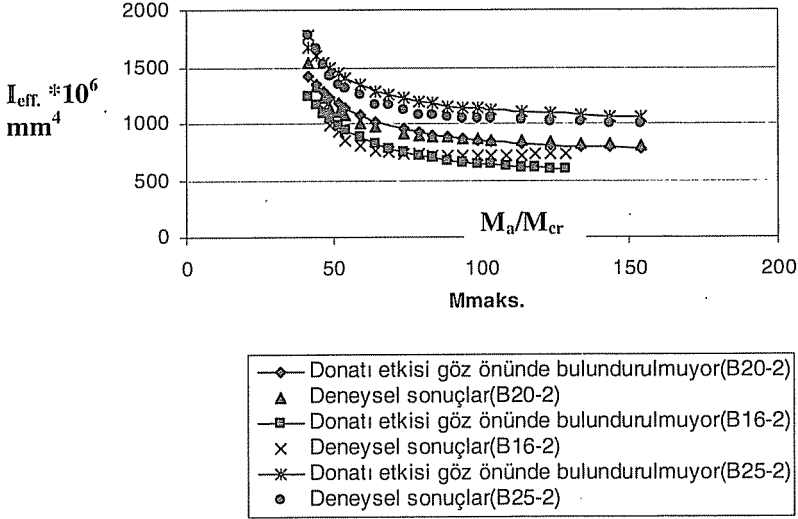
Etkili atalet momentindeki bu düzenleme sonucunda donatı etkisini de içerecek şekilde elde edilen değerlerin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması Şekil 8'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak, açıklık ortasındaki tekil yük durumunda, düşük donatı oranına sahip kirişlerde donatı etkisinin göz önünde bulundurulmasıyla daha uygun sonuçlar bulunduğu görülmüştür.



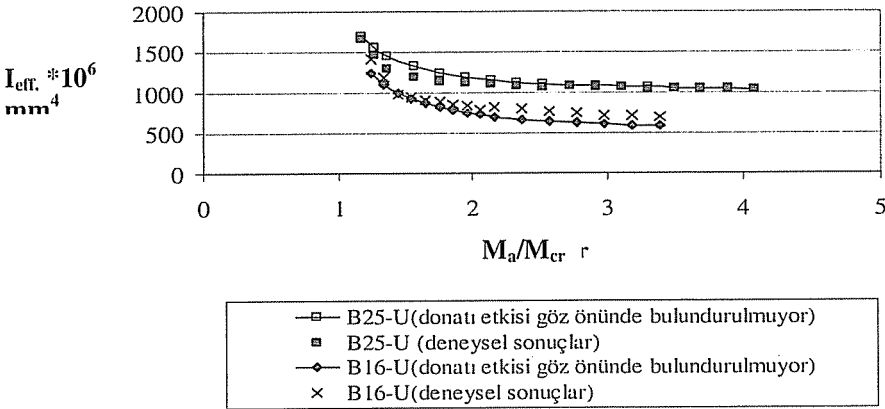
**Şekil 8.** Açıklık ortası tekil yük durumunda donatı etkisi göz önünde bulundurularak elde edilen etkili atalet momentlerinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması

*BETONARME KİRİŞ ELEMANLARDA BULUNAN FARKLI DONATI ORANLARININ  
VE DEĞİŞİK YÜKLEME TİPLERİNİN ETKİLİ ATALET MOMENTİ  
ÜZERİNE OLAN ETKİSİNİN İRDELENMESİ*

Şekil 9 ve Şekil 10'da sırasıyla iki noktasal yük ve düzgün yayılı yük durumunda donatı etkisini göz önünde bulundurmadan elde edilen etkili atalet momenti değerlerinin deneysel olarak elde edilen değerlerle karşılaştırılması yapılmış ve uygun sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bu sonuçlara bağlı olarak bu yükleme durumlarında etkili atalet momentlerinin elde edilmesinde donatı etkisinin göz önünde bulundurulmasının gerekli olmadığı görülmüştür.



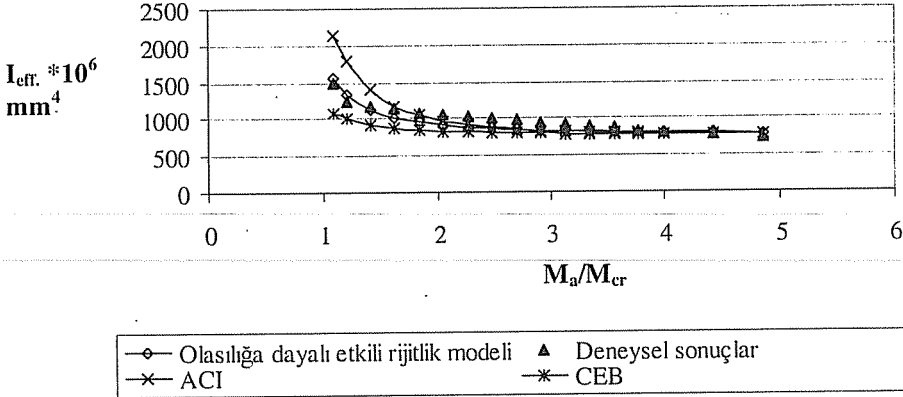
**Şekil 9.** İki noktasal yük durumunda donatı etkisi göz önünde bulundurulmadan elde edilen etkili atalet momentlerinin karşılaştırılması



**Şekil 10.** Düzgün yayılı yük durumunda donatı etkisi göz önünde bulundurulmadan elde edilen etkili atalet momentlerinin karşılaştırılması

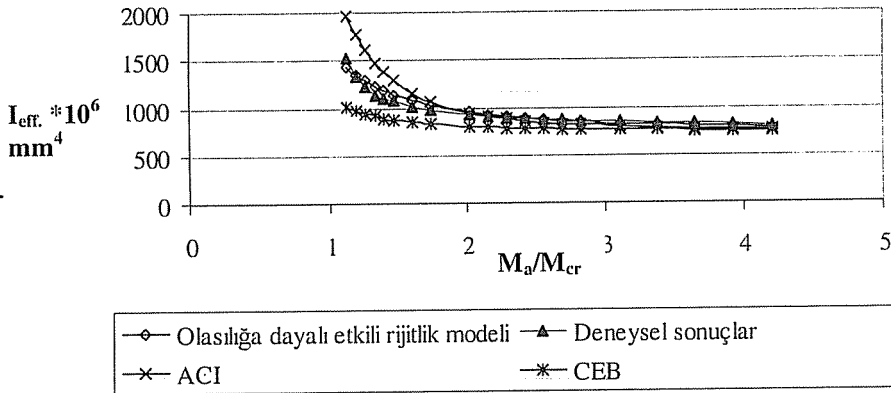
Olasılığa dayalı etkili rijitlik modelinde donatı etkisini içerecek şekilde yapılan düzeltmeler de göz önünde bulundurularak B20 ve B16 kirişleri için değişik yükleme durumlarında farklı modeller aracılığı ile elde edilen etkili atalet momentlerinin karşılaştırılması Şekil 11-15'de gösterilmiştir.

B20-1



Şekil 11. Açıklık ortası tekil yük durumunda etkili atalet momentlerinin karşılaştırılması

B20-2

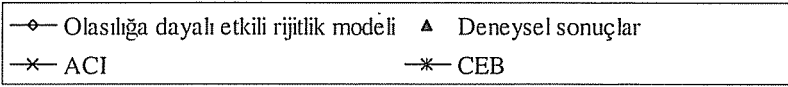
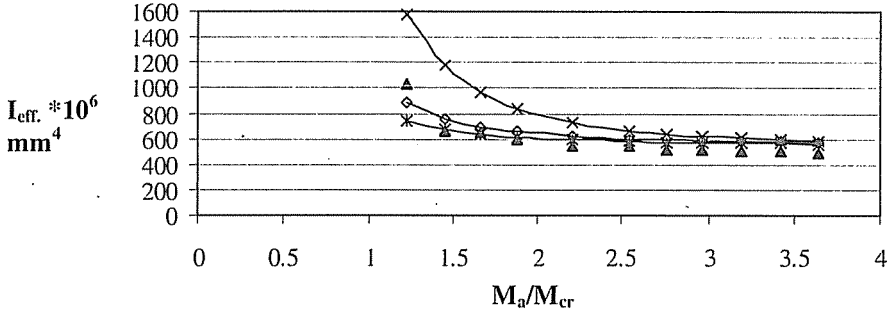


Şekil 12. İki noktasal yük durumunda etkili atalet momentlerinin karşılaştırılması



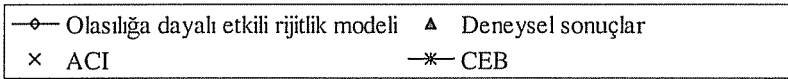
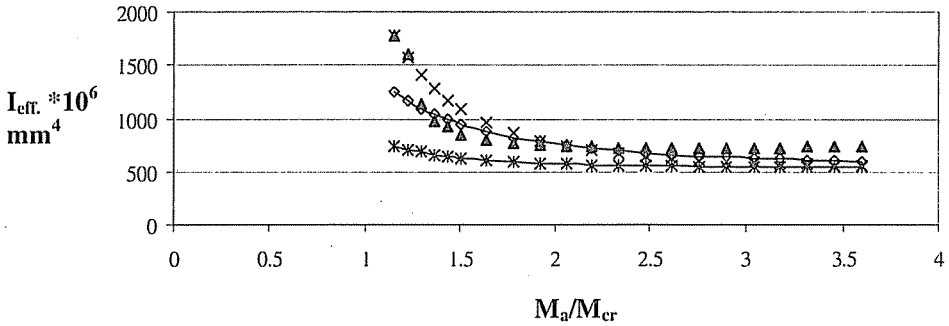
*BETONARME KİRİŞ ELEMANLARDA BULUNAN FARKLI DONATI ORANLARININ  
VE DEĞİŞİK YÜKLEME TİPLERİNİN ETKİLİ ATALET MOMENTİ  
ÜZERİNE OLAN ETKİSİNİN İRDELENMESİ*

**B16-1**



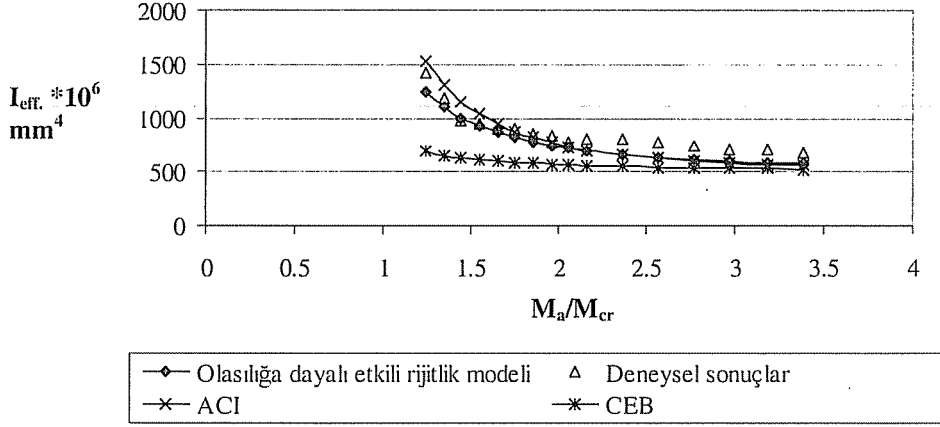
**Şekil 13.** Tekil yük durumunda etkili atalet momentlerinin karşılaştırılması

**B16-2**



**Şekil 14.** İki noktasal yük durumunda etkili atalet momentlerinin karşılaştırılması

## B16-U



Şekil 15. Düzgün yayılı yük durumunda etkili atalet momentlerinin karşılaştırılması

Şekillerden daha önce de belirtilen duruma benzer olarak, ACI tarafından önerilen denklem aracılığı ile elde edilen etkili atalet momenti değerlerinin deneysel olarak elde edilen değerlerden daha yüksek, CEB tarafından önerilen denklem aracılığı ile elde edilen değerlerin de tüm yüklenme durumları için, deneysel olarak elde edilen değerlerden daha düşük olduğu görülmektedir. Bununla birlikte Olasılığa dayalı etkili rijitlik modeli ile elde edilen etkili atalet momenti değerlerinin ACI ve CEB modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği ve deney sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada kapsamı içerisinde farklı yüklenme tiplerinin ve beton içerisindeki değişik donatı oranlarının betonarme kiriş elemanların etkili atalet momentleri üzerine olan etkisi incelenmiştir. Çalışmada ayrıca betonarme elemanların etkili atalet momentleri ile ilgili olarak önerilen modellerin deney sonuçları da göz önünde bulundurularak karşılaştırılması yapılmıştır. Deneysel olarak yüklemeye tabi tutulan kirişler geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile çözümlenmiş ve farklı yüklenme tiplerinin ve değişik donatı oranlarının betonarme kiriş elemanların etkili atalet momenti üzerine olan etkisi araştırılmıştır.

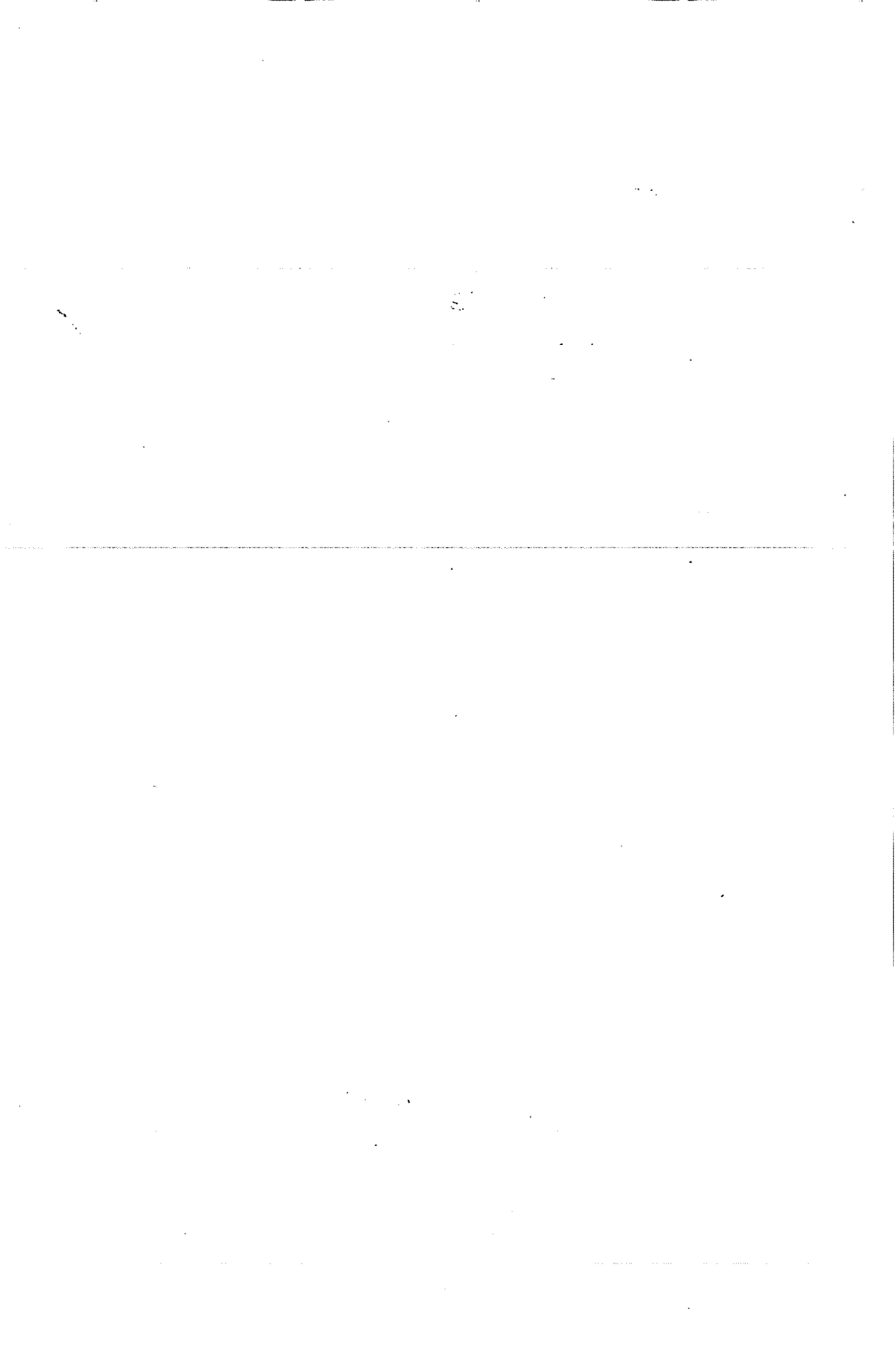
Gerek deneylerden, gerekse daha önceden geliştirilen yöntem aracılığı ile elde edilen sonuçlara bağlı olarak yüklenme tipinin değişmesiyle birlikte elemanların etkili atalet momentlerinin de değiştiği görülmüştür. Açıklık ortasındaki tekil yük durumunda elde edilen etkili atalet momenti değerlerinin aynı  $M_a/M_{cr}$  değerinde diğer yüklemeler sonucunda elde edilen değerlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bununla birlikte açıklık ortasındaki tekil yük durumu için düşük donatı oranına sahip kirişlerin etkili atalet momenti değerlerinin deneysel sonuçlarla büyük farklılıklar oluşturduğu

gözlenmiştir. Bu yükleme durumunda etkili atalet momenti ifadeleri donatı etkisini de içerecek şekilde düzenlenerek deneysel sonuçlarla uyum içerisinde değerler elde edilmiştir.

Geliştirilen yöntem aracılığı ile elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurularak, olasılığa dayalı etkili rijitlik modeli ile bulunan etkili atalet momenti değerlerinin ACI ve CEB modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği ve deney sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

## **7. KAYNAKLAR**

1. Al-Shaikh,A.H. ve Al-Zaid,R,Z., "Effect of Reinforced Ratio on the Effective Moment of Inertia of Reinforced Concrete Beams", *ACI Structural J.*, 90, 144-149, 1993.
2. Branson,D.E., "Instantaneous and Time-Dependent Deflections of Simple and Continuous Reinforced Concrete Beams", *HPR Report, Alabama Highway Department/US, Report No.7, Part 1*, 78, 1967.
3. Ning,F., "Lateral Stiffness Characteristics of Tall Reinforced Concrete Buildings Under Service Loads, PhD dissertation, Dept. of Civ. Engrg., Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, 1998.
4. Dundar,C.ve Kara,I.F., "Three dimensional analysis of reinforced concrete frames with cracked beam and column elements", *Engineering Structures*, 29(9), 2262-2273, 2007.
5. *ACI-318-95, Building code requirements for reinforced concrete (ACI 318-95)*, Michigan, 1995.
6. *Comite Euro-International du Beton, "Manual on Cracking and Deformation"*, *Bulletin d'Information*, No.158-E, 1985.
7. Al-Mahaidi,R.S.H., "Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Deep Members", *Department of Struc. Engrg., Cornell Universty, Report No. 79-1*, 1978.
8. DüNDAR,C., Kara,I.F., Tanrıku, A.K., "Kirişlerdeki Çatlama Göz Önüne Alınarak Çerçevelerin Üç Boyutlu Analizi", *Türkiye İnşaat Mühendisliği XVI. Teknik Kongre ve Sergisi, Böl. 8*, 2001.
9. Tanrıku, A.K, Dundar,C., Cagatay,I.H., "A Computer program for the analysis of reinforced concrete frames with cracked beam elements", *Structural Engineering and Mechanics*, 10(5) 463-478, 2000.
10. Cosenza,E, "Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Elements In a Cracked State", *Computers & Structures*, 36(1), 71-79, 1990.



## EŞZAMANLI MÜHENDİSLİK KAVRAMININ TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE UYGULANABİLİRLİK DÜZEYİNİN İRDELENMESİ

**M. Emin ÖCAL ve Berna ŞEKERCİ**

*Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*

**ÖZET :** *Bu çalışmada, "Eşzamanlı Mühendislik" (EM) adlı yeni bir yönetim anlayışının Türk İnşaat Sektörü'ndeki uygulanabilirlik düzeyinin irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda hazırlanan anket, sektörde yer alan yüklenici firmalara uygulanarak sonuçlar analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, bu yeni kavramın sektörde tam anlamıyla bilinmediği; üst yönetim desteği, personel eğitimi ve ekip çalışmasının yetersiz olması; proje sürecinde yer alan aktörlerin tasarım kararlarına eksik katılımı ve birimler arası bilgi alışverişinin etkin olmamasının, EM'nin sektörde yaygın kullanılmasına engel teşkil ettiği yönünde bulgulara ulaşılmıştır. Bu bulgular değerlendirilerek, söz konusu engellerin ortadan kaldırılmasına yönelik öneriler sunulmuştur.*

**Anahtar Kelimeler:** *Eşzamanlı Mühendislik, Türk İnşaat Sektörü, Multidisipliner Ekip*

### ANALYZING THE IMPLEMENTATION LEVEL OF CONCURRENT ENGINEERING IN TURKISH CONSTRUCTION SECTOR

**ABSTRACT :** *In this study, the implementation level of a new management approach, namely Concurrent Engineering (CE), in Turkish Construction Sector is studied. In this sense, a questionnaire survey has been practiced with the contractor companies in the sector and the results have been analyzed. According to the analysis results, the following findings are attained: the new concept is not exactly known in the sector; top management support, personnel training and teamwork are insufficient; the attendance of the actors, who are involved in the project process is lacking in terms of design decisions; and additionally, that the information exchange between the departments is inefficient. These findings create barriers for the common use of CE in the sector. By evaluating these findings, suggestions towards removing the above mentioned barriers are presented.*

**Key Words:** *Concurrent Engineering, Turkish Construction Sector, Multidisciplinary Team*

## 1. GİRİŞ

21.yüzyılın eşiğindeki dünya, hızlı bir değişim sürecindedir. Teknolojik ilerlemeler, iletişimin hızlı gelişimi, üretilen mal ve hizmetlerdeki çeşitlilik, yeni açılan pazarlar, insan hakları ve demokrasi alanındaki gelişmeler, müşterinin bilinçlenmesi ve beklentilerinin değişmesi, değişen demografik yapı, küreselleşme gibi faktörlerin sonucunda oluşan rekabet ortamı, organizasyonların hem iç hem de dış çevresini sürekli değişime ve gelişime zorlamaktadır. Hızla artan bu rekabet ortamında, proje maliyetleri ve pazara sunum sürecini azaltarak daha kaliteli üretim yapmak herhangi bir ürün geliştirme süreci için anahtar başarı faktörü olmaktadır.

Bu bağlamda, kalite amaçlı tasarım tekniklerinden biri olan Eşzamanlı Mühendislik (EM), rekabet gücü üzerinde büyük etkiye sahiptir. EM, geleneksel ürün geliştirme sürecinde (Seri Mühendislik) ardışık olarak yapılan çeşitli faaliyetlerin eşzamanlı olarak gerçekleştirilmesiyle, ürün geliştiriminin bütün evrelerini etkili şekilde bütünleştirmeye yönelik bir girişimdir. EM uygulamalarıyla, ürün yaşam çemberinde yer alan tüm aktörler tasarım sürecine katılmakta ve böylece daha sonraki aşamalarda ortaya çıkabilecek değişiklik, düzeltme ve yeniden yapım işleri önlenerek, süre ve maliyetten tasarruf sağlanmaktadır.

Bu çalışmanın birincil amacı, yurt dışında yaygın kullanım alanı bulan “Eşzamanlı Mühendislik” adlı çağdaş yönetim tekniğinin, Türk inşaat sektöründeki uygulama düzeyini saptamaktır. İkincil amaç da, bu yeni anlayışın, Türk inşaat sektöründe de bilinmesini sağlamak, uygulanabilirliğini arttırmak ve bu konuya dikkati çekmektir. Böylece, sektörde yer alan aktörlerin bu konuda bilinçlenmelerine ve küreselleşen dünyada Türk inşaat sektörünün yurt içinde ve yurt dışında rekabet edebilirlik gücü kazanmasına katkı sağlanabileceği umulmaktadır.

## 2. MATERYAL VE METOD

Çalışmada öncelikle, EM kavramının tanımı, özellikleri, gelişimi, kullanıma sebepleri ve sonuçları ile inşaat sektöründeki uygulamaları konularında ayrıntılı literatür taraması yapılmıştır.

Ardından, Türk İnşaat Sektörü’nde EM yaklaşımının uygulanabilirlik düzeyini belirlemek amacıyla, literatür taramasıyla edinilen bilgiler ışığında hazırlanmış 29 adet sorudan oluşan anket, Türk Müteahhitler Birliği (TMB)’ne üye 140 adet firmaya ön yazıyla birlikte internet yoluyla ulaştırılmıştır. Daha sonra firmalardaki ilgili kişilerle yapılan yüz yüze veya telefon görüşmeleriyle konu hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir.

Geri dönüş yapılan 55 adet ankete verilen cevaplar, elektronik ortamda oluşturulan bir veri tabanına aktarılmış ve bunların istatistiksel değerlendirilmesi, SPSS adlı bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır. Elde edilen veriler analiz edilmiş ve ülkemizin özgün koşulları da dikkate alınarak bulguların değerlendirmesi yapılmıştır.

## 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 3.1. Eşzamanlı Mühendisliğe Genel Bakış

Gelişimi süresince farklı isimlerle (Simültane Mühendislik, Yaşam Çevrimi Mühendisliği, Multidisipliner Takım Yaklaşımı, Bütünleşik Ürün ve Süreç Geliştirme) literatürde yer alan “Eşzamanlı Mühendislik” (EM), geleneksel ürün geliştirme yaklaşımının sorunlarına ve yetersizliklerine çözüm getirmek amacıyla, 1980’li yıllarda

E. 0. 0. 0

O. Akse  
C. Donda  
M. Lona  
M. Arslan  
D. Temel

Merkez

Tekin Say  
K. Torrikulu  
R. un fel  
Ar. Yener 2016

19. Hafta

2008

Gün: 127 - Kalan: 239

MAYIS

MAYIS

HAZİRAN

Pt.	S	Ç	P	C	Ct.	Pz.
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

6

SALI

Pt.	S	Ç	P	C	Ct.	Pz.
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30						

31 g. 6 Haziran - 61 g. 6 Temmuz - 91 g. 5 Ağustos  
121 g. 4 Eylül - 151 g. 4 Ekim - 181 g. 3 Kasım

İmsak  
4.06

Güneş  
5.49

Öğle  
13.08

İkinci  
16.59

Akşam  
20.15

Yatsı  
21.49

Kible Saati  
12.09



Yıldızlı Blok®

Salı 6 Mayıs

5



öncelikle imalat sektöründe ortaya çıkmış, 1990'dan sonra ise çeşitli araştırmalarla literatürde yerini almıştır. Yazılım ve imalat sektörlerinde yaygın kullanım alanı bulan EM anlayışının inşaat sektöründe uygulanmasına gün geçtikçe artan bir ilgi vardır. Çünkü EM esasları ile projeler daha az bölünmüş olmakta, inşaat projelerinin kalitesi artmakta, süresi kısalmakta ve toplam proje maliyeti azalmaktadır.

EM, özellikle ürün tamamlandıktan sonra, destek gruplarından gelen son tasarım girdilerinin sebep olduğu tasarım tekrarlarının sayısını azaltmayı hedeflemektedir. Proje sürecinde yer alan tüm grupları ilk tasarım evresinde bir araya toplayarak, kesin tasarımının oluşturulmasından önce yapılabilecek tüm revizelerin yapılmasıyla, pahalı mühendislik değişiklikleri ihtiyacının yaşam çevriminin son evrelerinde ortaya çıkma olasılığı azalmaktadır. Tasarım değişikliklerinin ürün gelişimi sürecinin başında ele alınması, iş akışının sonraki aşamalarında ortaya çıkabilecek problemleri azaltmaktadır.

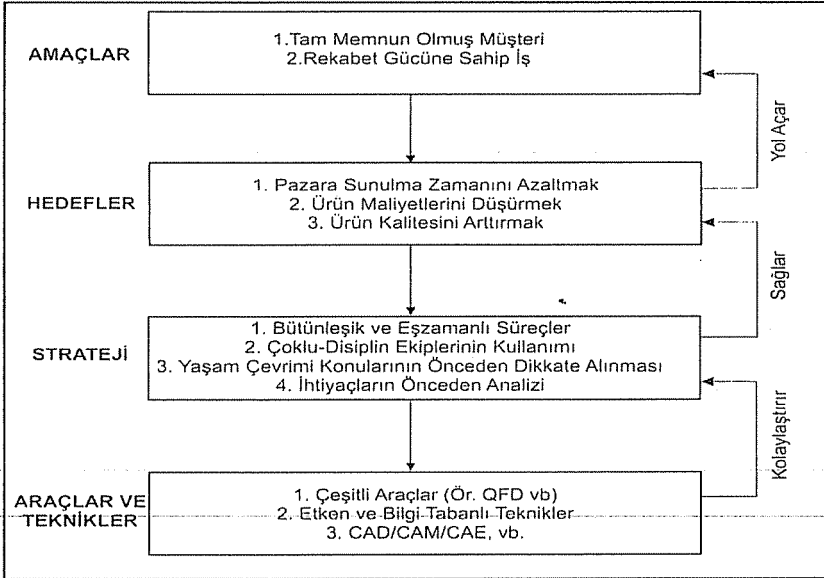
Şekil 1'de, Brookes ve Backhouse (1998)'un hazırladığı; EM'nin amaçları, hedefleri, stratejileri ile uygulanması için gerekli araç ve teknikleri, birbirleriyle ilişkileriyle açıklayan bir çerçeve gösterilmiştir (1-3).

EM, insanların, ticari yöntemlerin ve teknolojinin bütünleştirilmesini gerektirdiğinden önemli organizasyon değişikliklerini içerir ve geleneksel hiyerarşik organizasyondan ziyade çapraz-fonksiyonlu ekip çalışmasına dayanır. EM yaklaşımını yönetim sistemlerine adapte eden şirketler, organizasyonlar yapılarını, personel politikalarını, sistem altyapılarını, ürün ve süreç geliştirme yaklaşımlarını, müşteri ve tedarikçi etkileşimlerini tekrar gözden geçirmek zorundadırlar. EM uygulamasına geçilmeden önce, bazı teknik ve kurumsal bariyerlerin kalkması gerekmektedir. Bu bariyerler:

1. Çalışanlar arasındaki bilgi paylaşımı ve iletişim sisteminin eksikliği,
2. Üst yönetim desteğinden yoksun olunması,
3. İşbirliği ve ekip çalışmasının eksikliği; ekip çalışması konusunda eğitimin olmaması,
4. Gelecekteki ortama ilişkin net bir vizyon belirlememek,
5. Geleneksel fonksiyonel (birimlerin amaçlarına yönelik) ödül sistemlerinin kullanılması,
6. Geleneksel raporlama kalıplarının kullanılması,
7. Süreç iyileştirmeden ziyade bilgisayarlaştırma üzerinde odaklanılması,
8. Çalışanlar arasındaki işi sahiplenme yoksunluğu,
9. Müşteri ve tedarikçi katılımının eksikliği ve müşteri odaklı olmamaktır.

### **3.2. İnşaat Sektöründe Eşzamanlı Mühendislik Uygulamaları**

İnşaat Sektörü bir inşaat işinin projelendirmesinden sonuçlandırılmasına kadar birçok aşamayı ilgilendiren meslek ve sektörlerin bütününden oluşmaktadır. İnşaat endüstrisinin ürünleri, genellikle büyük, yüksek maliyetli, uzun ömürlü, taşınamaz özelliktedirler ve özel şartnamelere göre isteğe uygun yapılırlar. Ayrıca, inşaat yapıları başka endüstriler tarafından temin edilen çok çeşitli malzemeler ve parçalar kullandıkları için üretim süreci karmaşık yapıdadır. Çok çeşitli mal ve hizmet üretimi ile olan bağlantısı, yoğun iş gücü kullanımı ve refah düzeyine olan katkısı ile inşaat sektörü, her ülkenin ekonomik yapısı içerisinde ayrı bir yere ve öneme sahiptir.



Şekil 1. Eşzamanlı mühendislik çerçevesi (Brookes ve Backhouse, 1998)

İnşaat süreci, bir yapıyı oluşturmak için gerekli tüm faaliyetler ile süreç içerisinde yer alan değişik partilerin arasındaki ilişkiyi içerir. Bir inşaat sürecinde genellikle farklı amaçların ve hedeflerin kaynaklandığı ve geçici olarak değişen katılımcılar birliği söz konusudur. Bu katılımcıların çoğu bir yandan bağımsız olarak çalışırken, bir yandan da kaçınılmaz olarak diğerlerini etkileyen kararlar alırlar.

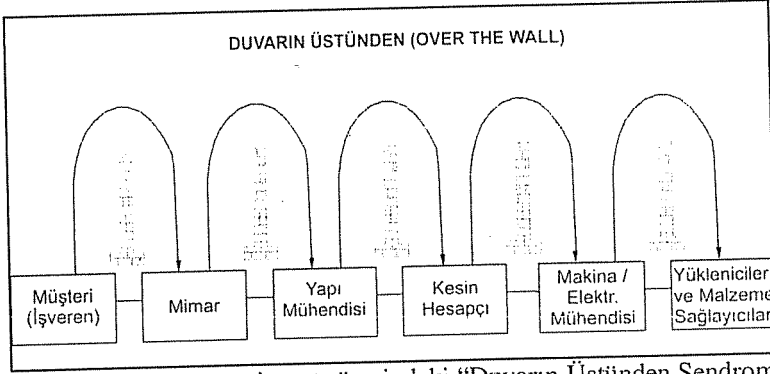
Bir yapının üretilmesine yönelik geleneksel yaklaşım, projenin geliştirilmesinde bir ardışık yaklaşım niteliğindedir. Müşteri bilgilendirmesine dayalı olarak mimar, bir mimari tasarım sunar; bu tasarım yapı mühendisine verilir; yapı mühendisi yapı tasarımını tamamladıktan sonra, projeyi maliyet hesabı çıkarması için kesin hesapçıya verir. Bu arada elektrik ve mekanik projelerinin yapılması için ilgili mühendislik proje grupları devreye girer. Bu çalışmalar tamamlandığında, proje yükleniciye iletir; yüklenici yapının inşasıyla ilgili sorumluluğu üstlenir. Projenin kabul ve teslim aşamalarıyla süreç tamamlanmış olur.

Bu durum, bir işlevsel disiplin kendisine ait görevlerini tamamladığında, disiplinler arasında projenin mecazi anlamda üzerinden aşırılacağı "duvarların" yaratılmasına neden olur. Bu duvar, her disiplinin birbiriyle etkili şekilde iletişim kurmasını engellemektedir (Şekil 2).

Projenin geliştirilmesine yönelik bu "Duvarın Üstünden" yaklaşımı inşaat sektöründe birçok soruna yol açmaktadır (3-5). Bu sorunlar:

1. Müşteri ihtiyaçlarının tespitinin, analizinin ve öncelik sırasının doğru yapılamaması;
2. Tasarım ve inşaat bilgilerinin parçalı yapısı sonucu; bir aşamada oluşturulan bilginin, sonraki aşamada otomatik olarak tekrar ulaşılabilir ve kullanılabilir olmaması;
3. Farklı katılımcıların parçalı yapısı, projeye dâhil olan fonksiyon disiplinleri arasında zayıf bütünleşme, koordinasyon ve işbirliği; bunun sonucunda hataların ve yanlış anlamaların ortaya çıkması;

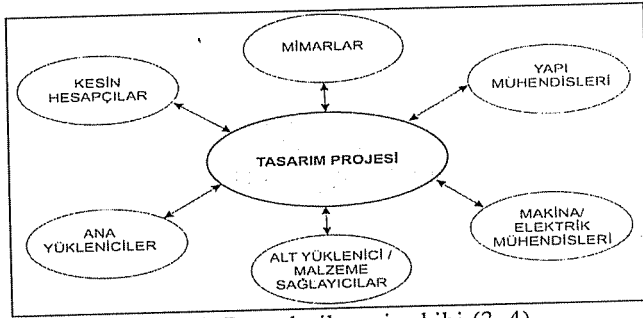
4. Projelerin gerçek yaşam çevrimi analizinden yoksun olmaları;
5. Tasarım mantığının ve niyetinin iletilmemesi sonucunda, eksik ve yetersiz tasarım şartnameleri, uygun olmayan tasarım değişiklikleri, gereksiz yükümlülük talepleri ve uyuşmazlıkların ortaya çıkması;
6. Tasarım maliyetinde ve zamanında artıştır.



Şekil 2. Geleneksel tasarım ve inşaat sürecindeki "Duvarın Üstünden Sendromu" (3, 4)

Geleneksel yöntemde, kullanıcıların, çevre temsilcilerinin, yüklenicilerin, taşeronların ve işletmecilerin tasarım sürecine katılmaması sonucunda, inşa edilebilirlik, işlevsellik ve işletilebilirlik gibi konular tasarımcıların bilgi ve deneyimine bırakılmaktadır. Bu sorunların giderilmesi için, inşaat projelerinin yaşam çemberinde yer alan aktörlerin projenin erken aşamalarında bir araya getirilmesi, sonradan oluşacak problemleri azaltacaktır. Farklı disiplinlerden alınan bilgilerin, tasarım sürecinin erken aşamalarında sağlanması daha kaliteli tasarımlara, daha fazla tasarım esnekliğe, yaratıcılığa ve yapılabiliğe olanak verir. Bu durum, inşaat projesini etkileyen bütün yaşam çevrimi sorunlarının proje yaşam çevriminde erken ele alınmasını sağlayacaktır.

Ürünün tasarımına, geliştirilmesine ve tedarikine ilişkin bütüncül bir yaklaşım olan EM, fonksiyonel disiplinlerin tasarım sırasında bir araya getirildikleri bir bütüncül proje ekibinden oluşmaktadır (Şekil 3) (3,4).



Şekil 3. Bütüncül proje ekibi (3, 4)

Khalfan ve arkadaşlarının bildirdiğine göre, Evbuomwan ve Anumba (1998) inşaat endüstrisi bağlamında, EM'yi aşağıdaki şekilde tanımlamışlardır (6-9):

“...EM, tasarım, fabrikasyon, inşaat ve kurulum faaliyetlerinin bütünleştirilmesi ve uygulamalarda eşzamanlılığın ve işbirliğinin en üst düzeye çıkarılması yoluyla tedarik sürelerini azaltmaya, kaliteyi artırmaya ve maliyeti düşürmeye yönelik olarak projenin tasarımını ve inşaat aşamasını optimum kılmaya çalışır...”

İnşaat sektöründe EM uygulamalarının faydalarını aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür (10,11) :

1. Müşteri ve son kullanıcı gereksinimlerinin daha iyi anlaşılması ve uygulanması ile müşteri memnuniyeti artar.
2. Proje katılımcıları arasında iletişim ve işbirliği gelişir.
3. İnşaat sürecindeki yönetim ve koordinasyon daha iyi hale gelir.
4. Projenin son aşamalarında yapılacak değişikliklerin, uygunsuzlukların azalması ile proje verimliliği artar.
5. Proje zamanı ve maliyeti azalır.
6. Projenin erken evrelerine (tasarım süreci) daha fazla zaman ayrılması ile proje tanımı daha iyi yapılır.
7. Proje temin sürecindeki evreler arasında ve ekip üyeleri arasında daha sağlam ve doğru bilgi transferi gerçekleşir.
8. Daha kaliteli inşaat üretimi sağlanır.
9. İsraf azalır.
10. Çatışma ve hukuki problemler azalır.
11. Tasarımcılarla diğer ekip üyeleri arasındaki ilişkinin gelişmesi ve toplam inşaat süresindeki azalmalar sayesinde, inşaat firmaları projenin daha fazla yönetimi kontrol etme gücüne sahip olurlar.
12. İnşaat endüstrisinin diğer endüstrisi dallarıyla rekabet edebilirliği artar.

Eğer proje ekibi, müşteri odaklı hale gelir ve ortak amaçlar geliştirirse yukarıdaki faydalar sağlanacaktır. Ekibin ana görevi, müşterinin gereksinimlerini karşılayan yaratıcı, yenilikçi ve işlevsel ürün oluşturmak için tasarımın erken aşamaları sırasında işbirliği yapmaktır. İmalat endüstrisindeki çalışmalar, bir projeye ilgili masrafların yaklaşık %70'inin tasarım aşamasında gerçekleştiğini göstermiştir.

EM kavramının inşaat endüstrisinde uygulanmasını kolaylaştırmak, uygulama için gerekli olgunluğu sağlamak ve planlamayı geliştirmek için, inşaat endüstrisinde yer alan firmaların EM'nin benimsenmesine ne ölçüde hazır olduklarının da değerlendirilmesi gerekir. Bu işlem, EM'nin benimsenmesinden önce herhangi bir inşaat organizasyonu için hazırlık değerlendirilmesinin yapılmasıyla gerçekleştirilebilir.

Khalfan, Anumba ve Carillo, inşaat endüstrisinde EM uygulamalarına için kullanılacak hazırlık değerlendirme modellerinden en uygununun, 1993 tarihinde, CERC tarafından geliştirilen “RACE”(Readiness Assessment for Concurrent Engineering - EM için Hazırlık Değerlendirmesi) modeli olduğunu saptamışlardır. Ancak, yazarlara göre RACE modelinin bazı uyarılma ve değişikliklerle inşaat endüstrisinin ve endüstri içinde çalışan insanların gereksinimlerine uygun hale getirilmesi gerekmektedir; çünkü bu araç temel olarak imalat ve yazılım mühendisliği

gibi endüstrilerde kullanılmak amacıyla geliştirilmiş olan bir hazırlık değerlendirme modelidir (6-9).

Bu amaçla yapılan çalışmalar sonucunda, RACE modeli model baz alınarak, öncelikle "CERAMConstruct", bunun üzerinde revizeler yapılarak da "BEACON" adlı modeller geliştirilmiştir. CERAMConstruct Modeli kullanılarak, firmaların EM uygulama düzeyi ve eksiklikleri saptanmıştır (12). Ayrıca, İngiltere'de ve Pakistan'da yapılan alan çalışmaları ile BEACON Modeli ile inşaat endüstrisindeki yüklenici, malzeme sağlayıcı ve imalatçı firmaların da EM uygulama düzeyleri irdelenmiştir (6-8).

### 3.3. Türk İnşaat Sektöründe Eşzamanlı Mühendislik Uygulamaları

Bu çalışmada, imalat sektöründe doğup diğer sektörlerle sığırayan "Eşzamanlı Mühendislik" adlı yeni bir yönetim anlayışının, Türk inşaat sektöründeki uygulama düzeyini saptamak amacıyla bir anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Anket sonunda elde edilen veriler, SPSS istatistiksel paket programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Analizlerde, tanımlayıcı frekans tablolar ile iki değişken arasındaki ilişkiyi gösterir biçimde düzenlenen çapraz tablolar kullanılmış; yorumlar bu frekans ve çapraz tablolardan elde edilen yüzdelere dayalı olarak yapılmıştır. Elde edilen bulgularla, ülkemizin özgün koşulları da dikkate alınarak, sonuçlar bölümünde bir değerlendirme yapılmıştır.

#### Frekans (Frequency) Değerlerinin Analizi

SPSS bilgisayar programı yardımıyla her soruya karşılık verilen cevapların frekans (frequency) değerleri saptanmıştır. Bu değerlere göre, oluşturulan çizelgelerin bazıları aşağıda (Çizelge 1 - Çizelge 6) arasında gösterilmektedir.

**Çizelge 1.** Ankete katılan yüklenici firmaların faaliyet alanlarının dağılımı (\*)

Yüklenici Firmaların Faaliyet Alanı	Cevaplar	
	Sayı (ad.)	Oran (%)
Konut	44	80
İş Merkezi	37	67
Sosyal-Kültürel Tesis	35	64
Sağlık Tesisi	26	47
İdari Bina	34	62
Endüstriyel Tesis	37	67
Turizm Tesisi	31	56
Askeri Tesis	17	31
Kentsel Altyapı	30	55
Aritma Tesisi	25	45
Yol-Köprü-Tünel	37	67
Demiryolu	11	20
Liman	21	38
Havaalanı	17	31
Baraj	29	53
Sulama Sistemleri	24	44
Enerji Hatları	9	16
Enerji Santrali	25	45
Boru Hattı	30	55
Depo-Ambar	21	38
Yüklenici Firma Sayısı	55	*

**Çizelge 2.** Ankete katılan yüklenici firmaların EM bilgi/ilgi düzeyinin dağılımı

Yüklenici Firmaların EM İlgi/Bilgi Düzeyi	Cevaplar	
	Sayı (ad.)	Oran (%)
Biliyoruz ve uyguluyoruz	14	26
Biliyoruz; henüz uygulamıyoruz	9	17
İlgi duyuyoruz; bilgi edinmeye çalışıyoruz	13	24
Hiç bilimiz yok	18	33
<b>Toplam</b>	<b>54</b>	<b>100</b>

**Çizelge 3.** Ankete katılan yüklenici firmaların EM uygulamasına zemin hazırlayan altyapılarının düzeyi

EM Uygulamalarına Zemin Hazırlayan Altyapı Unsurları	Yüklenici Firmaların Belirtilen EM Altyapısı Unsurlarına Katılım Düzeyi					Toplam
	Tamamen Katılıyorum	Kısmen Katılıyorum	Kararsızım	Kısmen Katılmıyorum	Hiç Katılmıyorum	
	Sayı (ad.)	Oran (%)	Sayı (ad.)	Oran (%)	Sayı (ad.)	Oran (%)
Yeni Bir Sistemin Uygulanmasında Üst	27	22	3	3	0	55
Benchmarking uygulamaları	49%	40%	5%	5%	0%	100%
TKY uygulamaları	22	26	3	2	2	55
Matris tipi proje ekibi oluşumu	40%	47%	5%	4%	4%	100%
Ekip çalışmasına dayalı personel politikası	45	9	0	0	1	55
Personel eğitimi	82%	16%	0%	0%	2%	100%
Birimlerin amacına yönelik ödüllendirme <sup>(1)</sup>	39	15	0	0	1	55
Birimler arası bilgi paylaşımının sınırlı olması	71%	27%	0%	0%	2%	100%
E-posta kullanımı	20	23	7	2	3	55
İş süreçlerinin oluşturulması ve kullanımı	36%	42%	13%	4%	5%	100%
Müşteri odaklı çalışma	26	23	1	3	2	55
	47%	42%	2%	5%	4%	100%
	11	9	8	22	5	55
	20%	16%	15%	40%	9%	100%
	16	16	3	20	0	55
	29%	29%	5%	36%	0%	100%
	49	5	0	1	0	55
	89%	9%	0%	2%	0%	100%
	34	15	2	3	1	55
	62%	27%	4%	5%	2%	100%
	42	10	0	2	1	55
	76%	18%	0%	4%	2%	100%

(1) : Bu sorular olumsuz sorulmuştur.

**Çizelge 4.** Ankete katılan yüklenici firmaların tasarım kararlarında ekip elemanlarının yer alma düzeyi (\*)

Yüklenici Firmaların Tasarım Kararlarında Yer Alan Ekip Elemanları	Cevaplar	
	Sayı (ad.)	Oran (%)
İnşaat Mühendisleri	54	100%
Makine Mühendisleri	49	91%
Elektrik Mühendisleri	49	91%
Alt yükleniciler (Taşeronlar)	26	48%
Mal sahibi	36	67%
Müşteriler / Kullanıcılar	33	61%
Malzeme Sağlayıcılar	18	33%
İşletmeciler	21	39%
Ortaklar	28	52%
Çevre Temsilcisi	31	57%
<b>Yüklenici Firma Sayısı</b>	<b>54</b>	<b>*</b>

**Çizelge 5.** Ankete katılan yüklenici firmaların EM uygulamasıyla elde edebileceklerini umdukları faydaların öncelik sıralaması

Öncelik Sıralaması	EM Uygulamasıyla Elde Edilebilecek Faydalar						
	Proje Maliyetlerinde Azalma	Proje Süresinde Azalma	Daha Kaliteli Üretim	Rekabet Edebilirlik Kapasitesinin Artması	Şirket İçi Etkin Bilgi yönetimi	Müşteri Memnuniyeti	Toplam
1 (En öncelikli)	29,1	10,9	20,0	7,3	3,6	29,1	100
2	30,9	9,1	25,5	7,3	7,3	20,0	100
3	20,0	25,5	23,6	12,7	9,1	9,1	100
4	9,3	24,1	18,5	20,4	7,4	20,4	100
5	7,4	14,8	7,4	31,5	25,9	13,0	100
6 (En önceliksiz)	3,7	16,7	3,7	22,2	46,3	7,4	100

**Çizelge 6.** Ankete katılan yüklenici firmaların EM uygulamasıyla karşılaşabileceklerini düşündükleri engellerin olasılık sıralaması

Olasılık Sıralaması	EM Uygulamasıyla Karşılaşılabilecek Engeller							Toplam
	EM Kavramının Yeterince Bilinmemesi	Üst Yönetim Desteginin Eksikliği	Departmanlar Arası İletişim ve Bilgi Paylaşımının Eksikliği	Ekip Çalışmasının Eksikliği	Tasarım Süresine Müşteri Katılımının Eksikliği	Tasarım Süresine Taşeron Katılımının Eksikliği	Bilgisayar Teknolojisinin Yetersiz Kullanımı	
1 (En olasılıklı)	67,9	9,4	1,9	1,9	5,7	7,5	5,7	100
2	9,6	23,1	17,3	9,6	21,2	11,5	7,7	100
3	7,7	5,8	19,2	25,0	13,5	23,1	5,8	100
4	3,9	17,6	21,6	15,7	25,5	5,9	9,8	100
5	4,0	2,0	24,0	18,0	16,0	8,0	28,0	100
6	4,0	18,0	12,0	20,0	16,0	18,0	12,0	100
7 (En olasılıksız)	4,0	22,0	6,0	8,0	0,0	28,0	32,0	100

### 3.3.1. Çapraz Kontrol (Cross-Check) Değerlerinin İrdelenmesi

Anket amacımız, katılımcılar arasındaki EM uygulama düzeyini belirlemek olduğundan, EM bilgi ve ilgi düzeyinin sorulduğu soruya verilen cevaplarla, diğer sorular arasında, birbirleriyle olan ilişkilerini gösteren çapraz kontrol tabloları oluşturulmuş ve bu tablolar üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Bu amaçla oluşturulan çizelgelerin bazıları (Çizelge 7 – Çizelge 11) arasında gösterilmektedir.

**Çizelge 7.** Ankete katılan yüklenici firmaların EM bilgi/ilgi düzeylerinin faaliyet sürelerine göre dağılımı

EM Bilgi / İlgü Düzeyi	Faaliyet Süresi (Yıl)					Toplam	
	0-20	21-30	31-40	41-50	>50	Sayı (ad.)	
						Oran (%)	
Biliyoruz ve uyguluyoruz	4	0	4	4	2	14	
	7,41%	0,00%	7,41%	7,41%	3,70%	25,93%	
Biliyoruz; henüz uygulanmıyor	2	4	1	1	1	9	
	3,70%	7,41%	1,85%	1,85%	1,85%	16,67%	
İlgü duyuyoruz; bilgi edinmeye çalışıyoruz	1	5	4	2	1	13	
	1,85%	9,26%	7,41%	3,70%	1,85%	24,07%	
Hiç bilgimiz yok	4	2	6	2	4	18	
	7,41%	3,70%	11,11%	3,70%	7,41%	33,33%	
Toplam	Sayı (ad.)	11	11	15	9	8	54
	Oran (%)	20,37%	20,37%	27,78%	16,67%	14,81%	100,00%



*EŞZAMANLI MÜHENDİSLİK KAVRAMININ TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE  
UYGULANABİLİRLİK DÜZEYİNİN İRDELENMESİ*

**Çizelge 8.** Ankete katılan yüklenici firmaların EM bilgi/ilgi düzeylerinin personel sayılarına göre dağılımı

EM Bilgi / İlgî Düzeyi	Personel sayısı					Toplam
	<50	51-250	251-1000	1001-2000	>2000	Sayı (ad.)
						Oran (%)
Biliyoruz ve uyguluyoruz	3 5,77%	3 5,77%	4 7,69%	2 3,85%	2 3,85%	14 26,92%
Biliyoruz; henüz uygulanmıyor	1 1,92%	1 1,92%	4 7,69%	3 5,77%	0 0,00%	9 17,31%
İlgî duyuyoruz; bilgi edinmeye çalışıyoruz	3 5,77%	3 5,77%	1 1,92%	3 5,77%	2 3,85%	12 23,08%
Hiç bilimiz yok	6 11,54%	6 11,54%	2 3,85%	1 1,92%	2 3,85%	17 32,69%
<b>Toplam</b>	<b>Sayı (ad.)</b> <b>Oran (%)</b>	<b>13</b> <b>25,00%</b>	<b>13</b> <b>25,00%</b>	<b>11</b> <b>21,15%</b>	<b>9</b> <b>17,31%</b>	<b>6</b> <b>11,54%</b> <b>52</b> <b>100,00%</b>

**Çizelge 9.** Ankete katılan yüklenici firmaların EM bilgi/ilgi düzeylerinin yıllık ortalama cirolarına göre dağılımı

EM Bilgi / İlgî Düzeyi	Ortalama Yıllık Ciro Miktarı (milyon \$)				Toplam
	1-9	10-99	100-1000	>1000	Sayı (ad.)
					Oran (%)
Biliyoruz ve uyguluyoruz	0 0,00%	5 9,43%	5 9,43%	3 5,66%	13 24,53%
Biliyoruz; henüz uygulanmıyor	0 0,00%	3 5,66%	5 9,43%	1 1,89%	9 16,98%
İlgî duyuyoruz; bilgi edinmeye çalışıyoruz	1 1,89%	3 5,66%	9 16,98%	0 0,00%	13 24,53%
Hiç bilimiz yok	1 1,89%	7 13,21%	9 16,98%	1 1,89%	18 33,96%
<b>Toplam</b>	<b>Sayı (ad.)</b> <b>Oran (%)</b>	<b>2</b> <b>3,77%</b>	<b>18</b> <b>33,96%</b>	<b>28</b> <b>52,83%</b>	<b>5</b> <b>9,43%</b> <b>53</b> <b>100,00%</b>

**Çizelge 10.** Ankete katılan yüklenici firmaların EM bilgi/ilgi düzeylerinin faaliyet bölgelerine göre dağılımı (\*)

EM Bilgi / İlgî Düzeyi	Faaliyet Bölgesi		TOPLAM
	Yurt İçi	Yurt Dışı	Sayı (ad.)
			Oran (%)
Biliyoruz ve uyguluyoruz	12 22,22%	13 24,07%	14 25,93%
Biliyoruz; henüz uygulanmıyor	8 14,81%	8 14,81%	9 16,67%
İlgî duyuyoruz; bilgi edinmeye çalışıyoruz	13 24,07%	11 20,37%	13 24,07%
Hiç bilimiz yok	18 33,33%	11 20,37%	18 33,33%
<b>Toplam</b>	<b>Sayı (ad.)</b> <b>Oran (%)</b>	<b>51</b> <b>94,44%</b>	<b>43</b> <b>79,63%</b> <b>54</b> <b>100,00%</b>

**Çizelge 11.** Ankete katılan yüklenici firmaların EM bilgi/ilgi düzeylerinin kullandıkları bilgisayar destekli modelleme araçlarına göre dağılımı (\*)

EM Bilgi / İlgili Düzeyi	Kullanılan Bilgisayar Destekli Ürün/Süreç Modelleme Araçları					
	CAD	CAM	CAE	Hiçbiri	TOPLAM	
					Sayı (ad.)	
Oran (%)						
Biliyoruz ve uyguluyoruz	11	4	5	1	11	
	22,92%	8,33%	10,42%	2,08%	22,92%	
Biliyoruz; henüz uygulanmıyor	7	2	3	0	7	
	14,58%	4,17%	6,25%	0,00%	14,58%	
İlgi duyuyoruz; bilgi edinmeye çalışıyoruz	12	4	5	1	13	
	25,00%	8,33%	10,42%	2,08%	27,08%	
Hiç bilgimiz yok	14	7	11	4	17	
	29,17%	14,58%	22,92%	8,33%	35,42%	
Toplam	Sayı (ad.)	44	17	24	6	48
	Oran (%)	91,67%	35,42%	50,00%	12,50%	100,00%

(\*) Birden çok seçeneğin işaretlenebildiği soruların dağılımı Çizelge 1, 4, 10 ve 11'de görülmektedir.

## 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 4.1. Sonuçlar

Anketin analiziyle ulaşılan en önemli sonuç, ankete katılan yüklenici firmaların %33'ünün "Eşzamanlı Mühendislik" konusunda hiçbir bilgisi olmadığıdır (Çizelge 2).

Diğer yandan, EM'nin hayata geçirilmesinde önemli yapı taşlarından olan üst yönetimin desteğinin, şirket içi personel eğitimlerinin ve ekip çalışmasını teşvik eden uygulamaların yetersizliği ile en iyi rakiplerle kıyaslama (*benchmarking*) gibi kaliteyi iyileştirici yöntemlerin az kullanılması da uygulanabilirlik için engel teşkil etmektedir. Ek olarak, şirket içi etkin bilgi alışverişi ve iletişimin uygulanma oranı %36 seviyesinde olup; EM uygulamalarındaki önemli bir teknik bariyer göstergesidir. Bunun yanında, şirket bünyesindeki e-posta kullanımını ve kalite yönetimi ve iş süreçlerini anlatır sistemlerin varlığı ile müşteri odaklı çalışma stratejisi oranları, EM uygulamaları için yeterli sayılabilir (Çizelge 3).

Türk inşaat sektöründe yer alan yüklenici firmaların genelinin tasarım kararlarına katılan grupları çoğunlukla inşaat, makine ve elektrik mühendislerinden oluşmaktadır. Müşteri (kullanıcı), mal sahibi, ortak ve çevre temsilcisinin katılımı az sayılabilir. Taşeron, işletmeci ve malzeme sağlayıcının tasarım kararlarına katılımı azdır (Çizelge 4).

Ankete katılan yüklenici firmaların geneli için, EM uygulamasıyla elde edebilecekleri faydaların en önemlisi: "Proje Maliyetlerinde Azalma"; en önemsizi "Şirket İçi Etkin Bilgi Yönetimi" olarak belirtilmiştir (Çizelge 5). Bu işletme grubunun büyük çoğunluğu için, EM uygulamasıyla karşılaşılan/karşılaşılabilecek engellerden en olası olanı : "EM Kavramının Yeterince Bilinmemesi"; iken; en karşılaşılabilecekleri

“Bilgisayar Teknolojisinin Tasarım, İmalat ve Bilgi Paylaşımında Yetersiz Kullanımı” olarak sonuçlanmıştır (Çizelge 6).

EM’yi bilen ve uygulayan yüklenicilerin %57’sinin faaliyet süresi 30 ila 50 yıl arasındadır. Bunun yanında, EM konusunda uygulamaya geçmiş sınıfın yaklaşık üçte biri yakın zamanda kurulmuş genç sayılabilecek işletmelerden oluşmakta iken; sadece %14 inin faaliyet süresi 50 yıldan fazladır. Diğer bir sonuç ise, EM konusunu bilen ancak henüz uygulamayan ile ilgi duyan kesimin çoğunluğunun 21–30 yıl aralığında faaliyet süresine sahip olduğudur (Çizelge 7).

Ayrıca, EM kavramını bilen yüklenicilerin çoğunun personel sayısı (251-1000) aralığındayken, EM konusunda hiç bilgiye sahip olmayanların büyük çoğunluğu, (0-250) personel sayısına sahip işletmelerdir (Çizelge 8).

Katılımcı firmaların %34’ünün yıllık ortalama ciro miktarları (10-99milyon\$), %53’ünün ise (100-1000milyon\$) olarak sonuçlanmıştır. Dağılımın yoğun olduğu bu iki grup ayrı ayrı değerlendirildiğinde, (10-99milyon\$) yıllık ortalama ciroya sahip firmaların %28’i EM’yi bilip uygulamaktayken; bu grubun %39’unun EM konusunda hiç bilgisi olmadığı görülmüştür. Yıllık ortalama ciro miktarı (100-1000milyon\$) aralığında seyreden dağılımı incelediğimizde ise, bilgi oranı aynı (%28) kaldığı; ancak bilgi sahibi olmama oranında bir düşüş olduğu gözlenmiştir(%32). Diğer yandan katılım azlığı sebebiyle ana kütleyle oranı az olan sınıflarda (1-9 milyon\$) ve (>1000milyon\$) da durum benzer şekildedir. Sonuç olarak, “ciro arttıkça EM konusundaki bilgi ve ilgi düzeyleri artmaktadır” diyebiliriz (Çizelge 9). Bu sonuç, yurt dışı taahhüt işi üstlenme oranı artınca da ortaya çıkmıştır (Çizelge 10).

Anket sonucu elde edilen bir diğer sonuç ise, bilgisayar destekli ürün ve süreç modelleme araçlarının (CAD/CAM/CAE) kullanım oranlarıyla ilgilidir. Bu araçların hiçbirini kullanmayan yüklenicilerin yaklaşık %70’inin EM konusunda bilgisi olmadığı ortaya çıkmıştır. Ayrıca, EM’yi bilen ve uygulayan firmalarla, bilip henüz uygulamayan firmaların hepsinde CAD kullanılmaktadır (Çizelge 11).

#### 4.2. Öneriler

Sektörde yer alan yüklenici firmaların dünyada kabul görmüş ve kullanılmakta olan çağdaş yönetim anlayışları tanınmalarına imkân sağlamak amacıyla, eğitici seminer ve tanıtım fonksiyonlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, meslek odaları bu konulara ilgi duyup, belli dönemlerle şirketlere dönük eğitim programları düzenleyebilirler.

Örgün eğitim kurumlarında, özellikle inşaat mühendisliği ders programlarında “Eşzamanlı Mühendislik” kavramına yer verilerek, sektörde yer alacak yeni mezunların da bu konuda bilgi sahibi olmaları sağlanabilir.

Ankete katılan yüklenici firmalardan bir kısmı (%26), EM kavramını bildiklerini ve kullandıklarını belirtmişlerdir. Bu firmaların uygulamada karşılaştıkları engelleri saptamak, varsa yetersiz görülen noktalarda tespitler yapmak ve öneriler sunmak amacıyla, söz konusu firmalarda yapılacak inceleme, araştırma, gözlem ve anketler sonucunda elde edilecek verilerle, yeni uygulamacılar için bir veritabanı oluşturulabilir ve bu tecrübelerden yararlanılabilir. Ayrıca, çalışmamızda hazırlanan anketin içeriği bu alan çalışmasından elde edilen bilgilerle zenginleştirilerek anket tekrarlanabilir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Kamara, J.M., Anumba, C.J., Evbuomwan, N.F.O., "Establishing and Processing Client Requirements-A Key Aspect Concurrent Engineering in Construction", *Engineering, Construction and Architectural Management*, 7(1), 15-28, 2000.
2. Kamara, J.M., Anumba, C.J., Evbuomwan, N.F.O., "Assessing the Suitability of Concurrent-Briefing Practices in Construction within a Concurrent Engineering Framework", *International Journal of Project Management*, 19(6), 337-351, 2001.
3. Anumba, C.J., Baugh, C., Khalfan, M.M.A., "Organizational Structures to Support Concurrent Engineering in Construction", *Industrial Management and Data Systems*, 102(5-6), 260-270, 2002.
4. Evbuomwan, N.F.O., Anumba, C.J., "An Integrated Framework for Concurrent Life-Cycle Design and Construction", *Advances in Engineering Software*, 29(7-9), 587-597, 1998.
5. Anumba, C.J., Baron, G., Evbuomwan, N.F.O., "Communication Issues in Concurrent Life-Cycle Design and Construction", *BT Technology Journal*, 15(1), 209-216, 1997.
6. Khalfan, M.M.A., Anumba, C.J., Carillo, P.M., *An Investigation of the Readiness of Material Suppliers & Manufacturers for the Implementation of Concurrent Engineering in Construction. COBRA2001 Conference Paper*, 2001a.
7. Khalfan, M.M.A., Anumba, C.J., Carillo, P.M., *An Investigation of the Readiness of Contractors for the Implementation of Concurrent Engineering in Construction*, 2001b.
8. Khalfan, M.M.A., Anumba, C.J., Carillo, P.M., *An Investigation of the Readiness of Pakistani Companies for the Implementation of Concurrent Engineering in Construction*, 2001c.
9. Khalfan, M.M.A., Anumba, C.J., Carillo, P.M., *Development of a Readiness Assessment Model for Concurrent Engineering in Construction. Benchmarking: An International Journal*. 8 (3), 223-239, 2001d.
10. Love, P., Gunasekaran, A., Li, H., *Concurrent Engineering: A Strategy for Procuring Construction Projects. International Journal of Project Management*, 16(6), 375-383, 1998.
11. Anumba, C.J., "Concurrent Engineering in Construction Projects", (C.J.Anumba, J.M.Kamara, A.F.Cutting-Decelle editor). Taylor & Francis, 2007.
12. Khalfan, M.M.A., Anumba, C.J., Siemieniuch, C.E., Sinclair, M.A., *Readiness Assessment of the Construction Supply Chain for Concurrent Engineering. European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7(2), 141-153, 2001.
13. Şekerci, B., Eşzamanlı Mühendislik Kavramının Türk İnşaat Sektöründe Uygulanabilirlik Düzeyinin İrdelenmesi, Ç.Ü., F.B.E., Yüksek Lisans Tezi, 2008.

## DOĞU AKDENİZ BÖLGESİNDE YAPILACAK BİNALARIN GÜN BOYU GÜNEŞ IŞIĞINDAN YARARLANMASI İÇİN BİR APLİKASYON ÖNERİSİ

**Nuri SAĞIR**

*O.K.A.Ü., Harita Kadastro Programı, Osmaniye/Türkiye*

**Mustafa LAMAN**

*Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*

**ÖZET :** Özellikle kış aylarında binaların güneşi görmesi, hem enerji tasarrufu hem de sağlıklı yaşamın önemli unsurlarından birisidir. Bu nedenle toplu konut alanlarında yapılacak binaların, gün boyu güneşinden yararlanması istenebilir. Bu çalışma, Doğu Akdeniz Bölgesinde yapılacak müstakil veya toplu konut projelerinde, belirtilen amaca uygun bir aplikasyon önerisi sunmak için yapılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Güneş Işınımı, Kentsel Tasarım, Bina Yönlendirilmesi.

**AN APPLICATION SUGGESTION FOR THE BUILDINGS WILL BE CONSTRUCTED IN THE REGION OF EASTERN MEDITERRANEAN TO BENEFIT FROM THE SOLAR ENERGY DURING ALL DAY**

**ABSTRACT :** Utilizing from the solar energy, especially in the winter months, is very important for the energy saving and healthy life. Therefore, it is desirable that buildings constructed in the residential area benefit from the solar energy during all day. This study present an application suggestion to use the solar energy as much as possible for the house projects will be applied in the region of Eastern Mediterranean.

**Keywords:** Solar Radiation, Urban Planning, Building Orientation.

## 1. GİRİŞ

Enerji, üretimde kullanılması zorunlu bir üretim faktörü ve toplumların refahının yükselmesi için gerekli bir unsur olarak, ekonomik ve sosyal kalkınmanın temel girdilerinden birisidir. İnsanoğlunun ihtiyaçlarının karşılanmasında ve gelişmesinin sağlıklı olarak sürdürülmesinde gerekli olan enerji; sanayi, bina-konut, ulaştırma, tarım gibi alanlarda kullanım alanı bulmaktadır (1).

Nasıl bir konutta yaşıyor, ne tür yapılarda hayatımızı sürdürüyoruz? Bu yaşantı bize, yöremize ve ülkemize kaç mal oluyor? Hayatımızı kolaylaştıran, yaşam ve üretim kalitemizi arttıran, enerji tasarrufu ve sağlıklı yaşam olanağı veren kullanım ve inşaat yöntemleri nelerdir? Örneğin; Ankara'daki bir konutun, Berlin'dekine göre "4,5 kat" enerji ile yaşamını sürdürdüğünü, işitmiş miydiniz? (2). Bu çalışmada, Doğu Akdeniz Bölgesindeki illerimizin yıl boyunca güneşlenme süreleri, güneş enerjisi potansiyelleri ve güneş açıları ile ilgili bilgiler verilmiş, yılın her ayı ve çeşitli günleri için güneş azimut açıları hesaplanmıştır. Bu güneş açılarından yararlanılarak yapıların konumlandırılması için gerekli azimut açıları belirlenmiş ve arazide bu açıların, yapılacak bina köşelerinde nasıl applike edileceği açıklanmış, konuyla ilgili olarak uygulama yapılmış, elde edilen bulgular sonuç bölümünde sunulmuştur.

## 2. GÜNEŞİN SAĞLIK AÇISINDAN YARARLARI

Güneş ışığı başta olmak üzere, iklim şartları ve yaşamın dayandığı diğer etkenlerin insan psikolojisine etkisi çok büyüktür (Şekil-1). Güneş ışınları, ruh sağlığımızı da etkiliyor. **Güneş girmeyen eve depresyon giriyor.** Uzmanlar ev almak isteyenleri uyarıyor: Şekil-1'de olduğu gibi, "Güneş gören binaları tercih edin." Karanlık ortamlarda yaşayanların depresyona daha kolay girdiğini, karanlığın hayal dünyasını daralttığını ve güneşsiz kalan kişinin hayata umutla bakamayacağını, daha sinirli ve saldırgan olabileceğini belirten uzmanlar, "Güneşsizlik insanların enerjisini azaltarak içe kapanmalarına neden oluyor, yani mutsuzlaştırıyor" diyorlar (3).

Beynimizde bulunan fındık büyüklüğündeki epifiz bezi melatonin hormonu üretir. Karanlık ortamlarda, bu bez hormon üretimini artırır. Melatonin hormonu insanların fiziki hareketlerini yavaşlatır, onları uykulu ve bitkin yapar. Karanlıkta uykuya dalmamanın daha kolay oluşu bunun bir göstergesidir. Işığın melatoninin üretilmesini azalttığını aktaran Uzman Psikolog Tunç Tatakır, "Bu kez melatonin artışındaki durumun aksine belirtiler başlıyor. Kişi neşelenip, aktifleşiyor." diyor. Araştırmalara göre kuzey ülkelerine (İsveç, Norveç gibi) doğru gidildikçe intihar eğilimleri ve depresyona girme oranları artıyor (4).

## 3. GÜNEŞ ENERJİSİ VE TEKNOLOJİLERİ

Günümüzde güneş ışınım enerjisinden ısıtma, sıcak su elde etme ve iklimlendirmede yararlanıldığı bilinmektedir (6). Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışınım enerjisidir, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, aşağı yukarı sabit ve  $1370 \text{ W/m}^2$  değerindedir, ancak yeryüzünde  $0-1100 \text{ W/m}^2$  değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi

sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir (5).



Şekil 1. Güneş ve Güneş Mimarisine Uygun Yapılmış Bir Evin Konumu (5).

### 3.1. Türkiye'de Güneş Enerjisi

Ülkemiz güneş kuşağı adı verilen ve güneş enerjisince zengin bir bölgede yer almasına karşın güneş enerjisinden yeteri kadar faydalanılamamaktadır. Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Çizelge 1'de verilmiştir (5).

Çizelge 1. Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli (5).

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (Kcal/cm <sup>2</sup> -ay)	(kWh/m <sup>2</sup> -ay)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
<b>TOPLAM</b>	<b>112,74</b>	<b>1311</b>	<b>2640</b>
<b>ORTALAMA</b>	<b>308,0 cal/cm<sup>2</sup>-gün</b>	<b>3,6 kWh/m<sup>2</sup>-gün</b>	<b>7,2 saat/gün</b>

### 3.2. Doğu Akdeniz Bölgesinde Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da Çizelge 2' de verilmiştir. Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) ve Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ), güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri almaktadırlar. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir (5).

**Çizelge 2.**Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı (5).

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
G. D. Anadolu	1460	2993
<b>Akdeniz</b>	<b>1390</b>	<b>2956</b>
D. Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Günümüzde toplu konut alanlarında yapılacak yapılarda, güneş ışığından azami derecede yararlanmak için uygulamalar yapılmaktadır. Nitekim Eskişehir Yenikent semtinde, iskâna açılan 1985 yılında iskâna açılan 1860 üyeli toplu konut alanında oluşturulan imar adalarında bloklar, gün boyunca güneş ışımından yararlanacak şekilde konumlandırılmıştır. Eskişehir Yenikent toplu konut örneğinde olduğu gibi, ülkemizde "toplular konut alanlarında yapılacak yapılarda, enerji tasarrufu sağlamak, ısıtma ve sıcak su elde etmek için, yapıların gün boyunca güneş ışığını görecektir şekilde konumlandırılması gerekmektedir" (7).

Doğu Akdeniz Bölgesinde iklim özelliğinden dolayı her mevsim güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür. Güneş enerjisinden konut ve işyerlerinde güneş kolektörleri ile enerji (su ısıtılmasında) elde edilmektedir.

### 4. GÜNEŞ AÇILARI

Yapıların gün ışığından yararlanmasını sağlayacak şekilde konumlandırılmasında, güneş ışımının yeryüzünde belirlenen bir noktaya geliş doğrultusundan (güneş azimut açısından) yararlanır. Güneş azimut açısının hesabına, çalışma bölgesinin enlemi ( $\phi$ ), yılın belirli bir günü için güneşin denklinasyon açısı ( $\delta$ ) ile lokal öğle vaktine göre güneşin doğuş ve batış saat açıları ( $h$ ) girmektedir. Bu açılara güneş açıları denir (8, 9).

**Enlem (açısı)  $\phi$**  : Yeryüzündeki N noktasını dünya merkezine birleştiren doğrunun ekvator düzlemiyle yaptığı açıdır. Ekvator'dan itibaren kuzeye doğru (+) işaretli, güneye doğru (-) işaretlidir.

**Saat Açısı ( $h$ )** : Yeryüzünde dikkate alınan noktanın boylamı ile güneşi dünya merkezine birleştiren doğrunun, güneş ışınlarının belirttiği boylam arasındaki açıdır. Saat



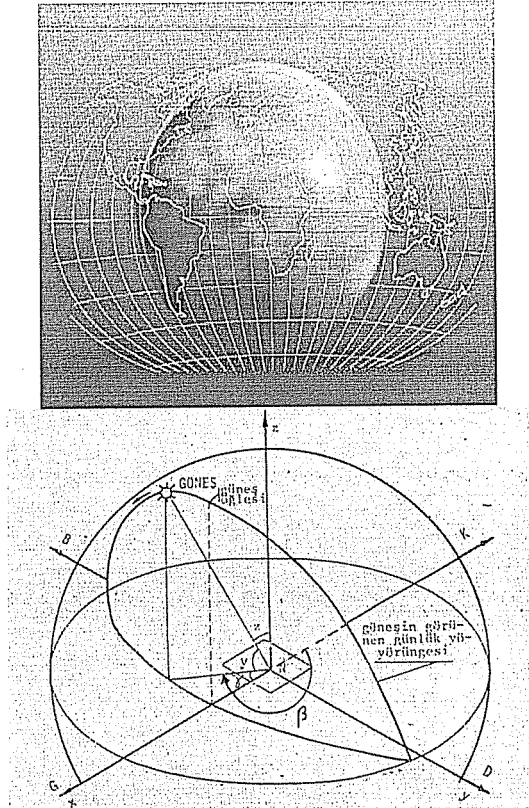
DOĞU AKDENİZ BÖLGESİNDE YAPILACAK BİNALARIN GÜN BOYU GÜNEŞ IŞIĞINDAN YARARLANMASI İÇİN BİR APLİKASYON ÖNERİSİ

açısı, güneş boylamının göz önüne alınan yerin boylamı ile aynı olduğu “güneş öğlesi”nden itibaren hesaplanır, yerel öğle vaktinden öncesi için aradaki fark (-) işaretli, yerel öğle vaktinden sonrası için aradaki fark (+) işaretli olarak alınır. Hesaplamalarda her bir saat zaman farkı 15° lik saat açısı olarak dikkate alınır.

**Denklinasyon açısı (δ) :** Güneş ışınlarının ekvator düzlemiyle yaptığı açıdır (Şekil 2). Bu açı dünyanın dönme ekseninin, yörünge düzleminin normali ile yaptığı 23° 27’ lik açıdan ileri gelir. Gün dönümü noktalarında (21 Haziran yaz gün dönümünde +23°.45, 22 Aralık kış gün dönümünde -23°,45) mutlak değerce maksimum olur. Denklinasyon açısı, aşağıdaki eşitlikten;

$$\delta = 23^{\circ},45 \sin \left( 360 \left( \frac{n + 284}{365} \right) \right) \quad (1)$$

elde edilir. Burada n, yılın gün sayısıdır.



Şekil 2. Yeryüzünde Bir N Noktasında Oluşturulan Küresel Üçgende, Güneş Zenit Açısı, Yükseklik ve Azimut Açılarının Şematik Görüntümü.

**Zenit açısı (z):** Doğrudan güneş ışınlarının yatay düzlemin normali ile yaptığı açıdır (Şekil 2). Güneşin doğusunda ve batısında  $z=90^{\circ}$  dir. Zenit açısı aşağıdaki bağıntıdan elde edilir (10).

$$\cos z = \cos \delta \cos \varphi \cos h + \sin \delta \sin \varphi \quad (2)$$

**Güneş yükseklik açısı ( $\gamma$ ):** Güneş ışınlarının yatay düzlemle yaptığı açıdır. Şekil 2'de görüldüğü gibi  $z + \gamma = 90^\circ$  dir. Güneş yükseklik açısı  $\gamma = 90 - z$  bağıntısından elde edilir.

**Güneş azimut açısı ( $\beta$ ):** Güneş ışınlarının kuzeye göre saat ibresi dönüş yönünde sapmasını gösteren açıdır (Şekil 2).  $\beta$  aşağıda belirtildiği şekilde;

Yerel öğle vaktinden öncesi için (derece biriminde)  $\beta = 180^\circ - \gamma^\circ$ , (veya grt biriminde  $\beta = 200 - \gamma^\circ$ )

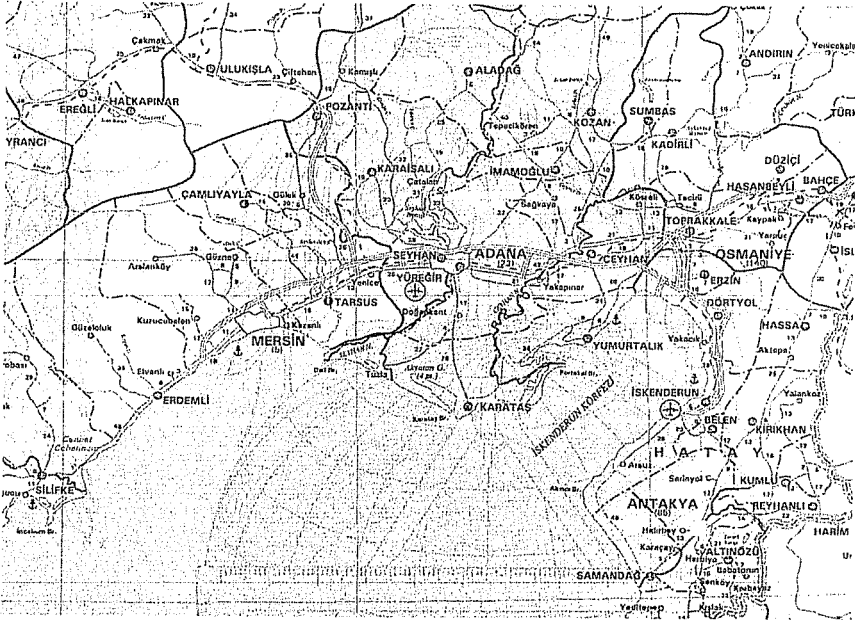
Yerel öğle vaktinden sonrası için (derece biriminde)  $\beta = 180^\circ + \gamma^\circ$ , (veya grt biriminde  $\beta = 200 + \gamma^\circ$ )

$$\cos \gamma = \frac{\cos \delta \cos \varphi \cosh - \sin \delta \cos \varphi}{\cos y} \quad (3)$$

elde edilir (8-10).

## 5. DOĞU AKDENİZ BÖLGESİNDE GÜNEŞLENME SÜRELERİ

Bir yerde güneşlenme süresi, güneşli günlerde, güneşin doğuşu ile batışı arasında kalan süredir. Konuyla ilgili araştırmalardan, Doğu Akdeniz Bölgesi'nde (Şekil 3) çeşitli yerlerde aylara göre güneşlenme süreleri, sisli günler sayısı ve kapalı günler sayıları aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir.



Şekil 3. Doğu Akdeniz Bölgesinde Bulunan Adana, Mersin, Hatay ve Osmaniye İllerinin Konumu (11).

*DOĞU AKDENİZ BÖLGESİNDE YAPILACAK BİNALARIN GÜN BOYU  
GÜNEŞ IŞIĞINDAN YARARLANMASI İÇİN BİR APLİKASYON ÖNERİSİ*

### 5.1. Hatay İli

Hatay ve çevresinde yıllık güneşlenme süresi 2600-3000 saat civarındadır. Yıllık aylık ortalama güneşlenme süresi 7.15 saat/gün olarak belirlemiştir (Çizelge 3). Yıllık sıcaklık ortalaması 18°C'dir. Maksimum sıcaklık Ağustos ayı 34,08 kaydedilmiş, minimum sıcaklık Aralık ve Ocak aylarına rastlar, 2,0°C olmuştur. En düşük sıcaklık yüksek ve iç kesimlerde sıfırın altında -4,-10°C arasında değişmektedir. Hatay ve ilçelerinde yıllık sıcaklık ortalaması 16°C ve daha fazla tespit edilmiştir. Ortalama nispi nem %67 civarındadır. Yıllık ortalama sisli günler sayısı 1-50 gün arasındadır (12).

**Çizelge 3. Hatay İl Merkezi Güneşlenme Süresinin Aylık Ortalaması (12).**

Aylar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Güneşl. Süresi (saat/gün)	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
Yıllık Ortalama (saat/gün): 3.15												

### 5.2. Adana İli

Günlük sıcaklığın 25°C' ye veya bu derecenin üstüne çıktığı yaz günü sayısı 179'dur. Adana'da hava açık geçmektedir. 2006 yılı günlük ortalama güneşlenme süresinin yıllık ortalaması 7.13 saat, günlük ortalama güneşlenme süresini yıllık ortalaması 345.92 cal/cm<sup>2</sup>/dak olarak belirlenmiştir (Çizelge 4, Çizelge 5). Kapalı gün sayısı 49,2'dir. Ova ve sahildeki günlük güneşlenme ortalaması 8,60 saattir. En bol güneşlenme Temmuz, en az Aralık ve Ocak aylarında olmaktadır. Nispi nem ortalaması %65 civarındadır. Meteoroloji Bölge Müdürlüğü tarafından yapılan 67 yıllık ölçümlere göre yıllık ortalama sıcaklık 18.8°C, en yüksek sıcaklık 45.6 °C en düşük sıcaklık ise - 8.4°C'dir. Bölgenin iklim özelliğinden dolayı her mevsim güneşi görmek mümkündür (13).

**Çizelge 4. 2006 Yılı Günlük Ortalama Güneşlenme Süresi, 2006 (saat, dakika) (13).**

Aylar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	4.23	3.24	5.04	4.16	10.21	10.37	10.03	9.32	8.45	6.42	6.29	6.57
Yıllık Ortalama: 7.13												

**Çizelge 5. Günlük Ortalama Güneşlenme Şiddeti, 2006 (cal/cm<sup>2</sup>.dak) (13).**

Aylar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	187.01	226.52	304.17	335.44	504.04	509.29	496.14	9.32	400.82	293.75	237.82	210.16
Yıllık Ortalama: 345.92												

### 5.3. Mersin İli

Uzun yıllar ölçümlerine göre yıllık kapalı günler ortalama 25,3 gündür. Yılın büyük bölümünde hava açık ve az bulutlu geçmektedir. Mersin yurdumuzun güneşlenme süresi en fazla olan illeri arasındadır. Günlük ortalama güneşlenme süresi 7,4 saat olup yaz aylarında bu süre 8–10 saat arasında değişmektedir (Çizelge 6, Çizelge 7) (14).

**Çizelge 6.** 1975-2005 Yılları Arası Günlük Ortalama Güneşlenme Süresi (saat, dak.), Günlük Ortalama Güneşlenme Şiddeti (cal/cm<sup>2</sup>.dak) ve Aylık En Yüksek Güneşlenme Şiddeti (cal/cm<sup>2</sup>.dak) (14).

	Ock	Şbt	Mrt	Nis	Mys	Hrz	Tmz	Ağs	Eyl	Ekm	Ksm	Arl	Yıllık ort.
Günlük Ort. Gün. süresi (saat,dakika)	05:03	05:42	06:48	07:33	08:41	10:00	10:06	10:03	09:24	07:49	05:51	04:48	07:39
Günlük Ort. Gün. Şiddeti(cal/cm <sup>2</sup> .dak.)	206.87	287.57	396.92	479.98	551.91	600.86	587.23	538.98	466.18	346.43	234.61	182.77	406.69
Aylık En Yük. Gün. Şiddeti(cal/cm <sup>2</sup> .dak.)	1.07	1.31	1.81	1.62	1.70	1.88	1.49	1.40	1.37	1.50	1.19	1.34	1.88

**Çizelge 7.** 2006 Yılı Günlük Ortalama Güneşlenme Süresi (saat,dak), Günlük Ortalama Güneşlenme Şiddeti (cal/cm<sup>2</sup>.dak) ve Aylık En Yüksek Güneşlenme Şiddeti (cal/cm<sup>2</sup>.dak) (14).

	Ock	Şbt	Mrt	Nis	Mys	Hrz	Tmz	Ağs	Eyl	Ekm	Ksm	Arl	Yıllık ort.
Günlük Ort. Gün. süresi (saat,dakika)	05:11	04:46	06:06	05:54	09:55	10:34	10:18	09:42	09:12	06:45	06:53	06:48	07:40
Günlük Ort. Gün. Şiddeti(cal/cm <sup>2</sup> .dak.)	211.88	270.68	367.82	421.91	578.90	567.72	560.15	513.96	442.72	311.06	253.28	222.67	395.21
Aylık En Yük. Gün. Şiddeti(cal/cm <sup>2</sup> .dak.)	0.99	1.21	1.29	1.42	1.40	1.32	1.33	1.27	1.22	1.16	1.14	0.88	1.42

Mersin'de yıllık sıcaklık ortalaması 18,7°C dir. 50 yıllık gözlemlerde saptanan en yüksek sıcaklık 40°C (21.06.1942), en düşük sıcaklık ise -6,6°C (06.02.1950)'dir. Yaz aylarının ortalama sıcaklığı 25- 33°C arasında değişmektedir. Kış aylarında sıcaklık ortalaması 9–15°C arasında değişir. Bazı yıllar sıcaklık 0°C nin altına düşmektedir. Kar yağışı sahil kesimlerde görülmez. Ancak kış aylarında Toros Dağlarının eteklerinde ve yayla kesimlerinde değişen miktarlarda kar yağışı ve örtüsü olmaktadır. Yıllık ortalama bağıl nem %69 (1975-2005 yılları, Çizelge 8) olup, aylara göre %65 - %75 arasında değişmektedir. 50 yıllık gözlem sonucu il merkezinde sadece 01.01.1950 tarihinde yerde 2 cm.'lik örtü meydana getiren kar yağışı görülmüştür. Son 10 yıllık periyot süresinde toplam 27 gün sis hadisesi meydana gelmiştir. Ortalama yıllık sisli gün sayısı yaklaşık 2 gün civarındadır (Çizelge 8) (14).

### 5.4. Osmaniye İli

Yıllık ortalama ışıınım şiddeti ve yıllık kullanılan toplam güneş enerjisi miktarı ilde ölçüm yapılamadığından Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve Osmaniye Meteoroloji İstasyonu Müdürlüğü tarafından verilememiştir. 2007 yılı en yüksek sıcaklık 42.5 (°C) ile 29 Mayıs'ta, en düşük sıcaklık -4.0°C ile 31 Aralık'ta ölçülmüştür. Günlük en yüksek sıcaklık farkı ise ölçülmemiştir. Yıllık ortalama güneşlenme süresi 7.45 saattir (Çizelge 9) (15).

*DOĞU AKDENİZ BÖLGESİNDE YAPILACAK BİNALARIN GÜN BOYU GÜNEŞ IŞIĞINDAN YARARLANMASI İÇİN BİR APLİKASYON ÖNERİSİ*

**Çizelge 8.** Kar, Dolu, Sis ve Kırışıklı Günler (Çalışma Süresi 1975-2005) (14).

Aylar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Yıl. Ort.
Ortalama													
Ort. Kar yağ. günler	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
Ort. Sisli günler sayısı	0,2	0,1	0,3	1,0	0,6	0,2	0,2	-	-	-	0,1	-	2,0
Ort. Dolulu günler sayısı	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	-	-	0,1	-	0,2	0,1	0,3	1,3
Ort. Kırışıklı günler sayısı	1,4	1,0	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	3,2

**Çizelge 9.** Günlük Ortalama Güneşleme Süresi (Saat, Dak.), (Rasat Süresi: 1 Yıl) (15).

Ortalama Değerler	AYLAR												Yıllık
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Günlük Ortalama Güneşleme Süresi (Saat, Dakika)	06,34	05,03	07,21	08,34	07,13	09,47	11,05	08,54	10,20	07,33	05,06	05,21	07,45

2007 yılına ait ortalama kar yağışlı, karla örtülü, sisli, kırışıklı, donlu günler sayısı ve en yüksek kar örtüsü kalınlığı gibi meteorolojik elemanlardan ölçümü yapılanlar Çizelge 10'da görülmektedir (15).

Çizelge 3-10 incelendiğinde; Doğu Akdeniz Bölgesinde yıllık güneşlenme süresinin, yaz aylarında maksimum değerlerde, kışın ise minimum değerlerde olduğu, sisli günler sayısının Kasım Aralık, Ocak Şubat aylarında daha fazla olduğu, kapalı günler sayısının ise Temmuz ve Ağustos'ta minimum değerlerde olduğu görülmüştür.

## **6. DOĞU AKDENİZ BÖLGESİNDE GÜNEŞ AZİMUT AÇISININ HESAPLANMASI VE YAPILACAK KONUTLAR İÇİN UYGUN KONUMUN BELİRLENMESİ**

### **6.1. Doğu Akdeniz Bölgesinde Güneş Azimut Açısının Hesaplanması**

Güneş azimut açısının hesabına, güneşin denklinasyon açısı ( $\delta$ ), ilgili yerin enlemi ( $\varphi$ ), güneşin saat açısı ( $h$ ) ve güneşin yükseklik açısı ( $y$ ) girmektedir. Güneş azimut açısının hesabında kullanılan bu faktörler aşağıda belirtildiği şekilde elde edilmiştir;

1- Güneş denklinasyon açısı olarak – detaylı bir inceleme için- her ayın 1'i, 15'i ile 21 Haziran ve 22 Aralık günlerine ait değerler (1) nolu bağıntı ile hesaplanmıştır.

2- Doğu Akdeniz Bölgesi  $32^{\circ} 56' - 36^{\circ} 42'$  boylamları ile  $35^{\circ} 52' - 38^{\circ} 00'$  enlemleri arasında yer almaktadır. Enlem olarak  $36^{\circ}$ ,  $37^{\circ}$  ve  $38^{\circ}$  değerleri dikkate alınmış, bir örnek üzerinde (Çizelge 11) yapılan incelemede, elde edilen güneş azimut açılarının birbirine yakın değerde olduğu görülerek, bölge için ortalama  $\varphi=37^{\circ}$  değeri kullanılmıştır.

**Çizelge 10.** Kar, Dolu, Sis ve Kırağı (Rasat Süresi 1 yıl) (15).

Meteorolojik Elemanlar	Aylar												Yıllık Ort.
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	I X	X	XI	XII	
Ort. Kar Yağış. Günler Sayısı	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ort. Karlı Günler Sayısı	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
En Yük. Kar Ört. Kalnl. (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ort. Donlu Günler Sayısı	7.0	5.0	2.0	-	-	-	-	-	-	-	1.0	4.0	19.0
Ort. Sisli Günl. Sayısı	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ort. Dolulu Günler Sayısı	-	-	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0
Ort. Kırağılı Günler Sayısı	6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.0

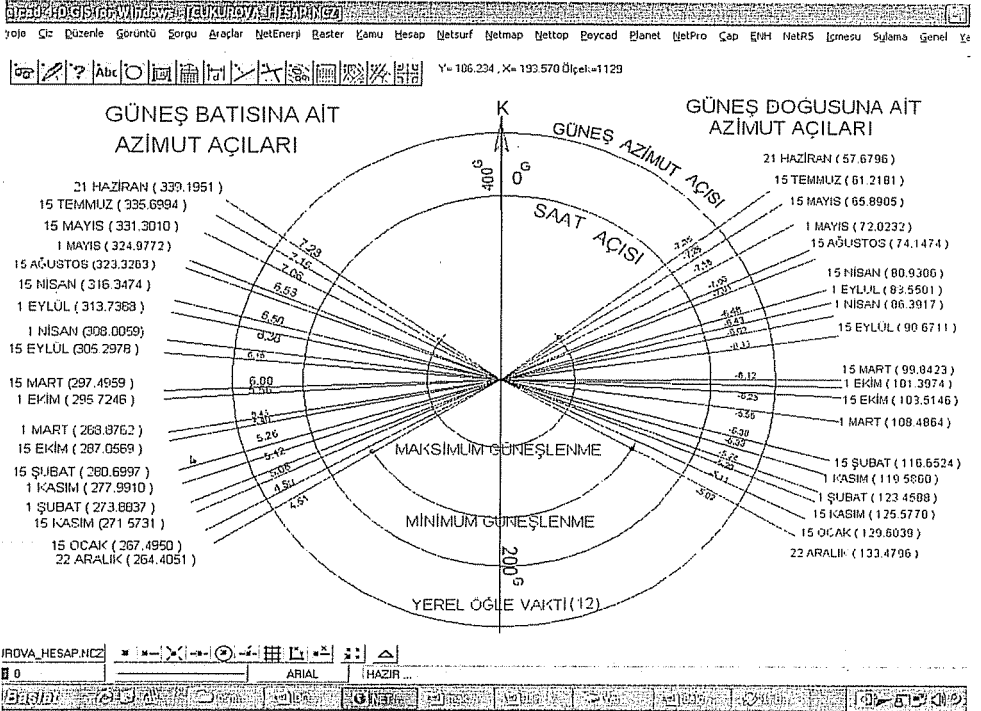
3- Güneş, yeryüzünde dikkate alınan noktanın boylamı üzerine geldiğinde, yani lokal öğle vaktinde, saat açısı sıfır değerdedir. Yerel olarak öğle vakti ile güneşin doğuş zamanı ve batış zamanı arasındaki farklar, güneşin doğuşundaki ve batışındaki saat açıları olarak hesaplanır. Doğu Akdeniz Bölgesinde Adana, Hatay, Osmaniye ve Mersin'de güneşin doğuş ve batışına ait saat açıları, konuyla ilgili zamanları gösteren takvimlerdeki bilgilerden elde edilmiştir. Adana, Hatay, Osmaniye ve Mersin'de, örnek olarak 21 Haziran gününe ait güneşin doğuş, batış ve öğle vakitleri ve bunlardan elde edilen saat açıları ve güneş azimut açısı Çizelge 11'de verilmiştir.

Çizelge 11'de yapılan incelemede, her dört ile ait güneş doğuş, batış ve öğle vaktine ait zamanlar arasında en fazla 5-6 dakikalık fark olduğu, bunun da güneş azimut hesabı sonuçlarını çok etkilemediği görülmüştür. Bu itibarla Doğu Akdeniz Bölgesi için güneş azimut açısının daha kolay bir şekilde hesaplanmasında; bölgenin ortasında yer alan Adana'ya ait güneş doğuş ve batışıyla ilgili saat açıları kullanılmış (Çizelge 12) ve elde edilen sonuçlar Şekil 4'de gösterilmiştir.

DOĞU AKDENİZ BÖLGESİNDE YAPILACAK BİNALARIN GÜN BOYU GÜNEŞ IŞIĞINDAN YARARLANMASI İÇİN BİR APLİKASYON ÖNERİSİ

Çizelge 11. Haziran günü, Adana, Hatay, Osmaniye ve Mersin’de Vakitler, Güneş Doğuş ve Batışına Ait Saat Açılı ve Azimut Açılı.

İller	Enlem (φ)	GÜNEŞ VAKİTLERİ			GÜNEŞ DOĞUŞ		GÜNEŞ BATIŞ	
		DOĞUŞ	ÖĞLE	BATIŞ	SAAT AÇISI (h)	AZİMUT AÇISI (β)	SAAT AÇISI (h)	AZİMUT AÇISI (β)
Adana	37°	5.12	12.48	20.11	12.48-5.12=7.36 -114.00	57°,6796	20.11-12.48=7.23 110°,75	335°,1951
Osmaniye	37°	5.09	12.47	20.07	12.47-5.09=7.38 -114,50	59°,4092	20.07-12.47=7.20 110°,00	335°,9738
Hatay	36°	5.12	12.48	20.05	12.48-5.12=7.36 -114.00	58°,5893	20.05-12.48=7.17 109°,25	335°,4981
Mersin	36°	5.16	12.54	20.13	12.54-5.16=7.38 -114.50	59°,0572	20.13-12.54=7.19 109°,75	336°,0029



Şekil 4. Doğu Akdeniz Bölgesinde Yılın Aylarında ve Çeşitli Günlerinde Güneş Doğuş ve Batış Saat Açılına Göre Hesaplanan Güneş Azimut Açılı.

Çizelge 12. Adana'da Vakitler, Güneş Doğuş ve Batışına Ait Saat Açılı ve Azimut Açılı.

Tarihler	Enlem (φ)	GÜNEŞ VAKİTLERİ			GÜNEŞ DOĞUŞ		GÜNEŞ BATIŞ	
		DOĞUŞ	ÖĞLE	BATIŞ	SAAT AÇISI (h)	AZİMUT AÇISI (β)	SAAT AÇISI (h)	AZİMUT AÇISI (β)
21 HAZİRAN n=172	37°	5:12	12:48	20:11	12:48-5:12=7,36 -114°,00	57°,6796	20:11-12:48=7,23 110°,75	339°,1951
15 TEMMUZ n=196	37°	5:24	12:52	20:07	12:52-5:24=7,28 -112°,00	61°,2181	20:07-12:52=7,15 108°,75	335°,6994
15 MAYIS n=135	37°	5:24	12:42	19:48	12:42-5:24=7,18 -109°,50	65°,8905	19:48-12:42=7,06 106°,50	331°,3010
1 MAYIS n=121	37°	5:37	12:43	19:36	12:43-5:37=7,06 -106°,50	72°,0232	19:36-12:43=6,53 103°,25	324°,9772
15 AĞUSTOS n=227	37°	5:49	12:50	19:40	12:50-5:49=7,01 -105°,25	74°,1474	19:40-12:50=6,50 102°,5	323°,3263
15 NİSAN n=105	37°	5:58	12:46	19:22	12:46-5:58=6,48 -102°	80°,9306	19:22-12:46=6,36 99°	316°,3474
1 EYLÜL n=244	37°	6:03	12:46	19:17	12:46-6:03=6,43 -100°,75	83°,5501	19:17-12:46=6,31 97°,75	313°,7388
1 NİSAN n=91	37°	6:48	12:50	19:10	12:50-6:48=6,02 -90°,50	86°,3917	19:10-12:50=6,20 95°	308°,0059
15 EYLÜL n=258	37°	6:14	12:41	18:56	12:41-6:14=6,33 -98°,25	90°,6711	18:56-12:41=6,15 93°,75	305°,2978
15 MART n=74	37°	5:43	11:55	17:55	11:55-5:43=6,12 -93°	99°,8423	17:55-11:55=6,00 90°	297°,4959
1 EKİM n=273	37°	6:27	12:36	18:32	12:36-6:27=6,09 92°,25	101°,3974	18:32-12:36=5,56 89°	295°,7246
1 MART n=60	37°	6:03	11:58	17:41	11:58-6:03=5,55 -88°,75	108°,4864	17:41-11:58=5,43 85°,75	288°,8760
15 EKİM n=288	37°	6:09	12:32	18:12	12:32-6:09=6,23 -95°,75	103°,5146	18:12-12:32=5,40 85°	287°,0569
15 ŞUBAT n=46	37°	6:22	12:00	17:26	12:00-6:22=5,38 -84°,50	116°,6524	17:26-12:00=5,26 81°,50	280°,6997
1 KASIM n=305	37°	5:56	11:29	16:51	11:29-5:56=5,33 -88°,25	119°,5860	16:51-11:29=5,22 80°,5	277°,9910
1 ŞUBAT n=32	37°	6:35	11:59	17:11	11:59-6:35=5,24 -81°	123°,4588	17:11-11:59=5,12 78°	273°,8837
15 KASIM n=319	37°	6:10	11:30	16:38	11:30-6:10=5,20 -80°	125°,5770	16:38-11:30=5,08 77°	271°,5731
15 OCAK n=15	37°	6:44	11:55	16:53	11:55-6:44=5,11 -77°,75	129°,6039	16:53-11:55=4,58 74°,5	267°,4950
22 ARALIK n=356	37°	6:42	11:44	16:35	11:44-6:42=5,02 -75°,50	133°,4796	16:35-11:44=4,51 72°,75	264°,4051



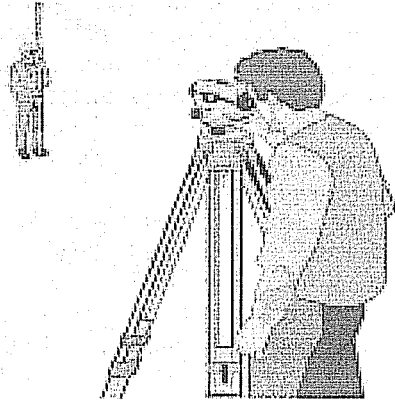
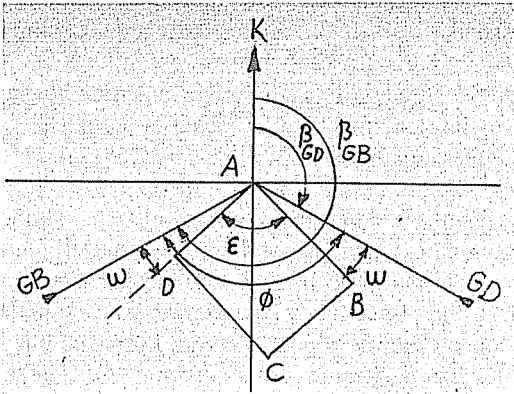
## 6.2. Yapılacak Konutlar İçin Uygun Konumun Belirlenmesi

Doğu Akdeniz Bölgesinde bir yere yapılacak konutun, bütün bir yıl boyunca gün doğuşundan batışına kadar gün ışığından azami derecede yararlanması için, güneş azimut açısının, gün doğuşunda maksimum ve batışında minimum değerleri dikkate alınmalıdır. Şekil 4. incelendiğinde; 22 Aralık'ta, güneşin doğuşunda güneş azimut açısının maksimum değerine ( $133^{\circ},4796$ ) güneşin batışında minimum değerine ( $264^{\circ},4051$ ) eriştiği görülmüştür.

Temeli dikdörtgen şeklinde olan bir yapı, gün doğuşunda maksimum (GD), gün batışında minimum (GB) olduğu azimut açıları arasında, Şekil 5.'deki gibi konumlandırılabilir. Şekil 5.'de, 22 Aralık'ta  $\beta_{GD}$ =Güneş doğuş ışının azimut açısı ( $133^{\circ},4796$ ),  $\beta_{GB}$ =Güneş batış ışının azimut açısıdır ( $264^{\circ},4051$ ).  $\beta_{GB}$  ile  $\beta_{GD}$  arasındaki  $\phi = \beta_{GB} - \beta_{GD} = 130^{\circ},9255$  bağıntısından elde edilir (16).

Şekil 5.'de yapının A köşesinde kesişen bina cepheleri arasında, genellikle dik açı ( $\epsilon = 90^{\circ} = 100^{\circ}$ ) oluşturulur. Binanın AB kenarı, GD doğrultusundan sola doğru, binanın AD kenarı GB doğrultusundan sağa doğru  $\omega$  açısı kadar saptırılarak applike edilirse;  $\omega$  dikkate alınarak, AB ve AD doğrultularının semt açıları (AB), (AD) (16);

$\omega = (\phi - \epsilon)/2 = 15^{\circ},4628$ , (AB) =  $\beta_{GD} + \omega = 148^{\circ},9424$ , (AD) =  $\beta_{GB} - \omega = 248^{\circ},9423$  elde edilir. Yaklaşık olarak, uygulamada kolaylık için (AB) =  $150^{\circ}$ , (AD) =  $250^{\circ}$  alınmalıdır.



Şekil 5. Bir Yapının, Gün Doğuşunda Maksimum, Gün Batışında Minimum Olduğu Güneş Azimut Açıları Arasında Konumlandırılması (16).

Yapılacak binanın C köşesi de AB ve AD'ye göre zemiine applike edilirse, bu şekilde konumlandırılan bir yapı, yıl boyunca gün ışığından azami derecede yararlanmış olur. Bina köşeleri kutupsal yöntemle applike edilecekse (Şekil 5), aplikasyon elemanları, netcad, eghas, geocad ....vb. bilgisayar destekli harita yapım programlarından elde edilebilir. Dik koordinat yöntemiyle hesaplanan aplikasyon elemanlarına göre, bina köşe noktaları, haritacılık destekli bilgisayarda, ilgili imar adasına tersim edilmeli ve köşe noktalarının koordinatları elde edilmelidir. Durulan, bakılan poligon noktaları ile hesaplanan bina köşe noktalarının koordinatlarından, applike edilecek binaya ait kutupsal aplikasyon elemanları hesaplanmalı ve bunlarla kutupsal aplikasyon yapılmalıdır (16).

Doğu Akdeniz Bölgesinde, yukarıda belirtildiği şekilde binaları araziye applike etmeden önce ilgili imar adasında; adanın boyutları, belirlenen yapı nizamı, yapılacak binanın boyutları, TAKS, KAKS ve bahçe mesafeleri dikkate alınarak kaç adet bina yapılacağı belirlenir (17) ve ilgili bina köşelerine ait aplikasyon elemanları, dik koordinat yönteminde hesaplanır (18).

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Binaların güneş görebilmesinin ülkemiz ekonomisine getireceği katkı, söz konusu binanın üzerinde bulunacağı arsanın rant değerinin çok üzerinde olacaktır. Çalışmada Doğu Akdeniz Bölgesinin, 36°-38° enlemleri arasında yer aldığı görülmüş, güneş azimut açısının hesabında, bu enlem değerlerinin sonuçta önemli farklar oluşturmadığından, ortalama enlem değeriyle (37°) hesaplar yapılmıştır. Yılın yaz gün dönümü tarihinde, Adana, Hatay, Osmaniye ve Mersin illerinde yerel öğle vakti ile güneşin doğuşundaki (veya batışındaki) zaman farklarının (dolaylı olarak saat açılarının) azimut açısının hesabına etkileri az olduğundan, bölge için Adana'ya ait saat açılarıyla hesaplar yapılmıştır. Araştırma sonuçlarının genel değerlendirmesi aşağıdaki şekilde özetlenmiştir:

- 1- Güneş'e yönelmeyi sadece bir enerji gereksinmesi olarak düşünmek yeterli değildir. Çünkü güneş, diğer enerji türleri gibi sadece bir enerji kaynağı değil, yaşamın da bizzat kaynağıdır.
- 2- Doğu Akdeniz Bölgesinde yapılacak toplu konutların, bütün yıl boyunca gün doğuşundan batışına kadar gün ışığından azami derecede yararlanabilmesi için; güneş azimut açısının, güneş doğuşunda maksimum, güneş batışında minimum olduğu değerler dikkate alınmalıdır.
- 3- Doğu Akdeniz Bölgesinde güneşlenme süreleriyle ilgili araştırmalarda, bölgede yıllık güneşlenme süresinin, yaz aylarında maksimum değerlerde, kışın ise minimum değerlerde olduğu, yıllık güneşli gün sayısının yaklaşık % 90 civarında olduğu görülmüştür.
- 4- Güneş azimut açısının hesabında yer alan saat açısı, her yerde yerel öğle vaktinde sıfır değerdedir. Güneşin doğuşunda ve batışındaki saat açıları, öğle vaktini, güneş doğuş ve batışına ait zamanları belirten takvimlerdeki bilgilerden elde edilmiştir.
- 5- Doğu Akdeniz Bölgesinde yapılacak bir binanın, yıl boyunca gün ışığından yararlanabilmesi için, pratik olarak binanın kuzey yönünde en üst köşesiyle bunun sağında yer alan köşe noktasını bileştiren doğrunun semt açısının 150<sup>G</sup>, en üst köşeyi, bunun solunda yer alan köşe noktasına birleştiren doğrunun semtinin 250<sup>G</sup> olması gerektiği tespit edilmiştir. Bina, ilgili imar adasına, bahçe mesafeleri ve ilgili bina köşelerine ait aplikasyon elemanları dik koordinat yönteminde hesaplandıktan sonra applike edilmelidir.
- 6- Bina köşeleri eğer kutupsal yöntemle applike edilecekse, dik koordinat yöntemiyle hesaplanan aplikasyon elemanlarına göre, bina köşe noktaları, ilgili imar adasına tersim edilmeli ve köşe noktalarının koordinatları elde edilmelidir.
- 7- Bölgenin iklimine göre değişim göstermekle birlikte, güneşin doğuş ve batış yönüne göre, mekân yönlendirilmelidir. Mümkünse binayı doğu-batı ekseninde uzunca yerleştirmelidir. Böylece güneye bakan yönün alanı artar. Güneye aktif çalışma ve oturma alanlarını yerleştirmek uygundur.

- 8- Şehirlerimizde yapı adaları oluşturulurken güneş enerjisi dikkate alınmadığı için her yöne bakan binalar ortaya çıkmıştır. Bu yüzden yeni yapı adalarında güneş enerjisinden ortak yararlanacak güneş mimarisi olan sistemler tasarlanmalıdır.
- 9- Ortalama 37° enlem değeriyle yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahip Doğu Akdeniz Bölgesinde, açılacak yeni iskân alanlarında uygulanabilecek bu çalışma ile hem yıllık ısıtma ve soğutma ihtiyacını karşılamak için ödenecek bedel azalacak ve büyük bir ekonomik kazanç sağlanacak hem de fosil yakıtların yanması ile atmosfere verilen gaz ve diğer atık maddelerin etkileri azaltılmış olacaktır.
- 10- İnsanoğlunun biyolojik saati güneş ışığına göre ayarlanmıştır. Çalışma ve barınma ortamlarındaki yetersiz doğal aydınlatma: Uyuşukluk, atalet ve depresif duygular oluşturmaktadır. Çözüm ise binaları yaparken güneşe yönlendirmektir.

## KAYNAKLAR

1. Koç,E., “Osmaniye'nin Sosyo-Ekonomik ve Kültürel Yapısı”, ISBN: 978-9944-0426-0426, Mart 2008, Osmaniye.
2. Erengözgin,Ç., “Güneş Evi”, www.bianet.org, 20.01.2007
3. Memory Center, <http://www.mcatürk.com>, Nisan 2008.
4. [http://www.tavsiyedyorum.com/psikolog\\_4683\\_tunc\\_ataker.htm](http://www.tavsiyedyorum.com/psikolog_4683_tunc_ataker.htm), Nisan 2008.
5. <http://www.eie.gov.tr/index.html>, Mart 2008
6. Akıncıtürk,N., “Güneş Işınlarının Yapıdaki Yararlı Etkilerinin İncelenmesi”, YTÜ, Yapı Fiziği Fiziksel Çevre Denetimi Kongresi, 18-19 Kasım 1999, İstanbul.
7. Akıncıtürk,N., “Konutlarda Isı Kaybının Yalıtımla Azaltılmasının Enerji Tüketimindeki Olumlu Etkilerinin İncelenmesi”, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 17. Enerji Haftası Etkinlikleri, Enerji Sempozyumu Kitabı, YTÜ, 9-17 Ocak 1999, İstanbul.
8. Deriş,N., “Güneş Enerjisi Sıcak Su ile Isıtma Tekniği”, Sermet Matbaası, 1979, İstanbul.
9. Kılıç,A., Öztürk,A., “Güneş Enerjisi”, İTÜ Mak. Fak., Kipaş Dağıtımçılık, 1980, İstanbul.
10. Aksoy,A., “Jeodezik Astronominin Temel Bilgileri (Küresel Astronomi)”, M. T. Basımevi, 1975, İstanbul.
11. <http://www.hgk.mil.tr>
12. Erarlan,C., “Hatay İl Çevre Durum Raporu”, T.C. Hatay Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, <http://www.hartay-cevreorman.gov.tr>, 2003, Hatay.
13. Adana İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, İl Çevre Durum Raporları Rehberi, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, <http://www.adana-cevreorman.gov.tr>, 2006, Adana.
14. 2006 Yılı Mersin İl Çevre Durum Raporu, T.C. Mersin Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, <http://www.mersin-cevreorman.gov.tr>, 2007, Mersin.
15. Dolgun,A. ve diğerleri, “Osmaniye İl Çevre Durum Raporu”, T.C.Osmaniye Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, <http://www.osmaniye-cevreorman.gov.tr>, Osmaniye, 2007,
16. İnce,H., “Trakya Bölgesinde Toplu Konut Alanlarında Yapılacak Binaların Gün Boyu Güneş Işığında Yararlanmasında İçin Bir Tasarım Önerisi”, “4. Planlı Dönemde Trakya'da Sanayileşme ve Çevre Sempozyumu” TMMOB Makine Mühendisleri Odası Bildiriler Kitabı, Sayfa 371-380, 14-15 Ekim 2005, Edirne.

17. Yıldız, F., "İmar Bilgisi Planlama Uygulama Mevzuat", Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 1999.

18. Tüdeş, T., "Aplikasyon", KTÜ Müh. Mim. Fak. Yayını, Trabzon, 1995.

**STA4-CAD PAKET PROGRAMI İLE SAP2000 ANALİZ PROGRAMININ MOD BİRLEŞTİRME YÖNTEMİ KULLANARAK KARŞILAŞTIRILMASI**

**İrfan S. GELİBOLU, Ali DOĞAN ve H. Murat ARSLAN**  
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** *Bu çalışmada inşaat Mühendisliği proje bürolarında kullanılan STA4-CAD bilgisayar programının, 2007 yılı Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliği analiz hesapları bakımından irdelenmesi yapılmaktadır. İlk olarak Sta4-cad paket programında tasarlanan yapılardan elde edilen kat yükleri referans alınarak SAP2000 programında aynı veriler uygulanıp mod birleştirme yöntemine göre karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırmayla aynı veriler altında binalara etki eden deprem kuvvetleri ile yönetmelik çerçevesinde istenilen düzensizlik ve deprem kontrolleri yapılmıştır.*

**Anahtar kelimeler:** *Deprem, Sta4-Cad, Yeni Deprem Yönetmeliği, Mod Birleştirme, Deprem Kontrolleri*

**COMPARING OF STA4CAD PACKAGED PROGRAMME WITH SAP2000 STATICS CALCULATION PROGRAMME WITH MODE SUPERPOSITION METHOD**

**ABSTRACT :** *Investigation of STA4CAD Computer Programme used in Civil Engineering Structure Project Office according analyses calculations with the guide of year of 2007, Regulation of Building Structures around Earthquake Region. Firstly comparison of SAP2000 Programme with Mode Combining Method has been carried out with the referance of floor charges obtained from STA4CAD Packaged Programme designed. Structures by using same datas. By this comparison with the same datas, earthquake forces effecting the structures and desirect disorders have been determined, earthquake controls have been achieved according to the Regulation.*

**KeyWords:** *Earthquake, Sta4-Cad, Regulation Of New Earthquake, Mode Superposition, Earthquake Controls*

## 1. GİRİŞ

2007 yılında revize edilen 2007 yılı Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliği TDY98 yönetmeliğindeki aynı kıstaslar alınarak oluşturulmuştur. Yeni Deprem Yönetmeliği de döşemelerin rijit diyafram tanımlanması, planda ve düşeyde düzensizlik kontrolleri; ikinci merteye etkileri gibi kavramlarla birlikte; deprem tasarımı için Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ile Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemlerinin kullanılmasını öngörerek güvenli yapılar tasarlanmasını sağlamaktadır (1).

Yeni Deprem Yönetmeliğinde TDY98 yönetmeliğine ek olarak mevcut yapıların güçlendirilmesi konusunda performans kriterleri detaylı bir biçimde anlatılmakla beraber çelik yapı tasarımı da daha geniş kapsamda irdelenmiştir.

Yeni Deprem Yönetmeliğinin de temel unsurlarından biri yapı tasarımında üç boyutlu analiz yapılması şartı getirmesidir. Bu nedenle herhangi bir yapı tasarlarken; tasarımın güvenilir, hızlı ve ekonomik olarak gerçekleşmesi için bilgisayar destekli paket programların (STA4-CAD, PROBİNA, IDE-CAD gibi) proje bürolarınca kullanılması zorunluluk olmuştur.

Ancak piyasada kullanılan yapı analiz ve tasarımı sağlayan paket programların ilgili standart ve yönetmeliklere göre tasarımda istenilen şartları ne ölçüde uygulamaya aldığı ülkemizde herhangi bir kurum tarafından denetlenmemektedir.

Bu paket programlarca hazırlanan projeler; ilgili mevzuatlar gereğince yetki alanına göre belediyeler, bayındırlık ve iskan müdürlükleri ile inşaat mühendisleri odaları tarafından incelenmektedir. Ancak proje bazında inceleme; bilgisayar destekli analiz ve tasarım programlarının veri kısmındaki kendi denetim kontrollerinin ötesine geçmemektedir. Bu sebeple bu tür paket programlar kendi programlarıyla çözülen projeleri %100 olarak doğru kabul etmekte ve bu şekilde bir kontrol mekanizması oluşmamaktadır. Aynı projenin farklı iki paket programla çözülmesiyle yapılan karşılaştırmalarda farklı sonuçlar alındığı daha önceki çalışmalarda belirtilmiştir.

Yukarıdaki hususlar ışığında bu tezde birçok proje bürosunda kullanılan Sat4-Cad V12.1 programı ile genel amaçlı bir analiz programı olan SAP 2000 V.10 programı kullanılarak seçilen örnekler üzerinde Yeni Deprem Yönetmeliği çerçevesinde Mod Birleştirme Yöntemine göre karşılaştırma yapılmıştır. Örnekler seçilirken basit, simetrik ve daha önceki akademik çalışmalarda kullanılan örnekler olmasına dikkat edilmiştir.

Sonuçları herkes tarafından kabul gören genel amaçlı bir programla bulunmuş olan örnekler; Sta4-Cad V12.1 paket programı ile çözülmüştür. Bu sayede her iki programla elde edilen veriler Yeni Deprem Yönetmeliği çerçevesinde deprem tasarım yapılırken istenilen kıstaslar çerçevesinde karşılaştırılmıştır. Ancak paket programların ilgili standart ve yönetmeliklere göre uygunluğunun programlarca ne derecede karşılandığının bilinmesi mümkün değildir.

Şu unutulmamalıdır ki yeterliliği ilgili kişi ve kurumlarca belgelenmiş bir analiz ve tasarım programı; mühendisler için iyi bir yardımcı olmakla beraber deprem ülkesi olduğumuz göz önüne alındığında vazgeçilmez bir güven unsuru olacaktır.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Materyal

Ülkemizdeki inşaat mühendisliği proje bürolarında Sta4-Cad, Probing, İde-Cad vs. gibi analiz ve tasarım hesabı yapan paket programlar kullanılmaktadır. Bu tür paket programların kullanılması inşaat mühendisliği proje işlerinin hızlı ve ekonomik bir şekilde karşılanmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada Sta4-Cad analiz ve tasarım programı ( Ver. 12.1 Rev. 12.08.2008) incelenmiştir (2).

### 2.2. Sta4-Cad ( Ver. 12.1 Rev. 12.08.2008) Programı

Sta4-Cad programı çok katı betonarme yapıların statik, deprem, rüzgar ve betonarme üç boyutlu analizini gerçekleştiren ve elde edilen sonuçlara göre proje çizimlerini yapan bir paket programdır.

Program, hesaplama yöntemi olarak rijitlik matris kullanılmaktadır. Yapının tümü için global stiffness matrisi bir defada kurulur ve bloklaşma yöntemi ile tüm deplasmanlar bulunur.

Döşemeler yatay düzlemde sonsuz rijit kabul edilir. Bu sayede kat düzlemi ve eleman uçlarında olmak üzere dx, dy, qz deplasmanları bulunarak yapının denge denklemleri kurulmaktadır. Deprem analizi yapılırken aynı şekilde kat döşemeleri rijit diyafram kabul edilip her kat için ( dx, dy) olmak üzere iki deplasman ile bir dönme ( $\theta_z$ ) bulunmaktadır.

Döşeme yükleri yield-line teorisine göre nonortogonal geometri dikkate alınarak kiriş ve kolonlara aktarılmaktadır. Equilibrium Metodu ile plak kırılma doğruları bulunmakta ve gerçekleştirilmektedir. Döşemelerin kolonlara gelen kısmı direkt kolona; kolon dışında kalan kısımlar ise kirişlere aktarılmaktadır.

Kirişlerin kolon içindeki bölümü sonsuz rijit kabul edilerek Moment-Alan (Mohr) Metodu ile hesaplanmaktadır. Programın statik analiz opsiyonlarında kolon-kiriş rijitlik bölgesi için sonsuz rijit- değişken rijitlik ve rijitlik bölgesi alma şeklinde üç ayrı seçenek sunulmaktadır.

Dinamik analiz sırasında toplanmış kütle modeli kullanılmakta ve dönme kütleli atalet momentinin hesabında, düzgün yayılı kütle kabulü yapılmaktadır.

### 2.3. Metod

Bu çalışmada Sta4-Cad yapı analiz ve tasarım programı ile genel amaçlı bir analiz programı olan Sap2000 programının çeşitli yapı örnekleriyle Yeni Deprem Yönetmeliğinin Deprem Yüklü Hesap Yöntemi bölümünde belirtilen Mod Birleştirme Yöntemine göre karşılaştırılması amaçlanmıştır. Seçilen yapı örneklerinin daha önceki akademik çalışmalarda kullanılan örneklerden olmasına dikkat edilmiştir. Bu amaçla çeşitli akademik çalışmalarda Kırıl ve ark., ile Lüle tarafından kullanılan örnekler bu çalışmada referans alınmıştır. Bu örneklerin seçilmesindeki temel unsur, proje bürolarında kullanılan hazır programların kontrolü için referans olacağı düşünülmektedir (3-4).

Bu tezde Sta4-Cad V.12.1 ve Sap2000 V.10.0.7 programları ile çözülen örneklerin tamamında kat döşemelerinde rijit diyafram modeli kullanılmıştır. Seçilen örneklerde Sta4-

Cad V.12.1 programında opsiyonel olarak seçilen tablasız kiriş seçilerek Sap.2000 V.10.0.7 programı ile daha uyumlu karşılaştırılma yapılması sağlanmaktadır (5).

Sap 2000 V.10.0.7 programında kat ağırlıkları istenilen değer olarak doğrudan uygulanabilirken; Sta4-Cad programı kat ağırlıklarını veri girişine bağlı olarak döşeme yükleri; kiriş ve kolon ebatları ile duvar ve pencere ağırlıklarını hesaplayarak bulmaktadır.

Bu sebeple yapılan çalışmada her iki programdaki veri karşılaştırmaların anlamlı olması için örneklerde Sta4-Cad programıyla hesaplanan kat yükleri referans alınmıştır. Ayrıca tüm örnekler için zemin sınıfı, deprem bölgesi, bina önem katsayısı aynı değerler kullanılmıştır.

Sta4-Cad programı yapılarıdaki deprem etkisi için Yeni Deprem Yönetmeliğinde belirtilen Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Mod Birleştirme Yöntemini kullanmaktadır. Her iki yöntem için programda opsiyonel seçim hakkı sunulmuş olup Yeni Deprem Yönetmeliği şartları dikkate alınarak sonuçlar değerlendirilmektedir.

Sta4-Cad ve Sap2000 programlarında örnekler çözüldükten 1. kat kolonların zemine ankastre bağlandığı kabul edilmiştir. Tüm örnekler için beton elastisite modülü  $E=285$  t/cm<sup>2</sup> kullanılmıştır. Ayrıca Sta4-Cad programında bina ağırlığı hesabında kullanılmak üzere Beton yoğunluğu 2,5 t/m<sup>3</sup> alınmıştır.

Örneklerde , dikdörtgen kesitli perdeler Sta4-Cad programında geniş kolon modeli ile kayma deformasyonları da dikkate alınarak çözüldükten, poligon kesitli kolon veya perdeler (şaft vb.) Shear Wall Modeli ( Ghali, A., Neville, A.M., 1978) ile çözülmektedir (6).

Sta4-Cad programında ise modal analiz uygulanırken kat kütle merkezine, birbirine dik iki doğrultuda serbestlik derecesi ile dönme serbestlik derecesi hesaplanmaktadır. Böylece ağırlık merkezine göre hesaplanan yapı periyotları kullanılarak spektrum analizi yapılmaktadır. Bu analiz sonucunda bulunan X ve Y deprem yönlerine ait deprem tasarım kuvvetleri daha sonra ağırlık merkezinin deprem yönlerine dik olacak şekilde  $\pm\%5$  kaydırılmasıyla bulunan noktalara dış yük olarak etki ettirilmektedir. Bu yükleme sonucunda bulunan deplasman kontrolleri yapılarak YDY' de istenilen düzensizlik kontrolleri yapılmaktadır.

### 3. MOD BİRLEŞTİRME YÖNTEMİ

Bu yöntemde yapının deprem sırasındaki maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan en büyük değerlerinin istatikselsel olarak birleştirilmesi uygulanmaktadır. Yöntem tamamen elastik davranışı dikkate almaktadır.

#### 3.1. Mod Birleştirme Yöntemi İle İlgili Sayısal Uygulamalar

Bu bölümdeki tüm örneklerde Yeni Deprem Yönetmeliğindeki belirtilen Mod Birleştirme Yöntemi esas alınarak analiz yapılmıştır. Örnekler Sta4-Cad V12.1 ile Sap2000 V.10 programları ile çözülmüştür.

Örneklerdeki kat ağırlıkları hesaplanırken Sta4-Cad programında elde edilen yapı ağırlığı referans alınmıştır. Kat ağırlıkları Sap2000 V.10 programına dışarıdan direkt



*STA4-CAD PAKET PROGRAMI İLE SAP2000 ANALİZ PROGRAMININ  
MOD BİRLEŞTİRME YÖNTEMİ KULLANARAK KARŞILAŞTIRILMASI*

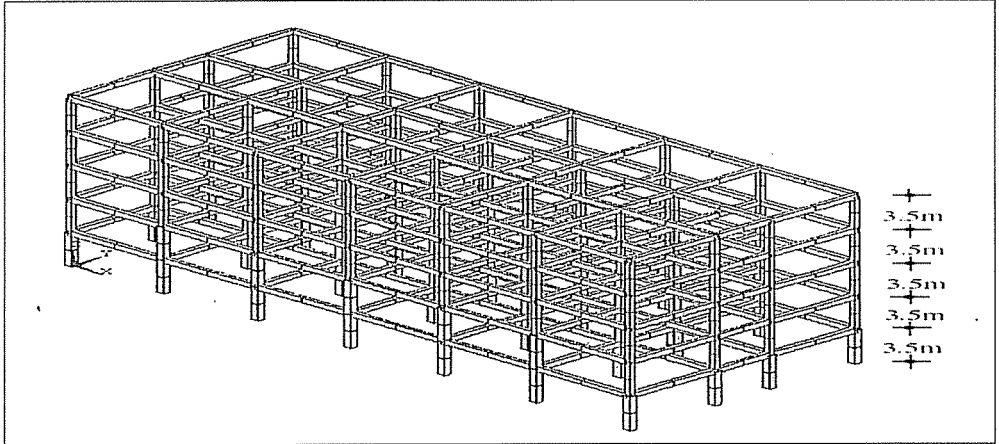
uygulanabildiği için Sta4-CadV12.1 programıyla hesaplanan kat ağırlıkları kullanılmıştır. Bu şekilde her iki program arasında aynı değerler üzerinden karşılaştırma yapılmasına imkan verilmiştir.

Sap2000 V10.0 ile Sta4-CadV12.1 karşılaştırmasında bir diğer unsur ise kiriş kesitleridir. Sta4-Cad programında opsiyonel olarak dikdörtgen kesitli kiriş seçme opsiyonu bulunmaktadır. Sap2000 programı ile karşılaştırma yapılırken dikdörtgen kesitli kiriş kullanılmıştır.

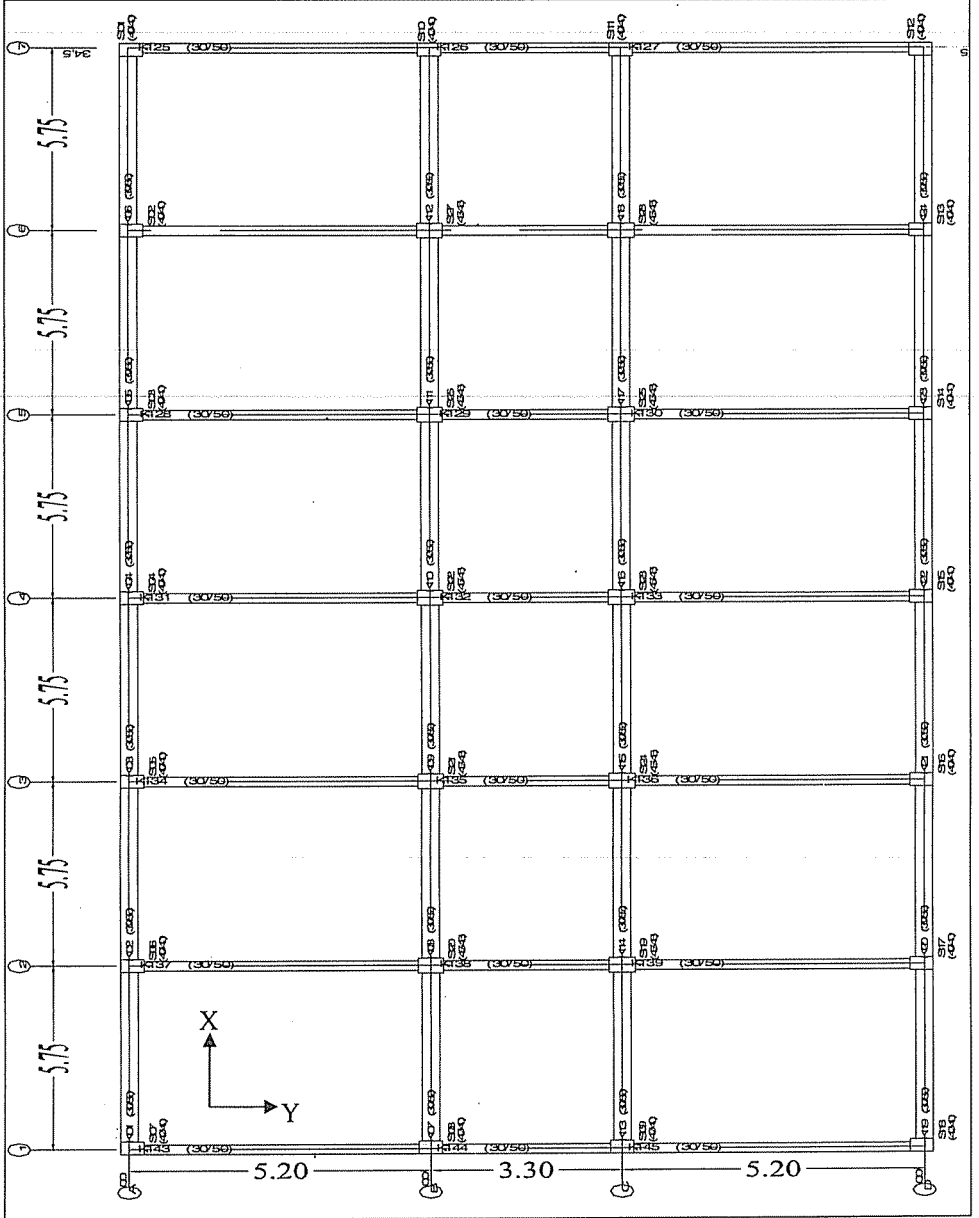
Ele alınan örneklerin her iki program çözümlerinde 1. kat kolonların zemine ankastre olarak bağlandığı kabul edilmiştir. Ayrıca Sta4-Cad programında opsiyonel olarak verilen kolon- kiriş rijitlik bölgesi tam rijit seçilmiştir. Aynı rijitliği Sap2000 programında sağlayabilmek için otomatik rijitlik bölgesi seçilmiş olup rijitlik faktörü 1 kabul edilmiştir.

### 3.2. Örnek 1

Bu makalede basit ve düzenli bir taşıyıcı sisteme sahip, 5 katlı betonarme bir yapı incelenmiştir. Bu yapının çerçeve sistem olmak üzere çözüm yapılmıştır. Bu şekilde yapının; ortogonal akslar üzerinde simetrik bir betonarme çerçeveye sahip olması dolayısıyla programlar arasında karşılaştırma yapılırken uygun bir örnek olacağı düşünülmüştür. Bu örneklerin sonuçları Yeni Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen kurallar çerçevesinde incelenmiştir. Bu örneğe ait perspektif görünüş Şekil.1.'de, zemin kat kalıp planı Şekil.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Örnek 1.'e ait perspektif görünüş.



Şekil 2. Örnek 1.'e ait zemin kat planı.

STA4-CAD PAKET PROGRAMI İLE SAP2000 ANALİZ PROGRAMININ  
MOD BİRLEŞTİRME YÖNTEMİ KULLANILARAK KARŞILAŞTIRILMASI

**Bina Bilgileri**

Kat Sayısı	: 5 Normal Kat
Bina Türü	: Konut
Taşıyıcı Sistem Türü	: Betonarme/Perdeli çerçevesi sistem
Taşıyıcı Sistem Davranış Kat. (R)	: 8/7
Deprem Bölgesi	: 1.Bölge
Yerel Zemin Sınıfı	: Z2
Analiz Tipi	: Dinamik analiz (Mod Birleştirme)
Bina Önem Katsayısı (I)	: 1,00
Yatay Yük Dışmerkezliği	: % 5
Beton ve Çelik Sınıfı	: BS20-BÇIII
Zemin Emniyet Gerilmesi	: 17 t/m <sup>2</sup>
Zemin Yatak Katsayısı	: 1500 t/ m <sup>3</sup>
Kat Yüksekliği	: 3,50 m

Sta4-Cad V12.1 programında kat ağırlığında hesaplanmak üzere Döşemelerin 15 cm kalınlıkta plak döşeme olarak modellenmiştir. 1-2-3-4. katlarda döşeme sabit yükü 0,750 t/m<sup>2</sup>, hareketli yük 0,500 t/m<sup>2</sup>; 5. katta ise döşeme sabit yükü 0,525 t/m<sup>2</sup>, hareketli yük ise 0,250 t/m<sup>2</sup> olarak alınmıştır. Tüm kirişlerde kat ağırlığında 1-2-3-4. katlarda 0,71 t/m, 5.katta ise 0,375 t/m değerleri kullanılmıştır.

İncelen yapıya ait betonarme çerçeve sistem olarak tasarlanan yapı analizi için Sta4-Cad ve Sap2000 programında elde edilen değerler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

**Çizelge 1.** Örnek 1.'e ait sta4-cad ve Sap2000 programında elde edilen değerler.

Kat	W <sub>k</sub> (ton)	A(m <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> (m <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> (m <sup>4</sup> )	m <sub>i</sub> (w/g)	$\theta$ ((I <sub>x</sub> +I <sub>y</sub> )/A)	m <sub>i</sub> $\theta$
5	369,28	472,60	7392,64	46880,97	37,643	114,84	4322,95
4	584,26	472,60	7392,64	46880,97	59,558	114,84	6839,59
3	589,20	472,60	7392,64	46880,97	60,061	114,84	6897,42
2	594,10	472,60	7392,64	46880,97	60,561	114,84	6954,79
1	601,20	472,60	7392,64	46880,97	61,284	114,84	7037,90

Yukarıdaki veriler ışığında her iki program tarafından yapılan serbest titreşim analizi sonucu elde edilen yapıya ait periyotlar ve bu periyotlar sonucu Yeni Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen azaltılmış ivme spektrum değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

**Çizelge 2.** Örnek 1.'e ait spektral ivme değerleri ve azaltılmış ivme spektrumu.

Mod	Periyot		$R_n(T_n)$		$S_{nR}(T_n)$	
	Sap2000	Sta4-Cad	Sap2000	Sta4-Cad	Sap2000	Sta4-Cad
1	0,9985	0,9859	8	8	0,589	0,595
2	0,9712	0,9701	8	8	0,603	0,603
3	0,8879	0,8803	8	8	0,647	0,652
4	0,3661	0,3617	8	8	1,226	1,226
5	0,3597	0,3593	8	8	1,226	1,226
6	0,3160	0,3138	8	8	1,226	1,226

Azaltılmış ivme spektrum katsayıları elde edildikten sonra spektrum analizi yapılarak deprem kuvvetleri hesaplanmıştır. Her iki programda modlardan gelen katkıları birleştirirken Tam Karasal Birleştirme (CQC) Kuralı uygulanmaktadır. Bu değerler kullanarak yapının çerçeve sistem çözümünde yönetmelikte öngörülen Deprem düzensizlik kontrolleri Y Deprem Yönü için aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

**Çizelge 3.** Örnek 1.'e ait Sap.2000 V10.0.7 ve Sta4-Cad programlarında +y(%5)deprem yönü için elde edilen düzensizlik kontrolleri karşılaştırılması.

KAT	SAP2000 v.10.0.7				Sta4-Cad v.12.1			
	$\eta_{bi}$	$\eta_{ki}$	$(\delta_i)_{max}/h_i$	$\theta_i$	$\eta_{bi}$	$\eta_{ki}$	$(\delta_i)_{max}/h_i$	$\theta_i$
5	1,186	-	0,0079	0,0074	1,184	-	0,0081	0,0076
4	1,190	<b>1,830</b>	<b>0,0145</b>	0,0177	1,188	<b>1,810</b>	<b>0,0147</b>	0,0181
3	<b>1,231</b>	0,900	0,0134	0,0197	<b>1,228</b>	0,900	0,0137	0,0202
2	1,230	1,000	0,0134	<b>0,0227</b>	1,224	1,000	0,0136	<b>0,0232</b>
1	1,207	0,710	0,0093	0,0185	1,205	0,620	0,0083	0,0168
$\eta_{bi(max)}=1,231 > 1,20$					$\eta_{bi(max)}=1,228 > 1,20$			
$\eta_{ki(max)}=1,830 < 2,00$					$\eta_{ki(max)}=1,810 < 2,00$			
$(\delta_i)_{max}/h_i = 0,0145 < 0,02$					$(\delta_i)_{max}/h_i = 0,0147 < 0,02$			
$\theta_{i(max)}=0,0227 < 0,12$					$\theta_{i(max)}=0,0232 < 0,12$			

### 3.3. Örnek 2

Örnek 2'de incelen yapıda elde edilen Y deprem yönüne ait A1 düzensizlik durumunun giderilebilmesi için; düzensizliğin ortaya çıktığı yapının Y yönü boyunca perde ilavesi yapılarak çözüm yapılmıştır. Yapı genel bilgileri Örnek 1.'deki değerler kabul edilmiştir. Bu örnekte rijitliği artırmak amacıyla A2-A3 ile C2-C3 aksları arasında 200x30 cmxcm ebatlarında perde tanımlanmıştır. Sap 2000 programında perde tanımlanırken kabuk (shell thin) eleman seçilmiştir.

*STA4-CAD PAKET PROGRAMI İLE SAP2000 ANALİZ PROGRAMININ  
MOD BİRLEŞTİRME YÖNTEMİ KULLANARAK KARŞILAŞTIRILMASI*

İncelen yapıya ait betonarme çerçeve sistem olarak tasarlanan yapı analizi için Sta4-Cad ve Sap2000 programında elde edilen değerler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

**Çizelge 4.** Örnek 2.'ye ait sta4-cad ve Sap2000 programında elde edilen değerler.

Kat	$W_k(\text{ton})$	$A(\text{m}^2)$	$I_x(\text{m}^4)$	$I_y(\text{m}^4)$	$m_i(w/g)$	$\theta$ $((I_x+I_y)/A)$	$m_i \theta$
5	382,78	472,65	7392,64	46880,97	39,019	114,83	4480,59
4	597,76	472,65	7392,64	46880,97	60,934	114,83	6997,02
3	602,70	472,65	7392,64	46880,97	61,437	114,83	7054,85
2	607,60	472,65	7392,64	46880,97	61,937	114,83	7112,20
1	614,17	472,65	7392,64	46880,97	62,607	114,83	7189,11

Yukarıdaki veriler ışığında her iki program tarafından yapılan serbest titreşim analizi sonucu elde edilen yapıya ait periyotlar ve bu periyotlar sonucu Yeni Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen azaltılmış ivme spektrum değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

**Çizelge 5.** Örnek 2.'ye Ait Spektral İvme Değerleri Ve Azaltılmış İvme Spektrumu.

Mod	Periyot		$R_n(T_n)$		$S_{nR}(T_n)$	
	Sap2000	Sta4-Cad	Sap2000	Sta4-Cad	Sap2000	Sta4-Cad
1	0,9878	0,9896	7	7	0,680	0,679
2	0,6204	0,6151	7	7	0,986	0,993
3	0,4367	0,4313	7	7	1,306	1,319
4	0,3560	0,3582	7	7	1,401	1,401
5	0,2077	0,2105	7	7	1,401	1,401
6	0,1607	0,1613	7	7	1,401	1,401

Azaltılmış ivme spektrum katsayıları elde edildikten sonra spektrum analizi yapılarak deprem kuvvetleri hesaplanmıştır. Her iki programda modlardan gelen katkıları birleştirirken Tam Karasel Birleştirme (CQC) Kuralı uygulanmaktadır. Bu değerler kullanarak yapının çerçeve sistem çözümünde yönetmelikte öngörülen Deprem düzensizlik kontrolleri Y Deprem Yönü için aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Örneklerdeki temel amaç her iki paket programın aynı referans değerlerle Mod Birleştirme Yöntemi esas olmak üzere karşılaştırılmalarının yapılmasıdır. Bu nedenle karşılaştırılan örneklerde Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliği'nde belirtilen perdeli sistemlerde perde taban kesme kuvvetlerine göre R (Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı) hesabı yapılmadan her iki örnek için  $R=7$  alınmıştır. Modal analiz sonucu hesaplanan deprem kuvvetlerine göre elde edilen düzensizlik kontrolleri aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

**Çizelge 6.** Örnek 2.'ye Sap.2000 V10.0.7 ve Sta4-Cad programlarında +y(%5)deprem yönü için elde edilen düzensizlik kontrolleri karşılaştırılması.

KAT	SAP2000 v.10.0.7				Sta4-Cad v.12.1			
	$\eta_{bi}$	$\eta_{ki}$	$(\delta_i)_{max}/h_i$	$\theta_i$	$\eta_{bi}$	$\eta_{ki}$	$(\delta_i)_{max}/h_i$	$\theta_i$
5	1,134	-	0,0085	0,0058	1,131	-	0,0081	0,0056
4	1,132	1,025	0,0087	0,0083	1,130	1,040	0,0085	0,0081
3	1,131	0,911	0,0079	0,0093	1,128	0,919	0,0078	0,0091
2	1,130	0,762	0,0060	0,0084	1,126	0,775	0,0060	0,0083
1	1,121	0,484	0,0029	0,0047	1,121	0,495	0,0030	0,0048
$\eta_{bi (max)}=1,134 < 1,20$					$\eta_{bi (max)}=1,131 < 1,20$			
$\eta_{ki (max)}=1,025 < 2,00$					$\eta_{ki (max)}=1,040 < 2,00$			
$(\delta_i)_{max}/h_i = 0,0087 < 0,02$					$(\delta_i)_{max}/h_i = 0,0085 < 0,02$			
$\theta_{i(max)}=0,0093 < 0,12$					$\theta_{i(max)}=0,0091 < 0,12$			

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada mühendislik proje bürolarında yaygın olarak kullanılan Sta4-Cad Paket Programı ile dünyada yaygın olarak kullanılan genel amaçlı analiz programı olan Sap2000 programının Yeni Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen deprem yükü hesaplama yöntemlerinden biri olan Mod Birleştirme Yöntemi bakımından karşılaştırılması yapılmıştır.

Sta4-Cad ve Sap2000 programlarının 2007 yılı Yeni Deprem Yönetmeliği'ndeki Mod Birleştirme Yöntemine göre deprem hesabı karşılaştırılması yapıldığında ortaya çıkan değerlendirmeler aşağıdaki gibidir.

Sta4-Cad programı; kullanım kolaylığı açısından Sap2000 programına göre önemli avantajlara sahiptir. Programa veri girişinin hızlı, kolay ve anlaşılır olması ile betonarme tasarım sonuçlarının dwg, dxf uzantılı çizim dosyaları şeklinde paftalara alınabilmesi Sta4-Cad programının önemli özellikleri arasında sıralanabilir.

Sap2000 programı ise genel amaçlı bir analiz programı olması dolayısı ile piyasa şartlarında hızlı ve ekonomik olarak proje tasarımı konusunda Sta4-Cad programına göre tercih edilmemektedir. Ayrıca Sap2000 programının genel ayarlarında betonarme tasarım için dünyanın birçok gelişmiş ülkesinin standartları bulunmasına rağmen TS500 Türk Standardı ayarları bulunmamaktadır. TS500'e uygun ayarlama yapabilmek için program ayarlarını değiştirebilmek gerekmektedir.

Sta4-Cad programı tarafından modal analiz uygulanırken kat döşemeleri rijit diyafram kabul edilmektedir. Bu kabule göre kütle eylemsizlik momenti kat kütle merkezine iki ötelenme, bir dönme etkisi uygulanarak modal analiz yapılmaktadır.

Bulunan modlar; daha sonra Yeni Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan zemin sınıfına göre spektrum analizi yapılarak deprem kuvvetleri bulunmaktadır. Bulunan bu kuvvetler;

*STA4-CAD PAKET PROGRAMI İLE SAP2000 ANALİZ PROGRAMININ  
MOD BİRLEŞTİRME YÖNTEMİ KULLANARAK KARŞILAŞTIRILMASI*

ağırlık merkezinin yönetmelikte öngörülen eksantriste değerleri ile kaydırılması sonucu bulunan noktalara etki ettirilerek deplasmanlar bulunmaktadır. Bu deplasmanlar ışığında düzensizlik kontrolleri yapılmaktadır.

Sta4-Cad programı yapının ağırlık merkezine göre serbestlik dereceleri tanımlayarak modal analiz yapmaktadır. Ayrıca yapının her katına ait rijitlik ve ağırlık merkezlerini hesaplayıp; bu iki nokta arasında fark bulunuyor ise bu farkı ek moment olarak ağırlık merkezine etki ettirmektedir. Bu şekilde yapıların gerçekçi bir şekilde analizi etkin kılınmaktadır.

Bu tez için seçilen örneklerden bazıları simetrik, ortogonal çerçeve sistemler seçilirken bazı örnekler özellikle A1 Burulma Düzensizliğinin incelemesi için simetrik olmayan yapılardan seçilmiştir.

Sap2000 ve Sta4-Cad programları ile incelenen örneklerden elde edilen sonuçlar ışığında aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir;

- Her iki programda elde edilen deprem kuvvetleri ve her bir deprem yönü için hesaplanan düzensizlik sonuçlarının birbirine çok yakın çıktığı görülmüştür.
- Yapılar modellenirken mümkün mertebe çerçeve sistemler kullanılmalıdır.
- Yapının x ve y boyu arasındaki oran ne kadar artarsa yapıda özellikle A1 Burulma Düzensizliği oluşmaktadır.
- Özellikle A1 Burulma Düzensizliği bulunan yapılarda bu düzensizliği ortadan kaldırmak için; düzensizliğin oluştuğu doğrultu boyunca simetrik perdeler kullanılması uygun olacaktır. Bu bağlamda Çizelge 3.'de görülen A1 Burulma Düzensizliği perde elemanlar kullanılarak giderilmeye çalışılmış ve Çizelge 6'da görüldüğü gibi deprem perdelerinin kullanılmasıyla burulma düzensizliği durumu ortadan kalkmıştır.
- Yapılarda kullanılan perdeler modellenirken yapının yüksekliği boyunca devam etmesi mutlak gerekmektedir.
- Yapılarda kullanılan perde yerlerinin yapı davranışına etkisinin çok büyük olduğu, perdelerin yapıya simetrik yerleştirilip, yerleştirilmediğinin yapının deprem karşısındaki davranışını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.
- Yapılar modellenirken kütle merkezi ile rijitlik merkezinin yakın yada üst üste gelmemesi durumunda yapının depreme karşı davranışının olumsuz yönde etkilendiği, özellikle Yeni Deprem Yönetmeliğinde belirtilen A1 Burulma Düzensizliği durumun ortaya çıktığı görülmüştür.

Sta4-Cad programı; veri girişinin hızlı olması; tasarım amacına uygunluk ve veri girişi sırasında programa hızlı ve kolay müdahale edilmesi vb. özellikleriyle kullanım açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Ancak ülkemizde mühendislik tasarımına hizmet eden paket analiz programlarını denetleyen herhangi bir kişi veya kurum bulunmamaktadır. Bu durum Sta4-Cad gibi paket analiz programlarının ilgili standart ve yönetmeliklere uygunluğunun denetimi yapılamamaktadır.

Her program sahibinin kendi programının doğruluğunu %100 kabul ettiği düşünüldüğünde ortaya çıkan bu denetimsiz durumun giderilmesi için mühendislik konusunda Türkiye’de resmi ve sivil toplum kuruluşlarından teşkil edilecek bir denetim mekanizması kurulmalıdır. Bu şekilde ilgili standart ve yönetmeliklerde öngörülen tasarım kurallarının proje tasarlama aşamasında uygunluğunun kontrolü sağlanmış olacaktır.

## 5. KAYNAKLAR

1. YDY, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, TC. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007.
2. Amasralı,S., STA4-CAD Ver-12.1, , “Structural Analysis For Computer Aided Design”, İstanbul, 2008.
3. Kural,E., Özdemir,E.K., Yerli,H., Temel,B., “Yeni Deprem Yönetmeliğinin Analiz Bakımından Uygulamaları (Çözümlü Örnekler)”, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği, Adana, 2000.
4. Lüle,A., “ Betonarme Yapı Proje Hesaplarının STA4-Cad ve Probinda Orion Paket Programlarına Göre İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 2006.
5. CSI, SAP2000, Ver 10.07, “Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures”, Computers and Structures, Inc., Berkeley, CA, 2007.
6. Duman, M., “ STA4-Cad Hazır Programının Yeni Deprem Yönetmeliği (TDY98) Bakımından İrdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2000.



## TABAKALI KOMPOZİT İNCE PLAKLARIN PLAK DÜZLEMİNE DİK YÜKLEME ETKİSİ ALTINDAKİ EĞİLME ANALİZİ\*

Ali DOĞAN, Emel YAĞCI ve H. Murat ARSLAN  
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** *Bu çalışmada, tabakalı plakların düşey yükler altında statik analizleri yapılmıştır. Analizlerde simetrik ve antisimetrik tabakalanma durumlarındaki plağın davranışı incelenmiştir. Plak malzemesi izotrop ve ortotrop olarak kabul edilmiştir. Simetrik tabakalanma durumları için plağın farklı tabakalanma açılarındaki ve farklı tabaka dizilimlerindeki davranışı, antisimetrik tabakalanma durumları için ise farklı tabakalanma açıları ve farklı elastisite modüllerine göre plak davranışı incelenmiştir. Analizlerde ince plak kabulleri ile elde edilen diferansiyel denklemler, değişkenlerine ayırma yöntemiyle çözülmüştür. MATHEMATICA adlı bir bilgisayar programı yardımıyla, çözüm için bir bilgisayar programı hazırlanıp, sonuçlar sonlu elemanlar yöntemine dayalı çözüm yapan ANSYS paket programı ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.*

### BENDING ANALYSIS OF LAMINATED COMPOSITE THIN PLATES UNDER THE EFFECTS OF THE TRANSVERSE LOADING

**ABSTRACT :** *In this study, the static analysis of laminated plates under vertical loads is studied. In the analysis, the behaviour of the plate in the cases of symmetric and antisymmetric lamination is investigated. The material of the plate is considered to be isotropic and orthotropic. For symmetric lamination cases, the behaviour of the plate with different lamination angles and different plate arrangements are investigated while for antisymmetric lamination cases, the plate behaviour is investigated according to the lamination angles and different elasticity moduli ratios. In the analysis the differential equations which are obtained employing thin plate assumptions, are solved by the help of the method of separation of variables. Preparing a computer program for the solution by the help of a computer algebra system called MATHEMATICA, the results are compared with the results which are obtained using the commercial computer program ANSYS which carries out solutions based on the finite element method.*

\* Bu proje Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir. Proje No: MMF.2005.YL.33

## 1. GİRİŞ

Plaklar, kalınlıkları diğer iki boyutuna oranla, çok küçük olan taşıyıcı elemanlardır. Düşey ve yatay yükleri aktararak taşıyıcı sistem elemanları arasındaki sürekliliği sağlarlar. İkametgah tipi yapılar genellikle düzgün geometriye sahip olmaları ve çoğunlukla düzgün yayılı yük etkisi altında kalmalarından dolayı, bu tip yapılarda plakların analizi daha da kolaylaşmaktadır. Belirtilen özelliklere sahip plakların analizi için, literatürde ve yönetmeliklerde problemlerin çözümü için yeterli olabilecek yaklaşık yöntemler verilmiştir.

Kalınlığının açıklığına oranı yaklaşık olarak 1/20 den küçük olan plaklara ince plaklar denilmektedir. İnce plaklar Kirchoff hipotezinde belirtildiği gibi, plak kalınlığı boyunca kayma deformasyonları ihmal edilerek çözülebilmektedirler.

Bazı özel durumlarda plakların bazı özelliklerinin iyileştirilmesi istenir. Bu iyileştirmeler ile istenilen özelliklere sahip plakların elde edilmesi sağlanır. Örneğin tabakalı kompozit plaklarda olduğu gibi zayıf ve güçlü malzemelerin belirli ölçülerde biraraya getirilmesi ile veya tabaka açılarının değişimi ile bu iyileştirmeler sağlanabilir. Tabakalı kompozit plaklar çok çeşitli tabaka dizilimlerine sahip olabilmektedirler ve bu tabaka dizilimlerine bağlı olarak farklı tabaka rijitlikleri gösterirler. Bu tabaka rijitliklerinin iyi anlaşılması ile istenilen amaca en uygun tabakalanma çeşidine ulaşmak mümkün olur.

Plaklar her zaman geometri ve yükleme açısından elverişli özelliklere sahip olmayabilirler ve bu tip özelliklere sahip plakların analizi için yaklaşık yöntemler yeterli olamayabilir. Bundan dolayı, geniş işlem hacmine sahip olan ancak bilgisayar desteğiyle bu sorunu aşan Sonlu Farklar, Sınır Eleman ve Sonlu Elemanlar Yöntemi gibi bazı sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden Sonlu Elemanlar Yöntemi, sistematik olması, her türlü yapıya kolaylıkla uygulanabilmesi ve programlamaya elverişli olmasından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Kompozit malzeme, istenen amaç için tek başlarına uygun olmayan farklı iki veya daha fazla malzemenin istenen özellikleri sağlayacak şekilde belirli şartlar ve oranlarda fiziksel olarak bir araya getirilmesiyle elde edilen malzeme grubudur. Üç boyutlu bu bir araya getirmede amaç, bileşenlerin hiçbirinde tek başına mevcut olmayan bir özelliğin elde edilmesidir. Diğer bir deyişle, amaçlanan doğrultuda bileşenlerinden daha üstün özelliklere sahip bir malzeme üretilmesi hedeflenmektedir. Kompozit malzemeye, "Çok Bileşenli Malzeme", "Çok Fazlı Malzeme", "Donatılı Malzeme" ve "Pekiştirilmiş Malzeme" gibi adlar da verilmektedir (2).

Bu çalışmada, tabakalı kompozit plakların farklı tabakalanma şekillerine göre tabaka rijitliklerinde ve tabaka iç kuvvetlerinde meydana gelen değişim incelenmiştir. Bu değişimin bilinmesi, tabakalanma davranışının anlaşılması için gereklidir. Bu çalışmada, mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan ANSYS paket programı ile sonlu elemanlar yöntemini kullanıp çeşitli modellerin analizi yapılmaktadır. Ayrıca, tabakalanma teorisi yardımıyla çeşitli sınırlandırmalar ve varsayımlar ile basite indirgenen problemlerin çözümü için denge denklemleri kullanılarak MATHEMATICA adlı paket programın yardımıyla, bir bilgisayar programı

hazırlanmıştır. Çalışma sonunda, MATHEMATICA adlı paket programın yardımıyla hazırlanan bilgisayar programı ve ANSYS paket programı ile çözülen örneklerin sonuçları tablo ve grafiklerle sunulmuş ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

### 3. TABAKALARIN MAKROMEKANİK ANALİZİ

Yapılar genellikle tek tabakalı bloklardan meydana gelir, bundan dolayı, bu tek tabakalı yapıların mekanik analizini anlamak, çok tabakalılardan önce gelir. Tek bir kompozit tabaka bile homojen ve izotrop değildir. Çünkü tabaka, homojen-izotrop fiber elemanlarla homojen-izotrop matris elemanların birleşmesiyle meydana gelmesine rağmen, tabaka rijitlikleri, noktanın fiberlerde, matrisde veya fiber-matris arasındaki bir bölgede olup olmamasına göre, noktadan noktaya çeşitlilik gösterir. Bu durum, çok karışık mekanik tabaka modellerinin oluşmasına neden olur. Bu sebeple, tabakaların makromekanik analizinde tabakaların homojen olduğu kabul edilerek, ortalama malzeme özellikleri temel alınır.

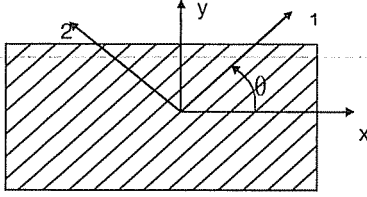
İnce plaklar için Kirchoff hipotezi kullanılabilir. Kirchoff hipotezi ile ince tabakalar için düşey doğrultudaki deplasmanın sıfır olduğu ve düşey gerilmenin diğer gerilmeler yanında ihmal edilecek kadar küçük olduğu kabul edilir. Bu durumda iki boyutlu bir elemandaki gerilme şekil değişirme ilişkisi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Yukarıdaki denklemde  $Q_{ij}$  terimleri indirgenmiş rijitlik katsayıları olarak tanımlanır ve her bir terim şu şekilde yazılabilir.

$$Q_{11} = \frac{E_1}{1 - \nu_{21}\nu_{12}}, \quad Q_{12} = \frac{\nu_{12}E_2}{1 - \nu_{21}\nu_{12}}, \quad Q_{22} = \frac{E_2}{1 - \nu_{21}\nu_{12}}, \quad Q_{66} = G_{12} \quad (2)$$

Tek doğrultulu tabakalarda, enine doğrultudaki düşük mukavemet özellikleri ve düşük rijitlikler sebebiyle, tabakalanma genellikle sadece tek doğrultulu tabakalardan meydana gelmez. Bundan dolayı bazı tabakalar belirli açılarla tabakalanma içerisinde yer alır. Bu durumun bir sonucu olarak açılı tabakalarda gerilme-şekil değişirme ilişkisinin geliştirilmesi gerekmektedir. Açılı tabakalar için verilen koordinat sistemi Şekil 1'de görülmektedir. 1-2 koordinat sistemindeki aks, lokal aks veya malzeme aksı olarak adlandırılır. 1 doğrultusu fiberlere paraleldir ve 2 doğrultusu fiberlere diktir. x - y koordinat sistemi global aks olarak isimlendirilir. İki koordinat sistemi arasında  $\theta$  açısı bulunmaktadır ve açılı tabakalardaki global ve lokal gerilmeler bu  $\theta$  tabaka açısına bağlıdır.



Şekil 1. Açılı tabakalarda global ve lokal akslar

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (3a)$$

$$\begin{aligned} \bar{Q}_{11} &= Q_{11}c^4 + Q_{22}s^4 + 2(Q_{12} + 2Q_{66})s^2c^2 \\ \bar{Q}_{12} &= (Q_{11} + Q_{22} - 4Q_{66})s^2c^2 + Q_{12}(c^4 + s^4) \\ \bar{Q}_{22} &= Q_{11}s^4 + Q_{22}c^4 + 2(Q_{12} + 2Q_{66})s^2c^2 \\ \bar{Q}_{16} &= (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{66})c^3s - (Q_{22} - Q_{12} - 2Q_{66})s^3c \\ \bar{Q}_{26} &= (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{66})cs^3 - (Q_{22} - Q_{12} - 2Q_{66})c^3s \\ \bar{Q}_{66} &= (Q_{11} + Q_{22} - 2Q_{12} - 2Q_{66})s^2c^2 + Q_{66}(s^4 + c^4) \end{aligned} \quad (3b)$$

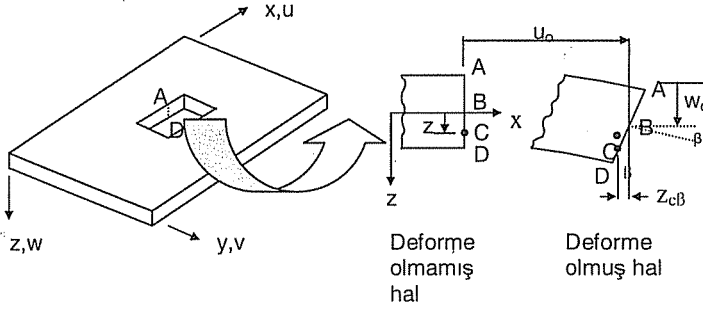
olur. Burada  $[\bar{Q}_{ij}]$  transformasyona uğramış elemanın indirgenmiş rijitlik matrisi olarak adlandırılır.

### 3.1. Bir Tabakadaki Deplasman, Gerilme ve Şekil Değiştirme Denklemleri

Bir tabakadaki, herhangi bir noktanın şekil değiştirmesine, Şekil 2’de görülen kesitin, deforme olan ve deforme olmayan geometrisine göre karar verilir. Şekil 2’deki B noktası orta düzlem üzerindedir ve x doğrultusundaki  $u_0$ ’ın B noktasındaki yaptığı deplasmanla, şekli deforme olmamış halden deforme olmuş hale dönüşür. Kirchoff hipotezindeki kabullerden dolayı ABCD şekli tabakanın deformasyonu altında doğrusal olarak kalır. Keyfi olarak seçilen bir C noktasındaki deplasman

$$u_c = u_0 - z_c \beta \quad (4)$$

olarak ifade edilir.



**Şekil 2.** x-z düzleminde deformasyon

Kirchoff hipotezinin temelinde, deformasyon altında, ABCD düzlemi orta düzleme dik olarak kalır. Bu nedenle,  $\beta$ , yani x doğrultusunda orta düzlemdeki tabaka eğimi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\beta = \frac{\partial w_0}{\partial x} \quad (5)$$

Tabaka kalınlığı boyunca herhangi bir z noktasındaki u ve v deplasmanı

$$u = u_0 - z \frac{\partial w_0}{\partial x}, \quad v = v_0 - z \frac{\partial w_0}{\partial y} \quad (6)$$

Kirchoff hipotezine göre  $\epsilon_z = \gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0$  dir.  $\epsilon_x$ ,  $\epsilon_y$  ve  $\gamma_{xy}$  ise sıfırdan farklıdır. Şekil değiştirmeler açısından deplasmanlar aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \quad (7)$$

Denklem (6), denklem (7)' de uygulanırsa birim deformasyonlar matris formunda aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \epsilon_x^0 \\ \epsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{Bmatrix} + z \begin{Bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{Bmatrix} \quad (8)$$

Tabaka kalınlığı boyunca bulunan gerilmelerin integrasyonunun sonucunda tabaka üzerindeki kuvvetler ve momentler elde edilir.

$$N_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x dz, \quad N_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y dz, \quad N_{xy} = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xy} dz \quad (9)$$

$$M_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x z dz, \quad M_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y z dz, \quad M_{xy} = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xy} z dz \quad (10)$$

Denklem (3) ve (8), denklem (9) ve (10) da yerine yazılırsa

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{Bmatrix} = \sum_{k=1}^n \left( \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix}_k \left( \int_{h_{k-1}}^{h_k} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^o \\ \varepsilon_y^o \\ \gamma_{xy}^o \end{Bmatrix} dz + \int_{h_{k-1}}^{h_k} \begin{Bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{Bmatrix} z dz \right) \right) \quad (11)$$

$$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \sum_{k=1}^n \left( \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix}_k \left( \int_{h_{k-1}}^{h_k} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^o \\ \varepsilon_y^o \\ \gamma_{xy}^o \end{Bmatrix} z dz + \int_{h_{k-1}}^{h_k} \begin{Bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{Bmatrix} z^2 dz \right) \right) \quad (12)$$

denklemleri elde edilir.

Burada,  $A_{ij} = \sum_{k=1}^n (\bar{Q}_{ij})_k (h_k - h_{k-1})$

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (\bar{Q}_{ij})_k (h_k^2 - h_{k-1}^2), \quad D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^n (\bar{Q}_{ij})_k (h_k^3 - h_{k-1}^3) \quad (13)$$

olarak kabul edilerek denklem (11) ve (12) aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^o \\ \varepsilon_y^o \\ \gamma_{xy}^o \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{Bmatrix} \quad (14)$$

$$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^o \\ \varepsilon_y^o \\ \gamma_{xy}^o \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ D_{12} & D_{22} & D_{26} \\ D_{16} & D_{26} & D_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{Bmatrix} \quad (15)$$

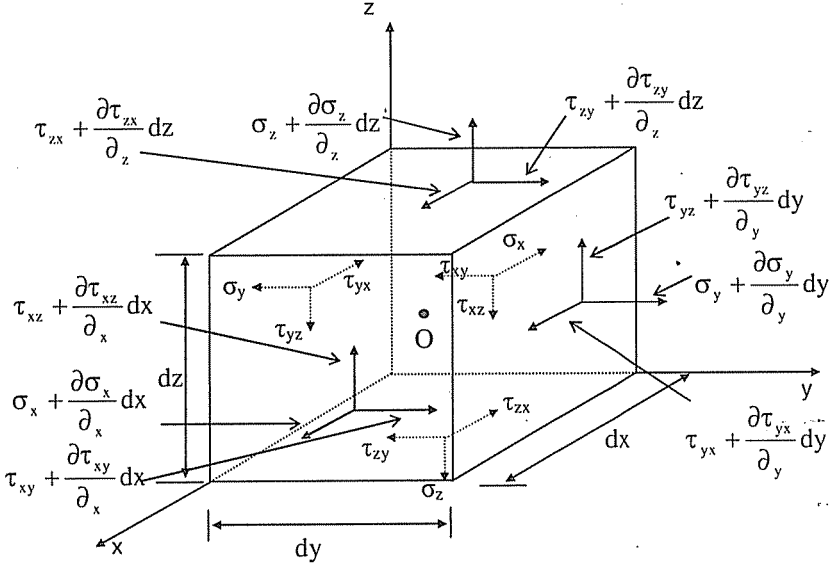
Yukarıdaki ifadelerde [A], uzama rijitlik matrisi, [B] eğilme-uzama rijitlik matrisi, [D] eğilme rijitlik matrisidir.

### 3.2. Tabakalı Kompozit Plakları İdare Eden Denge Denklemleri

Boyutları  $dx$ ,  $dy$  ve  $dz$  olan sonsuz küçük kübik bir elemanda, kuvvet ve momentlerin dengesi hesaba katılarak, bir 'O' noktası için denge denklemleri elde edilir.

Denge denklemleri yazılırken, her bir tabakanın ortotropik olduğu, plağın kalınlığının uzunluğu ve genişliğine göre çok küçük olduğu, hiç bir kütleli kuvvetin mevcut olmadığı, deplasmanların ( $u$ ,  $v$  ve  $w$ ) plak kalınlığı yanında çok küçük olduğu ve Kirchoff Hipotezi'nin geçerli olduğu varsayılmıştır.

Şekil 3'den yararlanarak  $x$ ,  $y$ , ve  $z$  doğrultularında denge denklemleri yazılabilir



**Şekil 3.**  $dx dy dz$  boyutundaki kübik elemandaki gerilmeler

$x$  doğrultusunda denge yazılarak

$$\left( \sigma_x + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} dx - \sigma_x \right) dy dz + \left( \tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dy - \tau_{yx} \right) dx dz + \left( \tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz - \tau_{zx} \right) dx dy + F_x dx dy dz = 0 \quad (16)$$

denklemleri elde edilir

Aynı işlemler  $y$  ve  $z$  doğrultuları için de yapılır. Denklemler  $dx \cdot dy \cdot dz$ 'ye bölünerek gerilmeler cinsinden aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + F_x &= 0 \\
\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + F_y &= 0 \\
\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + F_z &= 0
\end{aligned} \tag{17}$$

Yukarıdaki denklemler tüm tabakalar için integre edilir ve gerekli denge denklemleri yazılarak aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\begin{aligned}
\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{N_{xy}}{\partial y} + \bar{F}_x &= 0 \\
\frac{\partial N_y}{\partial y} + \frac{N_{xy}}{\partial x} + \bar{F}_y &= 0 \\
\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} + p + \bar{F}_z &= 0
\end{aligned} \tag{18}$$

$\bar{F}_x$ ,  $\bar{F}_y$  ve  $\bar{F}_z$ : Birim hacimdeki ortalama kütleli kuvvetlerdir. Fakat hiçbir kütleli kuvvetin mevcut olmadığı kabulünden dolayı, bu kuvvetler ihmal edilir. Denklemler aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{aligned}
N_{x,xx} + N_{xy,y} &= 0 \\
N_{xy,x} + N_{y,y} &= 0 \\
M_{x,xx} + 2M_{xy,xy} + M_{y,yy} &= -p
\end{aligned} \tag{19}$$

Yukarıdaki denklemler açık şekilde yazılırsa;

$$\begin{aligned}
A_{11}u_{,xx} + 2A_{16}u_{,xy} + A_{66}u_{,yy} + A_{16}v_{,xx} + (A_{12} + A_{66})v_{,xy} + A_{26}v_{,yy} - B_{11}w_{,xxx} \\
- 3B_{16}w_{,xxy} - (B_{12} + 2B_{66})w_{,xyy} - B_{26}w_{,yyy} &= 0 \\
A_{16}u_{,xx} + (A_{12} + A_{66})u_{,xy} + A_{26}u_{,yy} - A_{66}v_{,xx} + 2A_{26}v_{,xy} + A_{22}v_{,yy} - B_{16}w_{,xxx} \\
- (B_{12} + 2B_{66})w_{,xxy} - 3B_{26}w_{,xyy} - B_{22}w_{,yyy} &= 0 \\
D_{11}w_{,xxxx} + 4D_{16}w_{,xxxxy} + 2(D_{12} + 2D_{66})w_{,xxxyy} + 4D_{26}w_{,xyyyy} + D_{22}w_{,yyyy} \\
- B_{11}u_{,xxx} - 3B_{16}u_{,xxy} - (B_{12} + 2B_{66})u_{,xyy} - B_{26}u_{,yyy} - B_{16}v_{,xxx} \\
- (B_{12} + 2B_{66})v_{,xxy} - 3B_{26}v_{,xyy} - B_{22}v_{,yyy} &= p(x, y)
\end{aligned} \tag{20}$$

ifadeleri elde edilir. Elde edilen denklemler farklı tabakaların durumlarına göre sınır şartlarına maruz bırakılarak sınır şartlarına uygun deplasman fonksiyonunun seçimiyle çözüme ulaşılır.



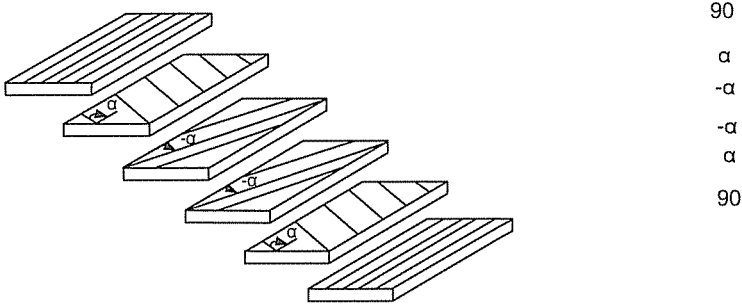
#### 4. SAYISAL ÖRNEKLER

##### ÖRNEK 1

Örnekte altı tabakalı dört kenarından basit mesnetlenmiş  $q$  üniform yayılı yüküne maruz plak göz önüne alınmıştır. Analizlerde plak kenarı  $a$  ile, plak kalınlığı  $h$  arasındaki oran değişmektedir. Her bir tabaka ortotrop olup plak malzemesi olarak Graphite/epoxy seçilmiştir. Malzeme özellikleri  $E_1=181$  GPa,  $E_2=10.3$  GPa,  $G_{12}=7.17$  GPa ve  $\nu_{12}=0.28$  dir. Bu örnekte plak farklı tabaka kalınlıklarında incelenecektir. Uygulanan her tabaka kalınlığı için plak yedi farklı açı durumu ile ele alınacak ve değerler ( $a/2$ ,  $b/2$ ) noktası için elde edilecektir (1).

Yedi farklı durum şöyledir:

Birinci durum	(90/0/0/0/90)
İkinci durum	(90/15/-15/-15/15/90)
Üçüncü durum	(90/30/-30/-30/30/90)
Dördüncü durum	(90/45/-45/-45/45/90)
Beşinci durum	(90/60/-60/-60/60/90)
Altıncı durum	(90/75/-75/-75/75/90)
Yedinci durum	(90/90/90/90/90/90)

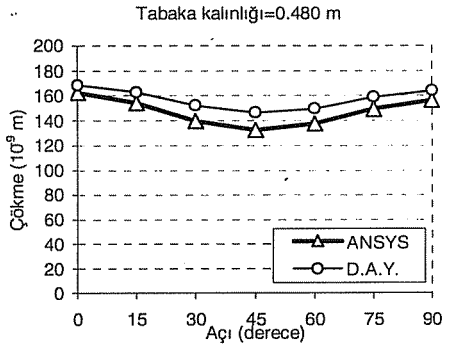
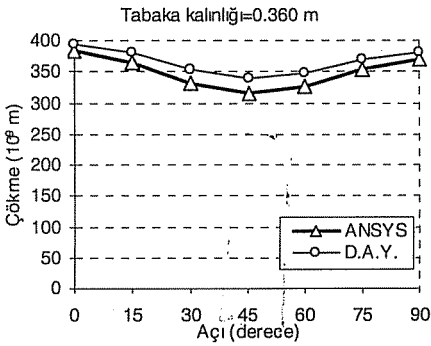
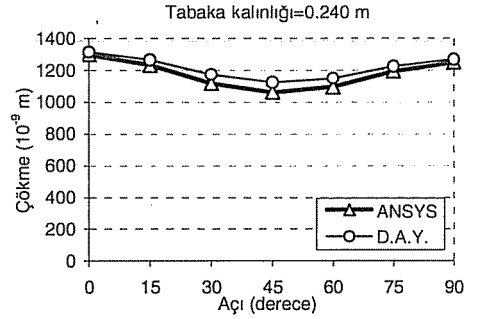
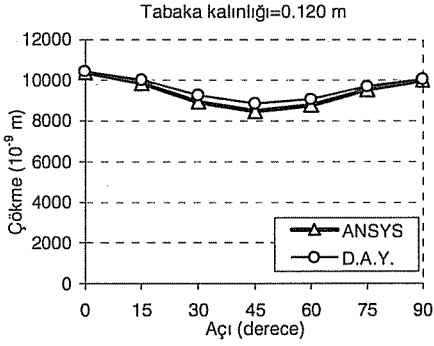


Şekil 4. Örnek 1 için tabaka dizilimi

Analizlerde plağın tabaka kalınlığı artırılırken aynı anda açı değişimi de yapılarak farklı tabaka kalınlıklarına ve farklı açılara göre sonuçlar irdelenmiştir. Tabaka kalınlığının artırılmasıyla plak, kalın plak sınıflandırmasına doğru yaklaşmakta ve ince plaklar için kullanılan kabullerin geçerliliği gitgide azaldığından sonuçlar gerçek değerlerden uzaklaşmaktadır.

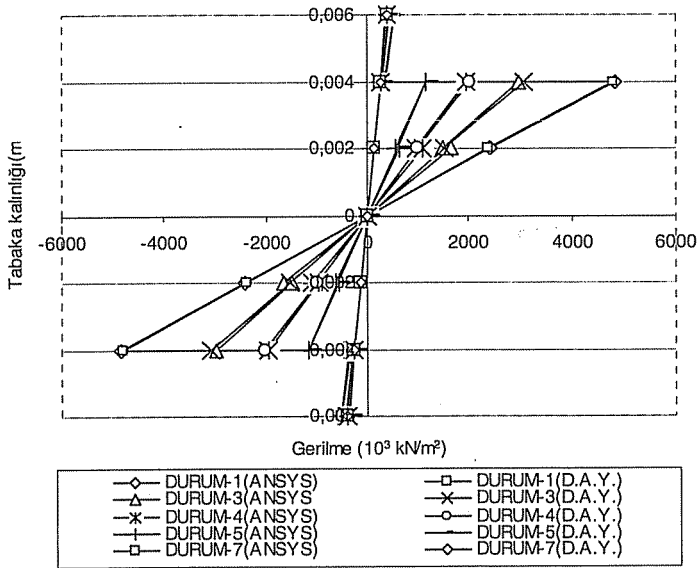
Elde edilen çökme değerleri içerisinde en büyük fark %9.62, en küçük fark %0.47 olarak elde edilmiştir. Ayrıca en büyük sapma, tabaka kalınlığının 0.480 m olduğu ve tabaka açısının  $45^\circ$  olduğu anda elde edilmiştir. (Şekil 5) Maksimum çökme  $0^\circ$  de ve minimum çökme  $45^\circ$  de meydana gelmiştir. Şekil 6-7-8 ve Şekil 9 da gerilme değerlerinin, ANSYS ve Değişkenlerine Ayırma Yöntemi (DAY) sonuçlarının yaklaşık olarak birbirleriyle örtüştüğü görülmektedir. Şekillerde görüldüğü gibi tabaka kalınlığının artmasıyla ve açının değişmesiyle maksimum gerilme değerinde azalma

meydana gelmektedir. En büyük gerilme tabaka kalınlığının en ince olduğu 0.120 m kalınlığında ve açının 0 derece olduğu durumda oluşmuştur (Şekil 6).

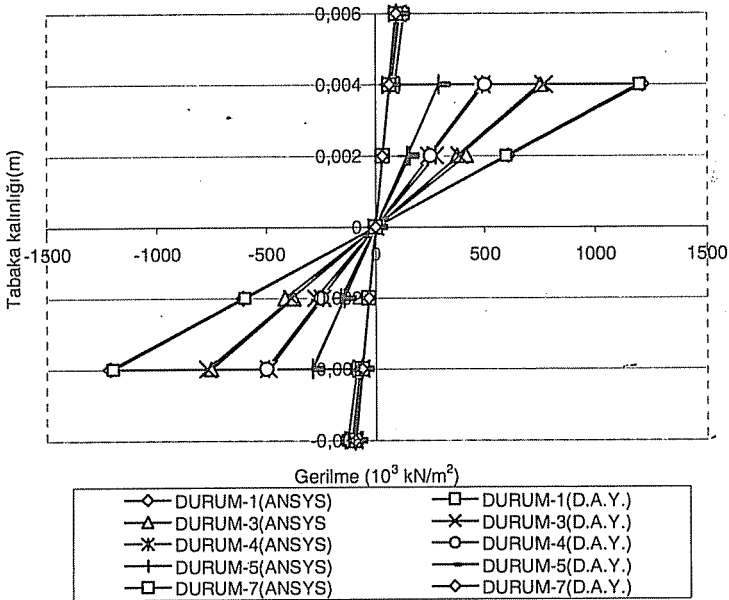


Şekil 5. Basit mesnetlenmiş simetrik plak problemi için çökme değerlerinin Karşılaştırılması

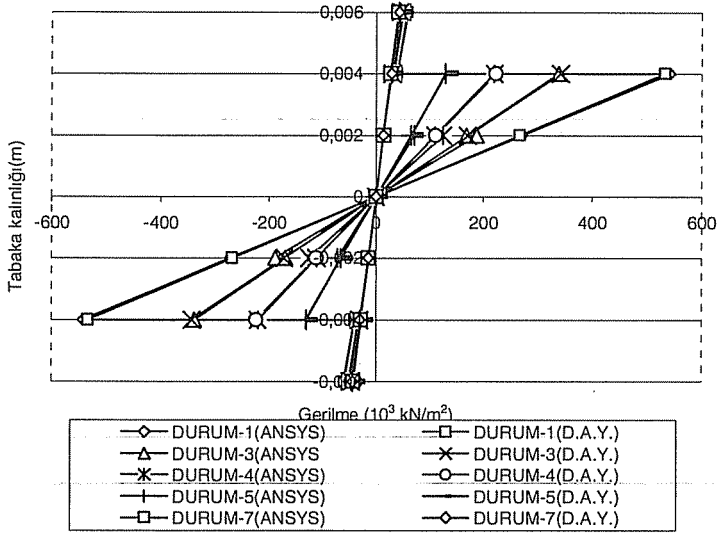
*TABAKALI KOMPOZİT İNCE PLAKLARIN PLAK DÜZLEMİNE DİK  
YÜKLEME ETKİSİ ALTINDAKİ EĞİLME ANALİZİ*



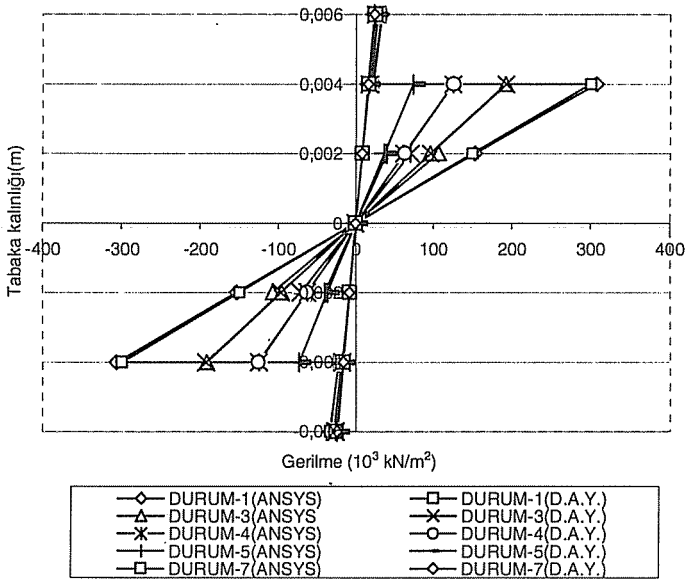
**Şekil 6.** Basit mesnetlenmiş simetrik plak problemi için  $\sigma_x$  gerilmelerinin karşılaştırılması (tabaka kalınlığı 0.120 m) (ANSYS-D.A.Y.)



**Şekil 7.** Basit mesnetlenmiş simetrik plak problemi için  $\sigma_x$  gerilmelerinin karşılaştırılması (tabaka kalınlığı 0.240 m) (ANSYS-D.A.Y.)

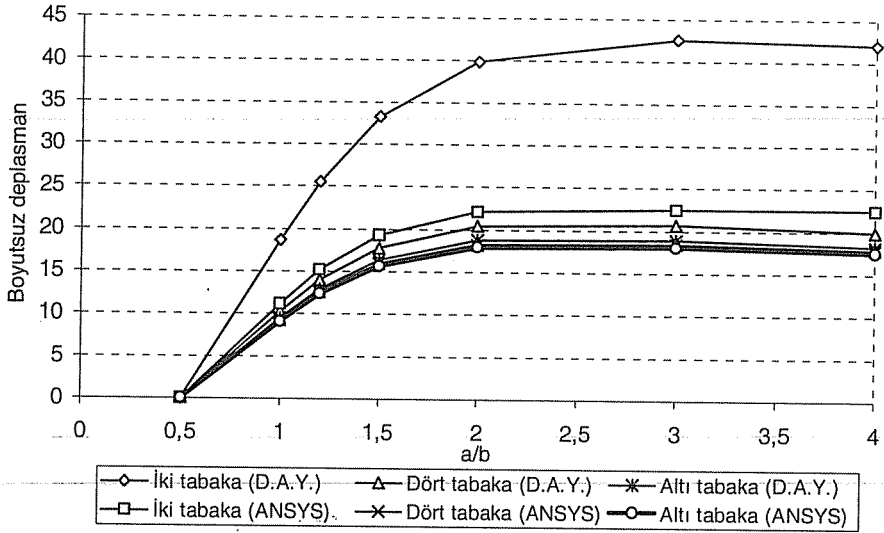


Şekil 8. Basit mesnetlenmiş simetrik plak problemi için  $\sigma_x$  gerilmelerinin karşılaştırılması (tabaka kalınlığı 0.360 m) (ANSYS-D.A.Y.)

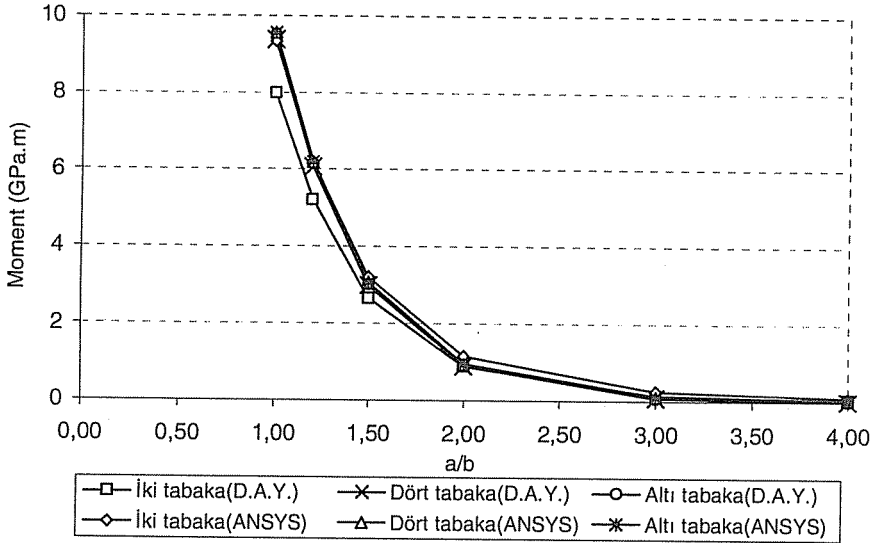


Şekil 9. Basit mesnetlenmiş simetrik plak problemi için  $\sigma_x$  gerilmelerinin karşılaştırılması (tabaka kalınlığı 0.480 m) (ANSYS-D.A.Y.)





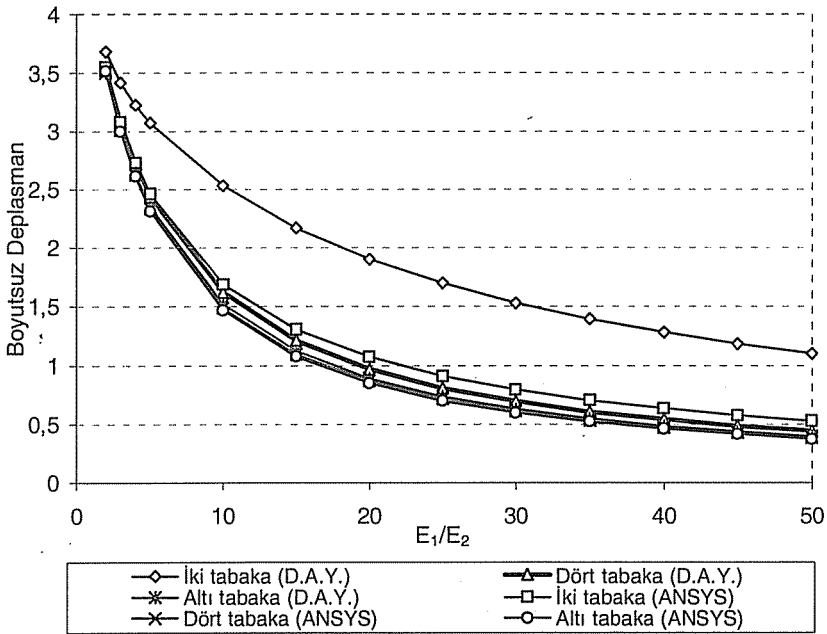
Şekil 11. Basit mesnetlenmiş antisimetrik çapraz-katlı plak probleminde tabaka sayısına ve a/b oranına göre plak orta noktasındaki çökme değerleri (ANSYS-D.A.Y.)



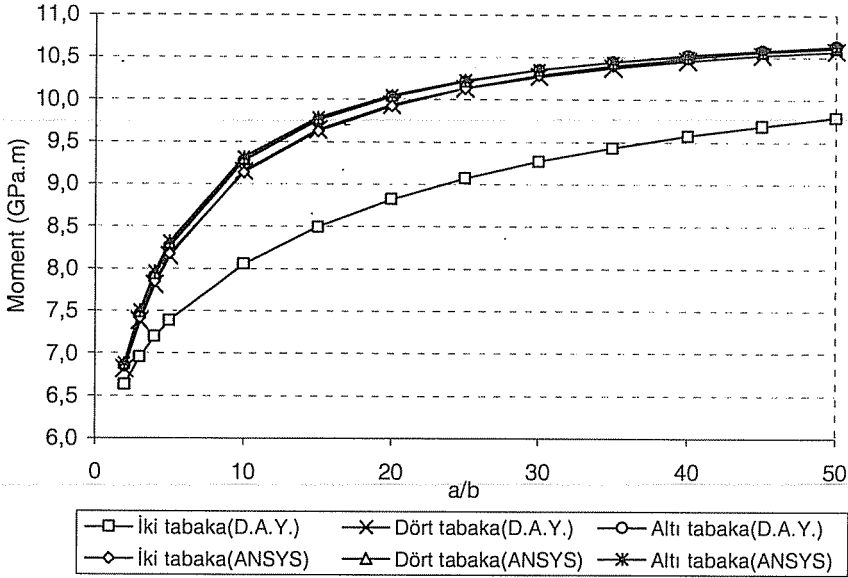
Şekil 12. Basit mesnetlenmiş antisimetrik çapraz-katlı plak probleminde tabaka sayısına ve a/b oranına göre moment değerleri (ANSYS-D.A.Y.)

İkinci olarak plak  $E_1/E_2$  oranına bağlı olarak incelenmiştir. Tabakalı kompozit malzemelerde uzama ve eğilme arasındaki girişim etkisi ile oluşan plak üzerindeki deplasmanlar, ortotropik modül olarak tarif edilen  $E_1/E_2$  oranına bağlıdır.  $E_1/E_2$  oranı yükseldikçe uzama-eğrilik arasındaki girişim etkisi artmaktadır. Örnekte  $G_{12}/E_2$  oranı ve  $\nu_{12}$  sabit olarak seçilmiştir,  $E_1/E_2$  oranı ise küçük oranlarda artırılarak karşılaştırmalar yapılmıştır.  $E_1/E_2 = 2$  iken Şekil 13'te görüldüğü gibi beklenen bir şekilde girişim etkisi çok az oluşmakta,  $E_1/E_2$  oranı yükseldikçe uzama-eğrilik arasındaki girişim etkisi de artmaktadır. Bu grafikte görüldüğü gibi iki tabakalı durumda iki yöntem birbirinden oldukça farklı sonuçlar vermekte tabaka sayısı arttıkça bu fark giderek yok olmaktadır. Şekil 14'te gösterilen grafikte ise  $E_1/E_2$  oranının artmasıyla moment değerlerinin arttığı görülmektedir. Ancak moment değerlerinde de yine tabaka sayısının artmasıyla iki yöntemle bulunan sonuçlar arasındaki fark giderek azalmaktadır.

Altı tabaka ve üzeri tabakalanmalarda, iki yöntem yaklaşık aynı sonuçları verdikleri için bu gösterim altı tabakaya kadar verilmiştir.



**Şekil 13.** Basit mesnetlenmiş antisimetrik çapraz-katlı plak probleminde tabaka sayısına ve  $E_1/E_2$  oranına göre plak orta noktasındaki çökme değerleri(ANSYS-D.A.Y.)



Şekil 14. Basit mesnetlenmiş antisimetrik çapraz-katlı plak probleminde tabaka sayısına ve  $E_1/E_2$  oranına göre moment değerleri(ANSYS-D.A.Y.)

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, literatürde bulunan sonlu elemanlar yöntemine dayalı ANSYS paket programı ve denge denklemleri ile elde edilen diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan Değişkenlerine Ayırma Yöntemi (D.A.Y) yardımıyla, ince plak teorisiyle çeşitli tipteki tabakalı plakların analizi yapılmış ve sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Analizlerde yük fonksiyonu ve deplasman fonksiyonu Fourier serisi kullanılarak  $x$  ve  $y$  değişkenlerine ayrılmıştır. Yapılan analizler sonucunda ANSYS paket programı ile elde edilen değerlerle D.A.Y ile elde edilen değerlerin bazı durumlarda birbirlerine çok yaklaştığı, bazı durumlarda da birbirlerinden önemli bir ölçüde uzaklaştığı görülmüştür. Bu farklılık, iki yöntemdeki kabullerin ve sınırlandırmaların farklılığından kaynaklanmaktadır. Ayrıca Değişkenlerine Ayırma Yönteminde bazı durumlarda değişkenler tam olarak ayrılamamakta ve seçilen deplasman fonksiyonları plağın davranışını tam olarak ifade edememektedir.

Bu çalışmadaki örneklerde izotropik olmayan tabakalı plakların analizi yapılmıştır. Bu örneklerden ilkinde anizotropik simetrik dizilimli plakların fiber açılarında değişiklik yapılarak farklı tabaka açıları için plak davranışı incelenmiştir. Bu inceleme yapılırken tabaka kalınlıkları da her durum için farklı seçilmiştir. Bunun sonucu olarak fiber açılarındaki ve tabaka kalınlıklarındaki değişimlerin plak davranışını önemli bir ölçüde etkilediği görülmüştür. Bu durum Şekil 5-6-7-8 ve 9'da görülmektedir.

İkinci örnekte de anizotropik özellikte olan ve antisimetrik tabaka dizilimine sahip tabakalı kompozit plağın iki farklı durum için analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde ilk



olarak plakların kenar uzunluklarının birbirine oranı olan  $a/b$  değeri ile tabaka sayısı artırılarak plağın davranışı incelenmiştir. Bu durumlar için çökme ve moment değerleri elde edilmiştir. Bulunan değerler Şekil 11 ve 12'de grafiklerle gösterilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi iki tabakalı durum için sonuçlar farklı çıkmasına rağmen tabaka sayısının artmasıyla sonuçlar birbirine yaklaşmaktadır. Ayrıca Şekil 12'de de  $a/b$  oranının artmasıyla moment değerlerinin birbirine yaklaştığı gözlenmektedir. Bu örnek için anizotropi olarak adlandırılan  $E1/E2$  oranının etkisi de incelenmiştir.  $E1/E2$  oranı arttıkça iki yöntem arasındaki sonuçların birbirinden uzaklaştığı görülmüştür. Diğer durumlardakine benzer olarak iki tabakalı durumda sonuçlar iki yöntem için birbirinden uzak çıkmasına rağmen tabaka sayısı arttıkça sonuçların birbirine yaklaştığı görülmektedir.

Analizler sonucu elde edilen çizelge ve şekillerin incelenmesi ile aynı malzemenin değişik fiber açıları ile tabakalandırılmasıyla farklı deplasman ve gerilmelere sahip olunabileceği ve malzeme özelliklerinde değişiklik yapılarak dizayn için gerekli şartlara sahip değişik plak tipleri meydana getirilebileceği görülmektedir. Yüksek dayanımlı, hafif ve ekonomik çözümler farklı durumlar için duruma en uygun tabakalanma şeklinin seçimi ile mümkün olmaktadır. Bu yüzden tabakalı plakların davranışının çok iyi bilinmesi gerekmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Dogan,A., "Fiber Çubuklarla Güçlendirilmiş Tabakalı Kompozit Plakların Plak Düzlemine Dik Yükleme Etkisi Altındaki Davranışı", Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.

2. Ersoy,H.Y., "Kompozit Malzeme", Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama San. Ve Tic. Ltd. Şti., 227, İstanbul, Türkiye, 2001.

3. Kaw,A.K., "Mechanics of Composite Materials", CRC Press, Boca Raton London New York Washington, D.C.,329, 1997.

4. Jones,R.M., "Mechanics of Composite Materials", Scripta Book Company, 355, Washington D.C.,1975.

5. Jones,R.M., "Mechanics of Composite Materials", Taylor&Francis, Inc. 325 Chestnut Street, PA19106, 519, Philadelphia,1999.

6. Ashton,J. E., "Anisotropik Plate Analysis – Boundary Conditions", Journal of Composite Materials, 4, 182-191, 1970.

7. Hyer,M.W., "Stress Analysis of Fiber-Reinforced Composite Materials", Mc Graw-Hill Book Comp, Virginia Polytechnic Institute and State University, 627, 1998.

8. Reddy,J.N., "A Simple Higher-Order Theory for Laminated Composite Plates", Journal of Applied Mechanics, 51,745, 1984.

9. Timoshenko,St., "Theory of Plates and Shells", New York a .London, Mc Graw-Hill Book Comp, 1940.

10. Ugural,A.C., "Stréssees in Plates and Shells", New York a .London, Mc Graw-Hill Book Comp, 317, 1981.

11. ANSYS, Theory Reference Manual and ANSYS Element Reference. <http://www.ansys.com>

12. MATHEMATICA, Wolfram Research. <http://www.wolfram.com>



**DEĞİŞKEN KESİTLİ KOMPOZİT ÇUBUKLARIN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ****Faruk Fırat ÇALIM ve Murat BİNGÖL***M.K.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay/Türkiye***Beytullah TEMEL***Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*

**ÖZET :** *Değişken kesitli kompozit çubukların serbest titreşimleri teorik olarak incelenmiştir. Değişken kesitli doğru eksenli kompozit çubukları idare eden denklemler Timoshenko çubuk teorisi kullanarak elde edilmiştir. Formülasyonda eksenel ve kayma deformasyonu etkileri göz önüne alınmıştır. Çubuk malzemesi homojen, lineer elastik ve anizotropik kabul edilmiştir. Laplace uzayında elde edilen skaler formdaki adi diferansiyel denklemler, problemin dinamik rijitlik matrisini kesin olarak hesaplamak için tamamlayıcı fonksiyonlar yöntemi yardımıyla sayısal olarak çözülmektedir. Değişken kesitli doğru eksenli kompozit çubukların serbest titreşim analizi yapılmıştır. Kesit değişim parametresi, sınır şartları ve  $E_1/E_2$  oranının serbest titreşime etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçların ANSYS sonuçları ile uyum içinde olduğu görülmüştür.*

**FREE VIBRATION ANALYSIS OF COMPOSITE RODS WITH VARIABLE CROSS-SECTION**

**ABSTRACT :** *The free vibration of composite beams with variable cross-section is theoretically investigated. The governing equations for composite straight beams with variable cross-section are obtained using Timoshenko beam theory. The effect of axial and shear deformations are considered in the formulations. The material of the rod is assumed to be homogeneous, linear elastic and anisotropic. Ordinary differential equations in scalar form obtained in the Laplace domain are solved numerically using the complementary functions method to calculate the dynamic stiffness matrix of the problem accurately. The free vibration of composite straight rods with variable cross-section are analyzed. The effects of cross-section variability parameter, boundary conditions and  $E_1/E_2$  ratio on free vibration is investigated. The results obtained in this study are found to be in good agreement with those obtained from ANSYS.*

## 1. GİRİŞ

Değişken kesitli kompozit çubuklar önemli bir mühendislik problemi olarak güncelliğini korumaktadır. Modern mühendislik yapılarında yüksek mukavemet, hafif malzeme gibi özelliklerden dolayı kompozit çubukların davranışı ile ilgili çalışmalar önem kazanmıştır.

Cranch ve Adler, üniform olmayan kirişlerin doğal frekansları için kapalı çözüm sunmuşlardır (1). Chen ve Xie, değişken kesitli kirişlerin doğal frekanslarını hesaplamak için bir sayısal yöntem önermişlerdir (2). Eisenberger ve Reich, değişken kesitli kiriş problemini analiz etmek amacı ile yaklaşık bir sonlu eleman yöntemi tanımlamışlardır (3). Jategaonkar ve Chehil ve Lee ve ark., değişken kesitli kirişlerin doğal frekanslarını araştırmışlardır (4,5). Eisenberger, değişken kesitli kirişlerin çözümü için yeni bir formülasyon sunmuşlardır (6). Nakahira ve ark., Stodola-Newmark yöntemini kullanarak değişken kesitli kirişlerin titreşimini incelemişlerdir (7). Leung ve Zhou, farklı sınır şartlarına sahip üniform olmayan Timoshenko kirişini analiz etmek için bir dinamik rijitlik yöntemi belirtmişlerdir (8). Abrate, lineer azalan kesite sahip kirişlerin dinamik davranışı için kesin çözüm sunmuştur (9). Lineer azalan kesite sahip kirişlerin serbest titreşim analizi için genel bir prosedür geliştirmiştir. Tong ve ark., değişken kesitli Timoshenko kirişinin serbest ve zorlanmış titreşim analizlerini araştırmışlardır (10). Rao ve Ganesan, değişken kesitli kompozit kirişlerin harmonik davranışını bir sonlu eleman modeli kullanarak araştırmıştır (11,12). Romano, çubuk boyunca kesiti lineer veya parabolik olarak değişen kirişler için kapalı formda çözümler sunmuştur (13). İnce, İnce ve Yıldırım, daire eksenli değişken kesitli kompozit çubukların düzlem içi ve düzlemine dik serbest titreşimini taşıma matrisi yöntemi ile teorik olarak incelemişlerdir (14,15). Çalım, değişken kesitli doğru eksenli kompozit çubukların zamanla değişen yükler altında dinamik davranışını araştırmıştır (16).

Değişken kesitli izotropik kirişlerin serbest titreşimine ait birçok çalışma olmasına rağmen, değişken kesitli anizotropik kirişlerin serbest titreşimine ait çalışmalar yeterli değildir.

Bu çalışmada değişken kesitli, doğru eksenli kompozit çubukların serbest titreşimi Laplace uzayında incelenmiştir. Timoshenko çubuk teorisi kullanılarak doğru eksenli çubukları idare eden denklemler elde edilmiştir. Formülasyonda malzeme anizotropisi, dönme ataleti, eksenel ve kayma deformasyonu etkileri göz önüne alınmıştır. Kanonik formda Laplace uzayında elde edilen adi diferansiyel denklemlere tamamlayıcı fonksiyonlar yöntemi uygulanarak problemin dinamik rijitlik matrisi hesaplanmıştır.

## 2. FORMÜLASYON

Çubuk eksenini üzerinde herhangi bir  $x$  noktasında yer değiştirme  $U^0(x, t)$  ve bu noktadaki kesitin dönmesi  $\Omega^0(x, t)$  olarak gösterilsin.  $\mathbf{T}(x, t)$  vektörü ile  $t$  anında  $x$  noktasındaki kesite etkiyen iç kuvvetlerin vektörel toplamı ve  $\mathbf{M}(x, t)$  ile bunların ağırlık merkezi olan  $G$  noktasına indirgendikleri zaman elde edilen kuvvet çifti olarak gösterilsin. Çubuk ekseninin birim boyuna etkiyen yayılı dış kuvvet  $\mathbf{p}^{ex}(x, t)$  ve moment  $\mathbf{m}^{ex}(x, t)$  olsun.

Çubuk malzemesi lineer elastik ve anizotropiktir. Kompozit uzaysal çubuğu idare eden denklemler vektörel formda elde edilmektedir (Şekil 1).

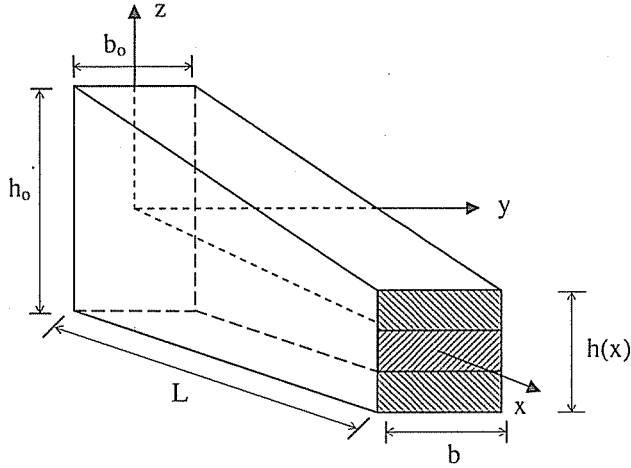
$$\frac{\partial \mathbf{U}^o}{\partial x} = \mathbf{A}'\mathbf{T} + \mathbf{B}'\mathbf{M} + \mathbf{\Omega}^o \times \mathbf{i} \quad , \quad \frac{\partial \mathbf{\Omega}^o}{\partial x} = \mathbf{F}'\mathbf{T} + \mathbf{D}'\mathbf{M} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{T}^o}{\partial x} + \mathbf{p}^{(ex)} = \mathbf{p}^{(in)} \quad , \quad \frac{\partial \mathbf{M}^o}{\partial x} + \mathbf{i} \times \mathbf{T}^o + \mathbf{m}^{(ex)} = \mathbf{m}^{(in)} \quad (2)$$

$\mathbf{p}^{in}$  kütleli atalet kuvveti ve  $\mathbf{m}^{in}$  kütleli atalet momenti ifadeleri

$$p_i^{(in)} = -\rho A \frac{\partial^2 U_i^o}{\partial t^2} \quad , \quad m_i^{(in)} = -\rho I_i \frac{\partial^2 \Omega_i^o}{\partial t^2} \quad (i = x, y, z) \quad (3)$$

olmak üzere, burada  $\rho$ , kütleli yoğunluğu göstermektedir.  $I_x$  burulma ve  $I_y, I_z$  ise eğilme atalet momentleridir.  $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{F}$  ve  $\mathbf{D}$  matrisleri çubuk kesitinin toplam esneklik sabitlerini göstermekte olup her bir tabaka malzemesinin esneklik sabitleri cinsinden elde edilmektedir.



Şekil 1. Değişken kesitli kompozit çubuk

$\mathbf{Y}(x, t)$  kolon matrisi,

$$\mathbf{Y}(x, t) = \{U_x^o, U_y^o, U_z^o, \Omega_x^o, \Omega_y^o, \Omega_z^o, T_x^o, T_y^o, T_z^o, M_x^o, M_y^o, M_z^o\}^T \quad (4)$$

olarak tanımlanmaktadır. (4) ifadesinin zamana göre Laplace dönüşümü,  $t > 0$  için  $L[\mathbf{Y}(x, t)] = \bar{\mathbf{Y}}(x, s)$  ise

$$\bar{\mathbf{Y}}(x, s) = \int_0^{\infty} \mathbf{Y}(x, t) e^{-st} dt \quad (5)$$

olup, burada Laplace dönüşüm parametresi  $s$  kompleks bir sayıdır. Bu tariflerin yardımıyla (1) ve (2) eşitlikleri birinci mertebeden 12 adet adi diferansiyel denklem haline dönüştürülmektedir. Serbest titreşim analizi için,  $p_i^{(in)} = 0$  ve  $m_i^{(in)} = 0$  ( $i = x, y, z$ ) alınmaktadır. Harmonik titreşim kabulü ile  $\mathbf{U}^o, \mathbf{\Omega}^o, \mathbf{T}^o$  ve  $\mathbf{M}^o$  vektörleri denklem (6) da verilmektedir.

$$\mathbf{U}^o(x, t) = \mathbf{U}^*(x)e^{i\omega t}, \quad \mathbf{\Omega}^o(x, t) = \mathbf{\Omega}^*(x)e^{i\omega t}, \quad \mathbf{T}^o(x, t) = \mathbf{T}^*(x)e^{i\omega t}, \quad \mathbf{M}^o(x, t) = \mathbf{M}^*(x)e^{i\omega t} \quad (6)$$

(6) ifadesi (1) ve (2) denkleminde yerine konulduğunda, birinci mertebeden 12 adet adi diferansiyel denklem takımı elde edilir. Eğer, deplasmanlar ve bunlara karşılık gelen kuvvetler,  $\mathbf{Y}^*(x)$  kolon matrisinin bileşenleri olarak düşünülürse, bu 12 adet denklem matris formunda aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\frac{d\mathbf{Y}^*(x)}{dx} = \mathbf{F}(x, \omega) \mathbf{Y}^*(x) \quad (7)$$

Sistem dinamik rijitlik matrisinin determinantını sıfır yapan  $\omega$  değerleri problemin doğal frekanslarını vermektedir.

Kesitin kayma merkezi ile ağırlık merkezinin üst üste düştüğü kabul edilmektedir. Seçilen kesitin geometri ve malzeme bakımından simetrik olduğu kabulü ile, dik koordinat takımında N adet kompozit tabakadan oluşan doğru eksenli çubukların dinamik davranışını idare eden 12 adet adi diferansiyel denklem takımı Laplace uzayında kanonik formda aşağıdaki gibi elde edilmektedir. Serbest titreşim analizi için  $s=i\omega$  alınmaktadır.

$$\frac{d\bar{U}_x}{dx} = A'_{11} \bar{T}_x \quad (8a)$$

$$\frac{d\bar{U}_y}{dx} = \Omega_z + \alpha_y A'_{22} \bar{T}_y \quad (8b)$$

$$\frac{d\bar{U}_z}{dx} = -\bar{\Omega}_y + \alpha_z A'_{33} \bar{T}_z \quad (8c)$$

$$\frac{d\bar{\Omega}_x}{dx} = D'_{11} \bar{M}_x \quad (8d)$$

$$\frac{d\bar{\Omega}_y}{dx} = D'_{22} \bar{M}_y \quad (8e)$$

$$\frac{d\bar{\Omega}_z}{dx} = D'_{33} \bar{M}_z \quad (8f)$$

$$\frac{d\bar{T}_x}{dx} = s^2 \bar{A} \bar{U}_x \quad (8g)$$

$$\frac{d\bar{T}_y}{dx} = s^2 \bar{A} \bar{U}_y \quad (8h)$$

$$\frac{d\bar{T}_z}{dx} = s^2 \bar{A} \bar{U}_z \quad (8i)$$

$$\frac{d\bar{M}_x}{dx} = s^2 \tilde{I}_x \bar{\Omega}_x \quad (8j)$$

$$\frac{d\bar{M}_y}{dx} = s^2 \tilde{I}_y \bar{\Omega}_y + \bar{T}_z \quad (8k)$$

$$\frac{d\bar{M}_z}{dx} = s^2 \tilde{I}_z \bar{\Omega}_z - \bar{T}_y \quad (8l)$$

$$\tilde{A} = \sum_{k=1}^N \rho^{(k)} A^{(k)}, \quad \tilde{I}_2 = \sum_{k=1}^N \rho^{(k)} \int_{A^{(k)}} (x_3)^2 dA, \quad \tilde{I}_3 = \sum_{k=1}^N \rho^{(k)} \int_{A^{(k)}} (x_2)^2 dA \quad (9)$$

### 3. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu çalışmada anizotropik malzemeden yapılmış değişken kesitli kirişlerin serbest titreşimini analiz etmek için Fortran dilinde bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Tamamlayıcı fonksiyonlar yöntemine dayalı başlangıç değer probleminin çözümü için beşinci mertebeye Runge-Kutta algoritması kullanılmıştır.

Bu bölümde, çeşitli örnekler sunulmuştur. Geliştirilen bilgisayar programı ile değişken kesitli doğru eksenli kompozit kirişlerin serbest titreşim analizleri yapılmıştır. Aynı zamanda bu frekanslar, sonlu elemanlar yöntemine dayalı ANSYS programı ile de karşılaştırılmıştır. Değişken kesitli kompozit çubukların serbest titreşimini etkileyen faktörler incelenmiştir. Değişken kesitli kompozit çubuklar için, sınır şartları ve kesit değişim parametreleri ve  $E_1/E_2$  oranının serbest titreşim frekansına etkisi araştırılmıştır.

Kompozit kirişler için iki tip değişken kesit ele alınmıştır. Bunlar, kesit yüksekliği lineer azalan ve kesit genişliği exponansiyel azalan kirişler kullanılmıştır.  $b_0$  ve  $h_0$  eleman başlangıcındaki kesit genişliği ve kesit yüksekliği olmak üzere kesit yüksekliği veya kesit genişliği eleman boyunca azalmaktadır. Bu durumda kesit alanı,  $A(x)$ , ve atalet momenti,  $I(x)$ , çubuk elemanı boyunca kesit yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir. Çubuk boyunca kesit yüksekliğinin değişim fonksiyonu aşağıdaki ifade yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$h(x) = h_0 [1 - \beta(x/L)] \quad (\text{Kesit yüksekliği lineer azalan}) \quad (10)$$

$$b(x) = b_0 e^{\beta(1-x/L)} \quad (\text{Kesit genişliği exponansiyel azalan}) \quad (11)$$

Burada,  $h_0$  ve  $b_0$  başlangıçtaki kesit yüksekliği ve kesit genişliği,  $\beta$  kesit değişim parametresi,  $x$  çubuk üzerindeki herhangi bir nokta ve  $L$  ise çubuk uzunluğunu göstermektedir. Tüm problemlerde kullanılan malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmektedir. Ayrıca problemlerde, çubuk uzunluğu  $L = 0.381$  m olup  $L/h = 15$  olarak alınmıştır. Örneklerde, ankastre-ankastre (AA), sabit-sabit (SS) ve ankastre-boş (AB) sınır şartları kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Enine izotrop malzeme özellikleri

	$E_1$ (N/m <sup>2</sup> )	$E_2=E_3$ (N/m <sup>2</sup> )	$G_{12}=G_{13}$ (N/m <sup>2</sup> )	$G_{23}$ (N/m <sup>2</sup> )	$\nu_{12}$	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
Carbon epoxy (AS4/3501-6)	144.8x10 <sup>9</sup>	9.65x10 <sup>9</sup>	4.14x10 <sup>9</sup>	3.45x10 <sup>9</sup>	0.3	1389.23

### 3.1. Kesit Değişim Parametresinin Dinamik Davranışa Etkisi

Farklı sınır şartlarına sahip değişken kesitli, tek eksenli kompozit kiriş (0°) problemi ele alınmıştır. Malzeme özellikleri Tablo 1’de verilmektedir. Elde edilen düzlemine dik serbest titreşim frekansları tabloda verilmektedir.

Tablo 2-3 incelendiğinde, bu çalışmada elde edilen temel frekanslar ile ANSYS sonuçlarının uyumlu oldukları görülmektedir. Ayrıca, ankastre-ankastre (AA), sabit-sabit (SS) mesnetlenme koşullarında kesit değişim parametresi ( $\beta$ ) artarken serbest titreşim frekansları azalmaktadır. Ancak, ankastre-boş (AB) sınır koşulunda ise kesit değişim parametresi ( $\beta$ ) artarken serbest titreşim frekansları artmaktadır.

**Tablo 2.** Farklı sınır şartlarına sahip kesit yüksekliği lineer azalan (kesit genişliği sabit) kompozit kirişe ait temel frekanslar (Hz)

Sınır Şartları		$\beta=0$ (Üniform)	$\beta=0.25$	$\beta=0.5$	$\beta=0.75$
AB	Bu çalışma	278.43	288.52	304.04	332.79
	ANSYS	278.43	288.52	304.04	332.79
AA	Bu çalışma	1376.46	1267.57	1125.86	928.81
	ANSYS	1376.51	1267.59	1125.89	928.93
SS	Bu çalışma	753.22	665.36	560.88	427.28
	ANSYS	753.22	665.36	560.88	427.27

**Tablo 3.** Farklı sınır şartlarına sahip kesit genişliği exponansiyel azalan (kesit yüksekliği sabit) kompozit kirişe ait temel frekanslar (Hz)

Sınır Şartları		$\beta=0$ (Üniform)	$\beta=1$	$\beta=2$
AB	Bu çalışma	278.43	371.88	486.84
	ANSYS	278.43	371.88	486.83
AA	Bu çalışma	1376.46	1383.59	1406.07
	ANSYS	1376.49	1383.61	1406.09
SS	Bu çalışma	753.22	744.04	717.09
	ANSYS	753.22	744.05	717.10



### 3.2. $E_1/E_2$ Oranının Dinamik Davranışa Etkisi

Farklı sınır şartları ve  $E_1/E_2$  oranlarına sahip değişken kesitli, tek eksenli kompozit kiriş ( $0^\circ$ ) problemi ele alınmıştır. Malzeme sabitleri: elastisite modülleri  $E_1 = 144.8 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup>, kayma modülleri  $G_{12} = G_{13} = 0.6 E_2$ ,  $G_{23} = 0.5 E_2$ ,  $\nu_{12} = 0.25$  ve  $\rho = 1389.23$  kg/m<sup>3</sup> olarak seçilmiştir. Tablo 4 ve 5 incelendiğinde, elde edilen sonuçların ANSYS sonuçları ile uyumlu oldukları gözlenmektedir. Tüm sınır şartlarında  $E_1/E_2$  oranı arttıkça serbest titreşim frekansları azalmaktadır.

**Tablo 4.** Farklı sınır şartları ve farklı  $E_1/E_2$  oranlarına sahip kesit yüksekliği lineer azalan (kesit genişliği sabit) kompozit kirişe ait temel frekanslar (Hz)

Sınır şartları		E1/E2=1	E1/E2=10	E1/E2=20	E1/E2=30	E1/E2=40	E1/E2=50		
Ankastre - Ankastre (AA)	$\beta=0$	Bu çalışma	1799.69	1567.61	1390.86	1262.48	1163.92	1085.32	
		ANSYS	1799.70	1567.60	1390.90	1262.50	1163.90	1085.30	
	$\beta=0.25$	Bu çalışma	1574.72	1412.07	1278.79	1176.87	1095.79	1029.40	
		ANSYS	1574.70	1412.10	1278.80	1176.90	1095.80	1029.40	
	$\beta=0.50$	Bu çalışma	1326.14	1224.08	1133.75	1060.50	999.64	948.11	
		ANSYS	1326.40	1224.10	1133.80	1060.50	999.67	948.15	
	$\beta=0.75$	Bu çalışma	1034.34	982.82	933.31	890.31	852.56	819.15	
		ANSYS	1034.50	982.95	933.43	890.42	852.67	819.24	
	Sabit-Sabit (SS)	$\beta=0$	Bu çalışma	805.60	780.73	755.57	732.68	711.76	692.54
			ANSYS	805.65	780.73	755.57	732.69	711.76	692.55
		$\beta=0.25$	Bu çalışma	701.04	684.28	666.99	650.95	636.00	622.06
			ANSYS	701.04	684.28	666.99	650.95	636.01	622.07
$\beta=0.50$		Bu çalışma	582.70	572.57	561.90	551.81	542.24	533.16	
		ANSYS	582.70	572.56	561.90	551.80	542.24	533.16	
$\beta=0.75$		Bu çalışma	438.09	433.14	427.80	422.66	417.69	412.90	
		ANSYS	438.09	433.12	427.78	422.64	417.68	412.89	
Ankastre -Boş (AB)		$\beta=0$	Bu çalışma	287.84	283.49	278.88	274.46	270.23	266.18
			ANSYS	287.84	283.49	278.88	274.46	270.23	266.18
		$\beta=0.25$	Bu çalışma	297.76	293.50	288.96	284.60	280.41	276.40
			ANSYS	297.76	293.50	288.95	284.59	280.41	276.40
	$\beta=0.50$	Bu çalışma	313.20	308.99	304.48	300.14	295.96	291.94	
		ANSYS	313.20	308.98	304.47	300.13	295.96	291.94	
	$\beta=0.75$	Bu çalışma	342.18	337.87	333.24	328.77	324.46	320.29	
		ANSYS	342.17	337.86	333.24	328.77	324.45	320.29	

**Tablo 5.** Farklı sınır şartları ve farklı  $E_1/E_2$  oranlarına sahip kesit genişliği eksponansiyel azalan (kesit yüksekliği sabit) kompozit kirişe ait temel frekanslar (Hz)

Sınır şartları			$E_1/E_2=1$	$E_1/E_2=10$	$E_1/E_2=20$	$E_1/E_2=30$	$E_1/E_2=40$	$E_1/E_2=50$
Ankastre-Ankastre (AA)	$\beta=0$	Bu çalışma	1799.69	1567.61	1390.86	1262.48	1163.92	1085.11
		ANSYS	1799.70	1567.63	1390.89	1262.51	1163.95	1085.34
	$\beta=1$	Bu çalışma	1810.52	1576.00	1398.06	1269.12	1170.27	1091.30
		ANSYS	1810.51	1576.02	1398.09	1269.15	1170.30	1091.54
	$\beta=2$	Bu çalışma	1843.89	1602.18	1420.76	1290.17	1190.45	1110.97
		ANSYS	1843.90	1602.20	1420.78	1290.20	1190.49	1111.20
Sabit-Sabit (SS)	$\beta=0$	Bu çalışma	805.65	780.73	755.57	732.68	711.76	692.54
		ANSYS	805.65	780.73	755.57	732.69	711.76	692.55
	$\beta=1$	Bu çalışma	797.61	772.10	746.44	723.16	701.92	682.47
		ANSYS	797.61	772.11	746.44	723.16	701.93	682.47
	$\beta=2$	Bu çalışma	773.85	746.69	719.60	695.25	673.19	653.12
		ANSYS	773.85	746.69	719.61	695.25	673.20	653.13
Ankastre-Boş (AB)	$\beta=0$	Bu çalışma	287.84	283.49	278.86	274.46	270.23	266.16
		ANSYS	287.84	283.50	278.88	274.46	270.23	266.18
	$\beta=1$	Bu çalışma	387.38	380.19	372.61	365.43	358.63	352.16
		ANSYS	387.38	380.18	372.61	365.43	358.63	352.18
	$\beta=2$	Bu çalışma	511.97	500.21	487.99	476.58	465.88	455.82
		ANSYS	511.97	500.21	487.99	476.57	468.88	455.84

#### 4. SONUÇLAR

Kompozit malzemeden yapılmış değişken kesitli doğru eksenli çubukların serbest titreşimleri araştırılmıştır. Laplace uzayında kanonik formda elde edilen adi diferansiyel denklemlere tamamlayıcı fonksiyonlar yöntemi uygulanarak problemin dinamik rijitlik matrisi hesaplanmıştır. Formülasyonda dönme ataleti, eksenel ve kayma deformasyonu etkileri de göz önüne alınmıştır.

Farklı sınır şartlarına sahip ve kesiti lineer ve eksponansiyel olarak azalan kompozit kiriş problemi göz önüne alınmıştır. Değişken kesitli doğru eksenli kompozit çubukların serbest titreşim frekanslarını etkileyen faktörler incelenmiştir. Problemlerde sınır şartları,  $E_1/E_2$  oranı ve kesit değişim parametresinin ( $\beta$ ) serbest titreşim frekanslarına etkileri ayrıntılı bir şekilde araştırılmıştır. Mesnetlenme şartına bağlı olarak serbest titreşim frekansları etkilenmektedir. Bütün sınır şartlarında kesit değişim parametresi ( $\beta$ ) ve  $E_1/E_2$  oranı arttıkça serbest titreşim frekansları azalmaktadır. Ayrıca kesit değişim parametresi arttıkça serbest titreşim frekansları da azalmaktadır.

#### 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TUBİTAK tarafından desteklenmektedir. (Proje No: 107M640)

**6. KAYNAKLAR**

1. Cranch, E.T. and Adler, A.A., "Bending Vibration of Variable Section Beams" *Journal of Applied Mechanics, American Society Mechanical Engineers*, 23(1), 103-108, 1956.
2. Chen, Y.Z. and Xie, J.R., "Evaluation of Natural Frequencies of Non-Uniform Beams by Numerical Integration", *Computers & Structures*, 29(4), 693-697, 1985.
3. Eisenberger, M. and Reich, Y., "Static, Vibration and Stability Analysis of Non-Uniform Beams", *Computers & Structures*, 31(4), 567-573, 1989.
4. Jategaonkar, R. and Chehil, D.S., "Natural Frequencies of a Beam with Varying Section Properties", *Journal of Sound and Vibration*, 133(2), 303-322, 1989.
5. Lee, S.Y., Ke, H.Y. and Kuo, Y.H., "Analysis of Non-Uniform Beam Vibration", *Journal of Sound and Vibration*, 142(1), 15-29, 1990.
6. Eisenberger, M., "Exact Solution for General Variable Cross-Section Members", *Computers & Structures*, 41(4), 765-772, 1991.
7. Nakahira, N., Ozawa, K. and Mizusawa, T., "Vibration of Beams with Varying Cross-Sections by the Stodola-Newmark Method", *Computers & Structures*, 43(5), 999-1004, 1992.
8. Leung, A.Y.T. and Zhou, W.E., "Dynamic Stiffness Analysis of Non-Uniform Timoshenko Beams", *Journal of Sound and Vibration*, 181(3), 447-456, 1995.
9. Abrate, S., "Vibration of Non-Uniform Rods and Beams", *Journal of Sound and Vibration*, 185(4), 703-716, 1995.
10. Tong, X., Tabarrok, B. and Yeh, K.Y., "Vibration Analysis of Timoshenko Beams with Non-Homogeneity and Varying Cross-Section", *Journal of Sound and Vibration*, 186(5), 821-835, 1995.
11. Rao, S.R. and Ganesan, N., "Dynamic Response of Tapered Composite Beams using Higher Order Shear Deformation Theory", *Journal of Sound and Vibration*, 187(5), 737-756, 1995.
12. Rao, S.R. and Ganesan, N., "Dynamic Response of Non-Uniform Composite Beams", *Journal of Sound and Vibration*, 200(5), 563-577, 1997.
13. Romano, F., "Deflections of Timoshenko Beam with Varying Cross-Section", *International Journal of Mechanical Sciences*, 38(8-9), 1017-1035, 1996.
14. İnce, N., "Düzlemsel Eğri Eksenli ve Değişken Kesitli Tabakalı Kompozit Çubukların Düzlem İçi ve Düzlemine Dik Serbest Titreşiminin Sayısal Analizi", ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 2000.
15. İnce, N. ve Yıldırım, V., "Çember Eksenli, Değişken Kesitli Tabakalı Kompozit Çubukların Düzlem İçi ve Düzlemine Dik Serbest Titreşimi", XIV. Ulusal Mekanik Kongresi, 469-480, Hatay, 12-16 Eylül 2005.
16. Çalım, F.F., "Free and Forced Vibrations of Non-Uniform Composite Beams", *Composite Structures* (in press, 2009).
17. ANSYS Swanson Analysis System, Inc., 201 Johnson Road, Houston, PA 15342-1300, U.S.A.



## BETON YOLLARDA KARIŞIM İNCELİK MODÜLÜNÜN SÜRTÜNME KAYBINA ETKİSİ

**Orhan KARPUZ**

*A.S.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aksaray/Türkiye*

**Muhammet Vefa AKPINAR**

*K.T.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon/Türkiye*

**Tuba SERT**

*K.T.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon/Türkiye*

**Murat ÖRNEK**

*Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*

**ÖZET :** *Bu çalışmada, beton yol karışımlarında, ince agreganın incelik modülüne bağlı olarak, beton yol yüzeyi sürtünme katsayısının kaybı araştırılmıştır. Üç farklı incelik modülünde (2.2, 2.7 ve 3.15) üç beton karışımı hazırlanmıştır. Üst yüzeyi pürüzlendirilmiş beton numuneleri aşındırmak için, lastik tekerleğin sabit düşey ve yatay yük uyguladığı bir düzenek kullanılmıştır. 0, 1.000, 5.000, 25.000 ve 100.000 tekerlek geçiş sayılarında, beton numunelerin yüzey sürtünme katsayıları İngiliz sürtünme pandülü ile ölçülmüştür. Test sonuçlarına göre, incelik modülü ile sürtünme kaybı arasında kuvvetli bir ilişki ortaya çıkmamıştır.*

## THE EFFECT OF CONCRETE PAVEMENT FINNESS MODULUS ON FRICTION LOSS

**ABSTRACT :** *In this study, the friction loss of concrete roads depending on the finess modulus was investigated. The three main mixes were prepared according to three types of finess modulus (2.2, 2.7, 3.15). A special designed abrasion test setup consisted of tire applying a constant lateral and vertical load on a textured concrete surface has used. The friction coefficient of concrete surfaces were measured with British friction pandul under 0, 1000, 5000, 25000, and 100000 tire passes. The test results showed that there is no strong relationship between fine aggregate fineness modulus and friction loss.*

## 1. GİRİŞ

Beton yollar bir asırdan fazladır Avrupa ve Amerika'da başarıyla kullanılıyor. Ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu güzergâhlar başta olmak üzere otobanlarda önemli oranda beton kaplama tercih ediliyor. Ülkemizde liman sahalarımız ve hava alanı pistlerimizin çoğu betonla kaplanmasına rağmen birinci derecedeki karayollarımızda ilk olarak 2004 de Afyon'da 2 km lik deneme yolu yapıldı. Karayolları teşkilatımızda, her yıl büyük meblağlarda harcamalarla onarım ve yenilemesi yapılan asfalt kaplamalara alternatif olarak yıllarca bakım ve onarım gerektirmeyen beton yollara ağırlık verilmesi gerektiği düşüncesi ağırlık kazanmaktadır. Beton yolların üstün olan özelliklerinden biri de yağışlı havalarda sürtünme katsayılarının asfalta göre daha fazla olmasıdır (1,2). Bilindiği gibi araçların karayolu üzerinde yeterli seyir güvenliğine sahip olmasında yol yüzeyinin sürtünme katsayısı en etkili faktördür. Sürtünme katsayısının büyüklüğünü oluşturan, yüzeyin makro ve mikro dokusudur. Beton yollara makro doku, taze ya da sert beton yüzeyinin çeşitli yöntemlerle şekillendirilmesiyle kazandırılır. Mikro doku ise beton karışımı içindeki agrega danelerinin özellikleriyle ilgilidir. Beton yollarda iri agrega danelerinden ziyade bunların arasını dolduran ince agrega daneleri ve çimentodan oluşan hamur fazı yüzeyde hem makro doku ve hem de mikro doku olarak daha büyük bir alan kaplamaktadır. Dolayısıyla ince agrega özellikleri sürtünme katsayısı üzerinde daha fazla etkiye sahip olmaktadır (1-3). Literatürde agrega gradasyonunun betonun fiziksel özellikleri açısından belirli sınırlar içinde olması gerektiği belirtilmişse de bunun sürtünme katsayısı ile olan ilişkisi konusunda yeterli araştırma mevcut değildir. Bu çalışmada diğer bileşenler ve oranlar sabit olmak üzere, ince agrega kısmının üç farklı incelik modülüne sahip olduğu gradasyonlarda üç farklı beton karışım hazırlanmış, araç trafiğinin aşındırma etkisindeki yakını bir şekilde aşınmaya maruz bırakılmış ve ara ara ölçümlerle sürtünme katsayısındaki değişim incelenmiştir.

## 2. DENEYSEL YÖNTEM

### 2.1. Malzemeler

Çalışmada mineral agrega olarak yaygınlıkla kullanılan ve başlıca yol inşaat malzemesi olan kalker kökenli agrega, Trabzon ili Zigana dağı taş ocağından temin edilmiştir. Beton karışımlarda Aşkale Trabzon Çimento Fabrikası üretimi olan PÇ 42,5 normal portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun analiz sonuçları Tablo 2.1'de verilmiştir.

Agremanın yapılan petrografik incelemesinde; sparit çimentolu, içinde fosil parçaları ve kalsit damarcıkları bulunan biyosparit olduğu anlaşılmıştır.

Karışımlarda kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş (Çizelge 1); kaba ve ince agrega üzerinde birim hacim ağırlıkları, su absorpsiyonu ve Los Angeles aşınma kaybı deneyleri yapılmış ve sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

KGM teknik şartnamelerinde yol aşınma tabakaları için Los Angeles aşınma yüzdesi sınırı % 35 olarak belirtilmektedir (4). Dolayısıyla çalışma kapsamında kullanılan agregalar, beton yol yüzeyi için uygundur. Agrega gradasyonu için sınırlar ve karışımların değerleri Çizelge 3'de verilmiş ve gradasyon eğrileri Şekil 1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.** PÇ 42,5 normal portland çimentosunun fiziksel ve kimyasal özellikleri

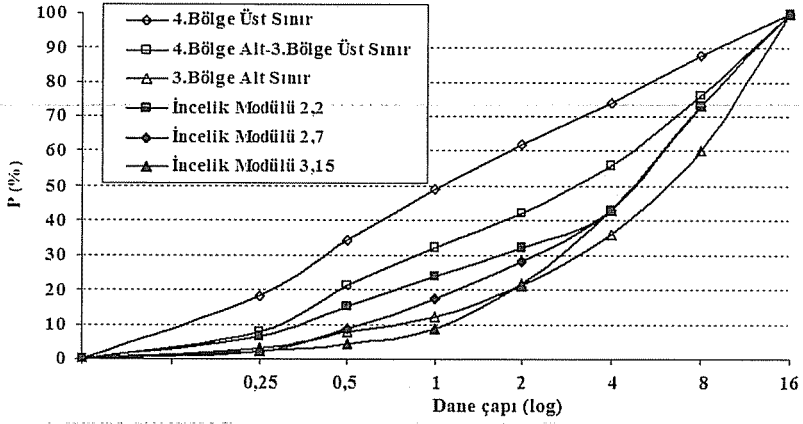
Fiziksel ve mekanik özellikler		Kimyasal analiz (%)	
Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3.15	SiO <sub>2</sub>	20.06
Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3410.0	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.16
200 mikron elek üzerinde kalan (%)	0.1	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.16
90 mikron elek üzerinde kalan (%)	3.1	CaO	62.43
Basınç mukavemeti (MPa), 2 gün	24.5	MgO	2.82
7 gün	42.0	SO <sub>3</sub>	2.32
28 gün	44.4	K <sub>2</sub> O	0.6
		TiO <sub>2</sub>	0.2
		Na <sub>2</sub> O	0.36
		Sülfür	0.17
		Klor	0.04
		Kızdırma kaybı	1.55
		Çözünmeyen kalıntı	1.05

**Çizelge 2.** Kaba ve ince agreganın özellikleri

Özellikler	Standartlar	Kalker	
		Kaba	İnce
Kuru Birim Hacim Ağırlığı, gr/cm <sup>3</sup>	ASTM C-127	2.70	2.57
DKY Birim Hacim Ağırlığı, gr/cm <sup>3</sup>	ASTM C-128	2.72	2.63
Doğal Birim Hacim Ağırlığı, gr/cm <sup>3</sup>	ASTM C-127	2.702	2.58
Su absorpsiyonu, (%)		0.74	2.33
Doğal Su Oranı, (%)		0.1	0.4
Aşınma kaybı, (%) (Los Angeles)	ASTM C-131	28.5	33.1

**Çizelge 3.** Agregada karışımlarının gradasyonları

Elek Açıklığı (mm)	Şartname Sınırları (TS 706)				Kullanılan		
	% Geçen				% Geçen		
	4. Bölge		3. Bölge		A	B	C
	Üst	Alt	Üst	Alt			
16	100	100	100	100	100	100	
8	88	76	60	73	73	73	
4	74	56	36	41.7	41.7	41.7	
2	62	42	21	31.27	27.10	20.85	
1	49	32	12	22.93	16.68	8.34	
0.5	34	21	8	14.60	8.34	4.17	
0.25	18	8	3	6.25	2.09	2.09	
Tava	0	0	0	0	0	0	
İncelik Modülü				2.2	2.7	3.15	



Şekil 1. Beton agregası referans eğrileri ve karışımların granülometreleri

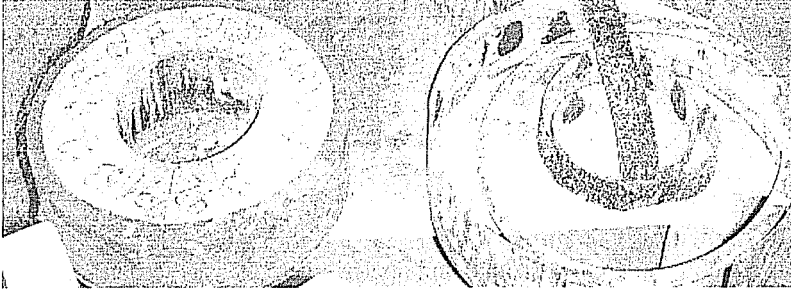
Agreganın hacimce %57 si kaba agregaya, %43 ü ince agregaya olarak belirlenmiştir. Sabit su/çimento oranı, çimento dozajı, kaba agregaya, ince agregaya ve hava miktarı (%2) dikkate alınarak hacim hesabına göre karışımdaki malzeme miktarları tespit edilmiştir (Çizelge 4) ve belirtilen miktarlarda malzemeler alınarak karışımlar oluşturulmuştur. Karışımlarda normal içme suyu ve Sikament R4 süper akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır.

Çizelge 4. Karışımlarda kullanılan malzeme miktarları (1 m<sup>3</sup>)

İncelik modülü	Karışım No	Çimento (kg)	S/Ç oranı	Su (kg)	Akışkanlaştırıcı (kg)	Kaba Agregaya (kg)	İnce Agregaya (kg)	Slump (cm)
2.2	K1	400	0.40	183	4	1064.48	765.21	2.5
2.7	K2	400	0.40	183	4	1064.48	765.21	3
3.15	K3	400	0.40	183	4	1064.48	765.21	5

Yukarıdaki bilgilere göre karışımı yapıp basınç ve aşınma deneyleri için ilgili kalıplara yerleştirilen beton numuneler, bir gün sonra kalıplardan çıkartılarak 20°C deki su içinde 28 gün bekletilmişlerdir. Aşınma deneyinde kullanılacak beton numuneler için yapılmış olan kalıpların iç yüzeylerine, piyasadaki en kalın daneli-kum yama yöntemiyle belirlenen ortalama makro doku derinliği 0.8 mm olan rulo bez zımpara kağıdı şerit halinde yapıştırılmıştır. Karışım harçlarının aşındırma deneyi kalıbına yerleştirilmesinden bir gün sonra kalıp açıldığında (Şekil 2) ortaya pürüzlü bir yüzey çıkmıştır (Şekil 3).





Şekil 2. Aşınma deneyi beton numunelerinin kalıptaki hali



Şekil 3. Beton numune yüzeyinin yan kesitten görüntüsü

Beton numunenin yan kesitinden de (Şekil 3) görüleceği üzere yüzeydeki birkaç milimetrelik kısımda, iri agregadan daha çok ince agregaları içeren çimento hamuru bulunmaktadır. Dolayısıyla aşırı buzlanmadan dolayı sürekli çivili araç tekerlerinin kullanıldığı kutba yakın bölgelerin dışında kalan ılıman ve sıcak kuşaktaki bölgelerde, ince agreganın fiziksel özelliklerinin beton yol yüzeyinin sürtünme katsayısına önemli bir etki yapacağı açıktır.

## 2.2. Deneyler

### 2.2.1. Basınç Dayanımı Deneyi

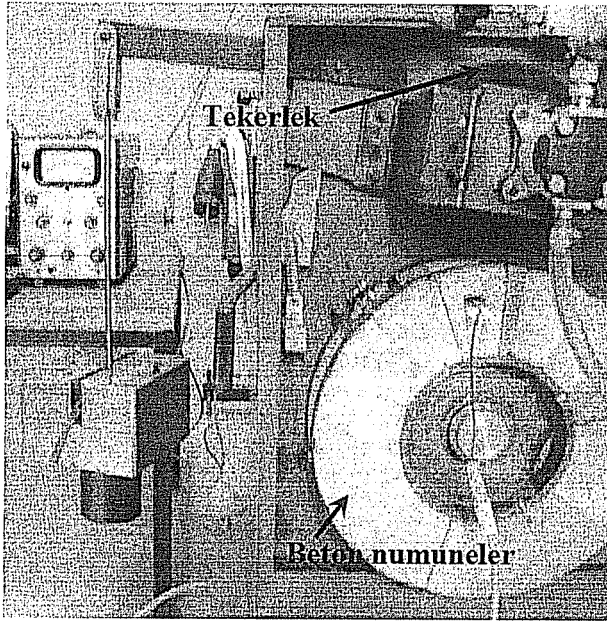
K.T.Ü. İnşaat mühendisliği bölümü, beton ve malzeme laboratuvarındaki hidrolik pres kullanılarak, 28 günlük kürlü, 15x15x15 cm'lik küp karışım numuneleri bir gün normal oda şartlarında bekletildikten sonra, belirli bir hızda yüklenerek kırıldı. Elde edilen basınç dayanımı verileri aşağıda (Çizelge 5) verilmektedir.

**Çizelge 5. Basınç Dayanımı Sonuçları**

Karışım No	İncelik Modülü	Ortalama Basınç Dayanımı (kgf/cm <sup>2</sup> )
K1	2.2	620.0
K2	2.7	644.5
K3	3.15	656.6

### 2.2.2. Hızlandırılmış Cilalanma Deneyi

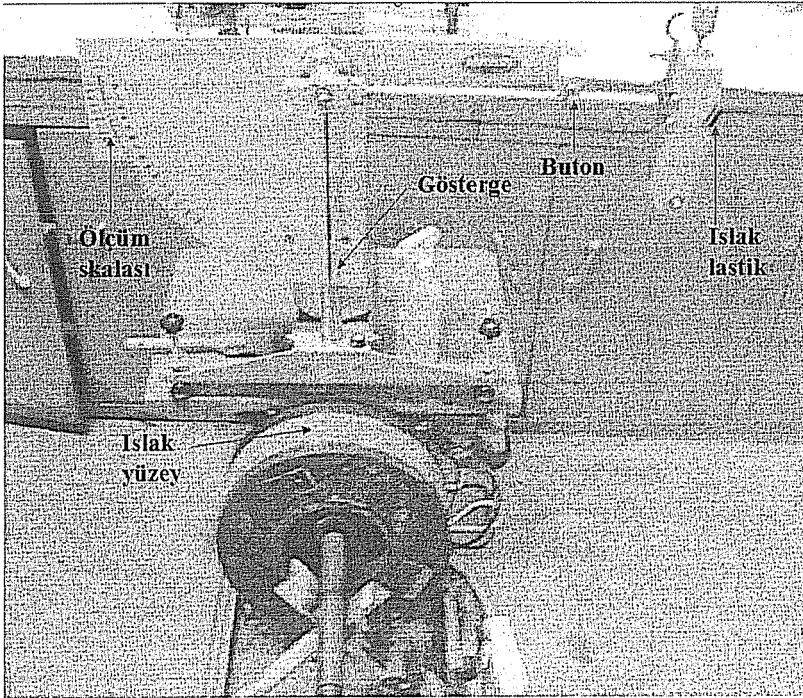
Beton yolu temsilen hazırlanan numuneleri, gerçek yol şartlarında olduğu gibi, yüzeyle düşey ve yatay (frenleme) kuvvetler uygulayan kauçuk tekerlek etkisinde aşındırmak için, İngiliz hızlandırılmış cilalanma deney aleti (accelerated polishing machine) modifiye edilerek kullanıldı (Şekil 4). Bu cihazdaki serbest dönen kauçuk tekerlek, ayarlanabilir sabit kısmi frenlemeyle dönecek duruma getirildi. Tekerlek yükü, ağır taşıt yükünü temsil edecek şekilde (5.6) yüzeyde 10 kgf/cm<sup>2</sup> basınç oluşturacak miktarda arttırıldı; tekerlek-beton numune temas ara yüzünde sürtünmeden doğan ortalama 1 kgf/cm<sup>2</sup> kayma gerilmesi oluşturuldu ve deney sırasında teker-numune temas ara yüzüne aşındırıcı toz ve su verilmedi. Tekerleğin bir numune üzerinden toplam geçiş sayısı ya da diğer ifadeyle numune tamburunun toplam tur sayısı istenen ölçüm değerine varıncaya kadar sistem çalıştırıldı. Sıfır, bin, beş bin, yirmi beş bin ve yüz bin toplam geçiş sayılarında başka bir düzeneğe alınan tamburda, beton numune yüzeylerinin sürtünme katsayısı ölçümleri yapıldı (Şekil 5).



**Şekil 4. Hızlandırılmış cilalanma deney düzeneği**

### 2.2.3. Sürtünme Katsayısı Ölçümü

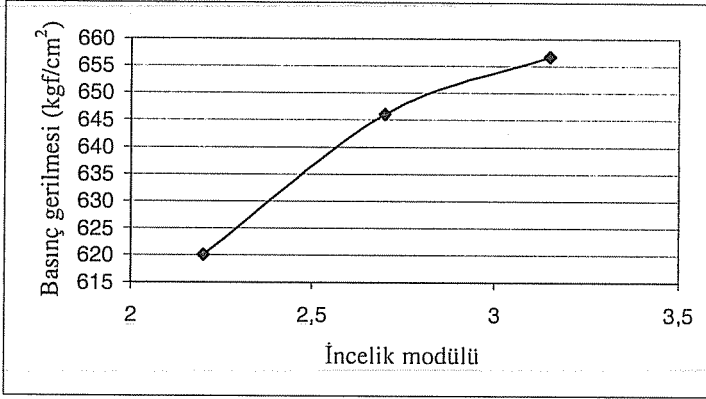
Üç karışımın her birini temsilen üçer numune hazırlandı. Toplamda 9 numune üzerinde sürtünme katsayısı ölçümleri gerçekleştirildi. Ucuna lastik sürtünme takozu takılı İngiliz sürtünme pandülü ölçüm düzeneğine yerleştirilerek düzeç ayarı yapıldı. Pandül numune üzerine getirilerek yüzeyde ilk değdiği noktayla son değdiği nokta arasındaki sürtünme boyu, yatayda 76 mm olacak şekilde (7) kumpasla ölçülerek ve yakın ışık kaynağıyla iyice görülerek, alet üzerindeki ayar vidası yardımıyla yukarı aşağı oynatarak hassas bir şekilde ayarlandı. Daha önceden ıslatılıp nemlendirilmiş beton numune yüzeyleri ve sürtünme lastiği bol suyla tekrar iyice ıslatıldı ve üzerlerindeki fazla su uzaklaştırıldı. Alet üzerindeki, sürtünme katsayısı değerini gösterecek ibre sıfır konumuna getirildi. Sonra yukarıdaki pozisyonunda bekleyen pandül, butonuna basılarak serbest bırakıldı ve salınım yapıp geri döndüğünde numune yüzeyine değmeden elle tutuldu. İbrenin gösterdiği küçük yazılı F skaladaki değer, tamsayı olarak kaydedildi. Bu şekilde her bir numune için peş peşe her seferinde ıslatma işlemi yapılarak beş salınım yapıldı ve son üç okumanın ortalaması alınarak (7) kaydedildi.



Şekil 5. Sürtünme katsayısı ölçümü alınması

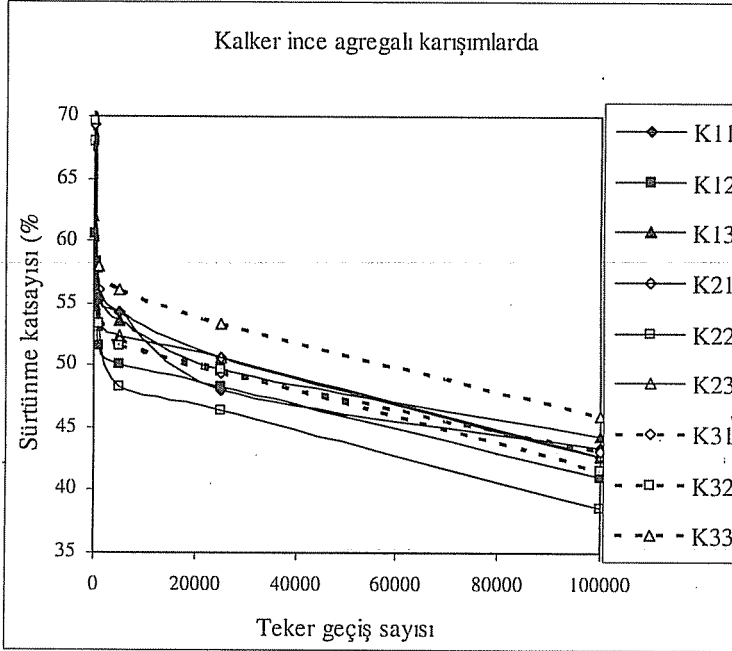
### 3. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEME

İnce agrega incelik modülünün artışıyla beraber betonun basınç dayanımı artmıştır (Şekil 6). Karışımdaki ince agreganın incelik modülü 2.2 den 3.15 çıktığında basınç dayanımındaki artış miktarı % 5.9 olmuştur.



Şekil 6. Basınç gerilmesinin incelik modülüyle değişimi

Sürtünme kaybı sonuçları verilirken numune numaralarında, ilk rakam karışım numarasını, ikinci rakam o karışımı temsilen hazırlanan kaçınıcı numune olduğunu göstermektedir.



Şekil 7. Karışım numunelerinde sürtünme katsayısı değişimleri

**Çizelge 6.** Karışım numunelerinde regresyon katsayıları ve sürtünme kayıpların karşılaştırılması

Numune	İncelik modülü	Regresyon katsayıları		Kayıplar (Beş bin-Yüz bin)	
		Üs	Parabolik		Ort.
K11	2.2	0.9999	0.9983	11	9.76
K12		0.8464	0.8570	9	
K13		0.9777	0.9848	9.3	
K21	2.7	0.9236	0.9378	11.7	10.36
K22		0.8568	0.8692	9.7	
K23		0.8367	0.8471	9.7	
K31	3.15	0.9176	0.9289	9	9.66
K32		0.8531	0.8649	10	
K33		0.8994	0.9112	10	

Regresyon katsayıları ve sürtünme kayıpları hesaplanırken sıfır ve bin tekerlek geçiş sayılarındaki sürtünme değerleri dikkate alınmamıştır (Çizelge 6). Çünkü bu ölçümlerde görüldü ki sıfır ile bin aralığında beton yüzeydeki sürtünme katsayısı ani ve fazla miktarda düşmektedir (Şekil 7). Temas yüzeyindeki zayıf çıkıntılarının tekerleğin düşey ve yatay kuvvetleri etkisiyle kopması yada törpülenmesi nedeniyle bu aşamada sürtünme katsayısı kaybının fazla olduğu düşünülmektedir. Eğilimin daha sağlıklı değerlendirilmesi için, yüzey çıkıntılarının daha kararlı hale geldiği beş bin ve sonraki ölçüm değerleri dikkate alınmıştır.

Grafik eğrileri türü değerlendirilirken doğrusal ilişki göz ardı edilmiştir. Çünkü sürtünmedeki azalmanın doğrusal olması, belirli bir tekerlek geçiş sayısına ulaşıldığında, başlangıç sürtünmesinin sabit oranda gittikçe azalarak sıfır olması demektir ki bu anlamsızdır. Gerçekte, tekerlek geçiş sayısı milyarları bulsa ve temas yüzeyindeki çıkıntılar iyice aşınıp düzleşse bile, sürtünme katsayısı değeri, gittikçe azalan miktarlarda düşmeye devam edecek, bir noktadan sonra pratik olarak sabit kabul edilebilecektir. Üslü ve parabolik eğrilerin, eğilimleri daha iyi yansıttığı tespit edildiğinden en yakın ilişkiyi veren bu iki grafik türüne göre regresyon katsayıları verilmiştir. Teker geçiş sayısı ile beraber beton yüzeyde oluşan sürtünme kayıpları parabolik denklemle çok uyumlu bir azalma göstermiştir (Çizelge 6).

Sürtünme katsayısı kayıp değerlerinin ve sürtünme kaybı eğimlerinin yaklaşık olarak aynı seviyede kaldığı, basınç gerilmesinden farklı olarak, incelik modülü artmasına rağmen sürtünme kayıp miktarlarında belirgin bir farklılığın oluşmadığı görülmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada beton yol karışımları ince agregasının incelik modülünün yol yüzeyi sürtünme katsayısı kaybına etkisi, düşey ve yatay kuvvet uygulayan lastik tekerleğin aşındırmasıyla belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan deneyler ve ölçümler sonucunda,

1. İncelik modülün 2.2 den 3.15 çıkmasıyla beraber betonun basınç dayanımı yaklaşık % 5.9 artmıştır. En az basınç dayanımı 2.2 ve en yüksek dayanım 3.15 incelik modülüne sahip karışımlarda elde edilmiştir.

2. İncelik modülünün artışıyla beraber yüzeyin sürtünme katsayısı kaybı yaklaşık olarak aynı seviyede kalmıştır. Halbuki bu durumda basınç dayanımı artmıştı. Betonun artan basınç dayanımına rağmen yüzeydeki sürtünme kaybında anlamlı bir değişim olmamasının, sürtünme katsayısının betonun yapısından ziyade yüzeyindeki özelliklere daha çok bağlı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
3. Bu sonuçlar kalker türü agregalarla hazırlanan betonlarda elde edilmiştir. Yaygınlıkla kullanılan kalker türü agregalar diğer bazı agrega türlerinden daha fazla cilalanmaya yatkınlık göstermektedir. Genel olarak tüm agrega türleri için geçerli olabilecek bir kanaate varabilmek için cilalanmaya yatkınlığı daha az olan granit, bazalt, yüksek fırın cürufu gibi agregaların da denenmesi gereklidir.

Yapı betonlarından farklı olarak, yol beton kaplamalarında sürtünmeden kaynaklanan sürekli bir cilalanma etkisi vardır. Beton yolun yüzeyindeki birkaç milimetrelik kısımda iri agregadan daha fazla yer tutan ince agreganın incelik modülünün, yol yüzeyinin sürtünme kaybına etkisini sağlıklı olarak tespit edebilmek için bu alanda çalışacak araştırmacılara; cilalanmaya yatkınlığı daha az olan kayalardan elde edilecek agregalar ya da daha farklı yüzey pürüzlendirme teknikleri kullanarak deneylerin tekrar edilmesi önerilmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Henry, J.J., "Evaluation of Pavement Friction Characteristics", NCHRP Synthesis 291, Transportation Research Board, Washington DC, 2000.
2. Hall, J.W., "Guide For Pavement Friction", NCHRP Project 1-43. Transportation Sector of Applied Research Associates (ARA).
3. Fwa, T., F. ve Tan, C.C., "Laboratory Study of Microtexture-Related Skid Resistance of Concrete Pavement Materials", Journal of Testing and Evaluation. 20, 3 (1992) 207-215.
4. Yollar Fenni Şartnamesi (Yol Alt Yapısı, Sanat Yapıları, Köprü, Tünel ve Üst Yapı İşleri). Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayını: 170/2. 435 ss. Ankara. 1994.
5. Gökten, A.G. ve Mitschke, M., "Road Damage Caused By Heavy Duty Vehicles", International Journal of Vehicle Design. 16. 1, January 1999).
6. Park, D.W., Fernando, E. ve Leidy, J., "Evaluation of Predicted Pavement Response Using Measured Tire Contact Stresses", TRB. 191, 2005.
7. TS EN 1341, Cilalanmamış Kaymaya/Kızaklamaya Karşı Direnç Değerinin Ölçülmesi. TSE, Ankara, 2004.

## YAPAY SİNİR AĞI VE LİNEER MODEL İLE KÖPRÜ AYAKLARINDA OYULMA DERİNLİĞİNİN TAHMİNİ

**Fikret KOCABAŞ**

*Bozok Üniv., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yozgat/Türkiye*

**Burhan ÜNAL**

*Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*

**Buğrayhan BİÇKİCİ, Mutlu VARDAR ve Yasin KIZIL**

*Bozok Üniv., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yozgat/Türkiye*

**ÖZET :** Köprü ayaklarında oyulma hidrolik mühendisliğinde karşılaşılan önemli problemlerden biridir. Köprü stabilitesinin sağlanabilmesi için temel derinliğinin nehirde oluşacak oyulma derinliğinin daha altına inmesi gerekir. Literatürde köprü ayaklarında oyulma derinliğinin tespitine ilişkin yapılmış çok sayıda deneysel çalışma sonucu elde edilmiş ampirik formül mevcuttur. Ancak bu denklemlerin tüm çalışmalarda geçerliliği söz konusu değildir. Bu çalışmada yapay sinir ağları (YSA) ve genel lineer model (GLM) kullanılarak oyulma derinliğini tahmin modelleri geliştirilmiştir. Farklı araştırmacılara ait 205 laboratuvar verisinden türetilen ayak genişliği, akım derinliği, ortalama dane çapı, akıma ait Froude sayısı ve oyulma derinliği verileri kullanılmıştır. Değişik girdi kombinezonları denenerek her bir değişkenin oyulma derinliğine olan etkisi incelenmiştir. Çalışma neticesinde, YSA'nın GLM' e göre çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Genel lineer modeli; Köprü ayaklarında oyulma; Yapay sinir ağları.

## PREDICTION OF SCOURING DEPTH AT BRIDGE PIER BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND LINEAR MODEL

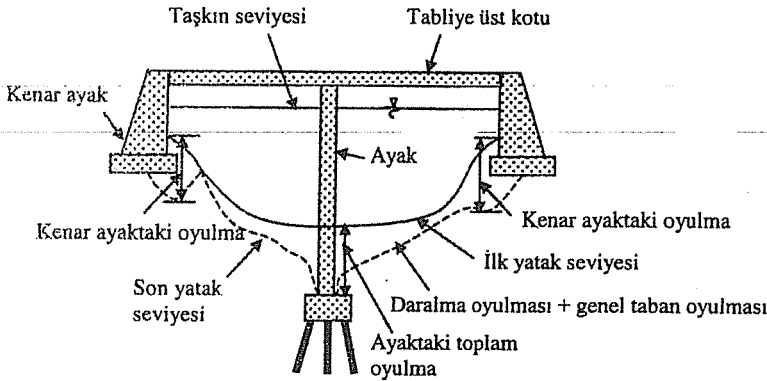
**ABSTRACT :** Scouring, as a major problem at the bridge pier, is important in hydraulic engineering. There is not any equation that it is available for every situation in the literature. That's why the modeling study is an alternative to determine the depth of scouring. In this study, artificial neural networks and general linear model were used to predict scouring depth. The pier width, flow depth, median sediment diameter, Froude number (Fr) and depth of scouring data of 205 belongs to different investigators are used in the study. Various input combinations are tried as inputs to the ANN and GLM so as to evaluate degree of effect of each of these variables on scouring. The results are also compared with each other. Based on the comparisons, it was found that the ANN computing technique could be employed successfully in modeling scouring process.

**Key Words:** Artificial neural networks; General linear model; Scouring at bridge pier.

## 1. GİRİŞ

Köprüler ulaşım ağlarının önemli yapılarıdır. Üzerinde taşıt veya yaya trafiği taşıyan ve diğer yapılara oranla rüzgar ve taşkın gibi bazı dinamik yüklemelere daha savunmasız bir şekilde maruz kalan köprülerin tasarımı hidrolik, yapısal ve geoteknik faktörlerin etkileşimi nedeniyle oldukça karmaşıktır.

Yapıların su altında kalan ayak veya temellerindeki sediment malzemesinin akım tarafından taşınması *oyulma* olarak, ayaklar etrafında oluşan çevrintilerin sebep olduğu oyulma ise *yerel oyulma* olarak adlandırılır. Şekil 1'de görüldüğü gibi bir köprü açıklığındaki toplam taban oyulması akarsu morfolojik rejiminden etkilenen uzun dönemli taban seviyesi alçalması, köprü açıklığındaki daralma nedeniyle oluşan daralma oyulması ile orta ve kenar ayaklar etrafındaki çevrintilerden kaynaklanan yerel oyulmalardan oluşmaktadır (1).



Şekil 1. Köprü açıklığında taban oyulması

Köprü ayaklarında oyulma derinliğinin bilinmesi planlanma ve projelendirilmede büyük önem taşımaktadır. Köprü yükünü zemine aktaran temele ait derinliğin doğru olarak belirlenmesi stabilite bakımından gereklidir. Bu konuda yapılan geniş kapsamlı çalışmalar sonucunda deneysel kökenli denklemler hazırlanmış olup henüz oyulma derinliğinin hesabında tüm ayak durumları için geçerli olan genel bir formül geliştirilememiştir.

Oyulma derinliğinin kurulan matematiksel modellerle belirlenmesi çalışmalarında araştırmacıların temel amacı girdi-çıkıtlar (bağımlı-bağımsız değişkenler) arasındaki temel bağıntıyı bulmak ve böylece problemin girdilere bağlı olarak değişimini elde etmektir. Doğrusal olmayan sistemlerin davranışını tahmin etmek için en çok kullanılan yöntemlerden biri de yapay sinir ağı (YSA) uygulamasıdır. Bu çalışmada YSA ve genel lineer model (General Linear Model – GLM) işlemleri kullanılarak silindirik köprü ayakları *Chabert ve Engeldinger, Tarapore, Laursen, Shen ve diğerleri, Hancu, White, Basak ve diğerleri ve Jain ve Fischer'in deneysel çalışmalarının derlenmesiyle elde edilen 205 deney verisi* ile köprü ayaklarında oyulma derinliği tahminine ait modeller kurulmuştur (2-10).



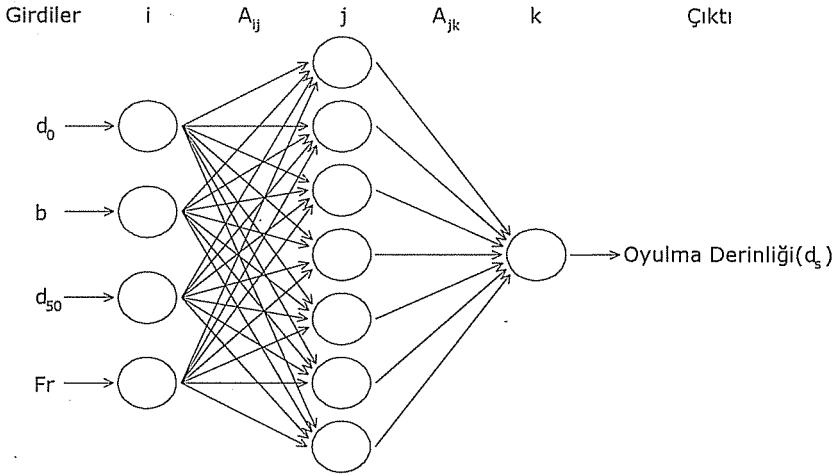
## 2. METODLAR

Bu çalışmada kullanılan deneysel verilere ait oyulma derinliğinin tahmininde yapay sinir ağları (YSA) ve genel lineer model (GLM) kullanılmıştır.

### 2.1. Yapay Sinir Ağları

Bu metot ilk olarak 1943 yılında hücre modelini öneren McCullough ve Pitts tarafından literatürde yer almıştır. Beynin zor işlemleri yapabilme ve kompleks örnekleri kavrayabilme yeteneği ve özellikle ilgili fiziksel ilişkileri bilmeden yalnızca denemeye bazı şeyleri öğrenebilmesi, bilim adamlarına Yapay Sinir Ağları metodunun geliştirilmesi için ilham vermiştir. Yapay sinir ağları girdilere karşılık çıktılar üreten bir kara kutu olarak ele alınabilir (11).

Yapay sinir ağlarının temel mantığı, biyolojik sinir hücresi yapısından yola çıkarak problemin girdi ve çıktıları arasındaki ağırlık katsayılarının bulunması ve her girdi-çıkıtı için bu işlemin öğrenen bir sistem ile yapılması üzerine dayanmaktadır (12).



Şekil 2. Oyulma derinliğinin tahmininde kullanılan YSA yapısı

Yapay sinir ağları, farklı ağırlıklarla birbirine bağlı birçok işlem elemanlarından oluşmuş yoğun paralel sistemlerdir. YSA metodları içerisinde en çok kullanılanı hataların geriye yayılma (back-propagation) ilkesine göre çalışandır. Şekil 2, bu çalışmada kullanılan üç tabakalı bir yapay sinir ağını göstermektedir.

Yapay sinir ağları, temel olarak üç tabakadan meydana gelmektedir (Şekil 2). İlk tabaka (i tabakası), girdi değişkenleriyle bağlantılı olan işlem elemanlarından (hücre veya nöron) oluşur ve girdi tabakası adı verilir. Girdi tabakasının tek görevi ağda girdi tabakasından sonra gelen gizli tabakaya girdi değişkenlerini aktarmaktır. Son tabaka (k tabakası), çıktı değişkenlerinden oluşur ve çıktı tabakası adı verilir. Girdi tabaka ve çıktı tabakaları arasındaki işlem elemanlarından oluşan tabakaya da gizli tabaka (j tabakası) adı verilir (13).

## 2.2. Çoklu Doğrusal Regresyon

Regresyon analizi İstatistik biliminin en önemli ve temel konularından birisidir. Birden fazla bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon analizi *çoklu lineer regresyon* (ÇLR) analizi olarak adlandırılır. Çoklu lineer regresyonda amaç, bağımlı değişkeni etkilediği belirlenen bağımsız değişkenler yardımıyla bağımlı değişkenin değerinin tahmin edilmesi ve bağımlı değişkeni etkilediği düşünülen bağımsız değişkenlerden hangisi ya da hangilerinin bağımlı değişkeni daha çok etkilediğini bulmaktır.

Çoklu regresyon çözümlenmesinde, bağımlı değişken  $y$ , bağımsız değişkenler  $x_1, x_2, \dots, x_p$  ile gösterildiğinde aralarındaki ilişki;

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_j x_j + \dots + \beta_p x_p \quad (1)$$

olarak yazılabilir. Burada;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_j, \dots, \beta_p$  bilinmeyenlerine regresyon katsayıları denir. Herhangi bir  $\beta_j$  regresyon katsayısı, diğer değişkenler sabit tutulduğunda (diğer değişkenlerin etkisi ortadan kaldırıldığında)  $x_j$  değişkeninde ortaya çıkan bir birimlik değişmeye karşılık  $y$  değişkenindeki beklenen değişiklik miktarını vermektedir.  $\beta_j$  ( $j=1, 2, \dots, p$ ) parametreleri kısmi regresyon katsayıları  $\beta_0$  ise kesim noktası veya sabit olarak adlandırılır (17, 18). Tüm etkilerin dikkate alındığı tam model olarak adlandırılan modele ait denklem aşağıdaki gibidir.

$$d_s = \beta_0 + \beta_1 b + \beta_2 d_0 + \beta_3 D_{50} + \beta_4 Fr + \beta_5 b.d_0 + \beta_6 b.D_{50} + \beta_7 b.Fr + \beta_8 d_0.D_{50} + \beta_9 d_0.Fr + \beta_{10} D_{50}.Fr + \beta_{11} b.d_0.D_{50} + \beta_{12} b.d_0.Fr + \beta_{13} d_0.D_{50}.Fr \quad (2)$$

İstatistiksel Analiz Sistemi (Statistical Analysis System – SAS) paket programı yardımıyla genel lineer model (General Linear Model – GLM) işlemleri kullanılarak kovaryans analizi yapılmış ve oyulma derinliğinin tespiti için model kurulmuştur (14). GLM işlemleri, Tip I ve Tip III hipotez testlerinin yapılmasını sağlamaktadır. Tip III hipotez testindeki  $Pr > F$  değerleri modeldeki etkili ve etkili olmayan faktörleri vermektedir. Tip III hipotez testinde, %95 güven düzeyinde, 0.05'ten küçük  $Pr > F$  değerine sahip olan faktörler kurulan modelde etkili, büyük olan faktörler ise etkisizdir. Tip I hipotez testinde, bir faktör veya etkileşimin değişimi incelenirken, diğer faktörler veya etkileşimler modelde durmaktadır. Aksine, Tip III hipotez testinde, bir faktör veya etkileşimin değişimi incelenirken, diğer faktörler veya etkileşimler modelden çıkarılmaktadır. Yani incelenen faktör veya etkileşimin modele etkisi belirlenmektedir (15, 16, 18).

## 3. ANALİZ

Modelleme çalışmaları iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama eğitime, ikinci aşama ise öğrendiklerinin sonucunun alındığı test aşamasıdır. Eğitimde kullanılan veriler, daha sonra test aşamasında kullanılmazlar. Yani elde yer alan veriler eğitime ve test diye ikiye ayrılır. Genellikle verilerin %80 i eğitime %20 si test için kullanılır. Bu çalışmada rasgele alınan 165 veri eğitime ve kalan 40 veri ise test için, hem YSA hem de GLM modellerinde kullanılmıştır.

### 3.1. YSA Modeli

Şekil 2’de yer alan  $A_{ij}$  ve  $A_{jk}$ , hücre tabakaları arasındaki bağlantı ağırlıklarıdır. Başlangıçta rastgele atanan ağırlık değerleri, eğitme sürecinde tahmin edilen çıktılarla gerçek çıktı değerleri karşılaştırılarak devamlı değiştirilir ve hataları minimum yapan bağlantı ağırlık değerleri ayarlanıncaya kadar hatalar geriye doğru (Şekil 2’de sağdan sola) yayılır. Ağırlıkları ayarlamak için Levenberg-Marquardt metodu kullanılmıştır (19).

Şekil 2’de  $j$  ve  $k$  tabakalarındaki her bir hücre, önceki tabakadan NET ağırlıklı toplam çıktılarını girdi olarak alır. NET değeri (1) eşitliği ile hesaplanır (20).

$$NET_{pj} = \sum_{i=1}^D A_{ij} C_{pi} + \theta_j \quad (3)$$

Burada  $D$  girdi vektörünün boyutu,  $\theta_j$  taraflılık sabiti (bias),  $A_{ij}$ ,  $i$  ve  $j$  tabakaları arasındaki ağırlıklar kümesi,  $C_{pi}$ ,  $p$  örneği için  $i$  tabakasının çıktı kümesidir.  $j$  ve  $k$  tabakalarındaki her bir hücre, NET değerini doğrusal olmayan bir tasvir fonksiyonundan geçirerek  $f(NET)$  çıktısını üretir. Yaygın şekilde kullanılan bu tasvir fonksiyonu,

$$f(NET) = \frac{1}{1 + e^{-NET}} \quad (4)$$

şeklinde ifade edilir.

Eğitme aşamasında,  $p$  örneği için toplam hata  $H_p$ , tahmin edilen ve gerçek çıktılar arasında kareler farkına bağlı olarak (5) eşitliğiyle hesaplanır.

$$H_p = \sum_{k=1}^N (G_{pk} - C_{pk})^2 \quad (5)$$

Burada  $N$  iterasyon sayısı olmak üzere  $G_{pk}$  ve  $C_{pk}$  sırası ile  $p$  örneği için gerçek ve tahmin edilen çıktı değerleridir. Her bir bağlantı ağırlığı,  $A_{ij}$ , (6) eşitliği ile yenilenir.

$$A_{ij}^{yeni} = A_{ij}^{eski} - [J^T J + \mu I]^{-1} J^T H_p \quad (6)$$

Burada  $J$ , hataların ağırlıklara göre türevlerini içeren Jacobian matrisini;  $J^T$ , Jacobian matrisinin transpozmesini;  $I$  birim matrisi ve  $\mu$  ise yakınsama hızını etkileyen bir parametreyi ifade etmektedir.  $\mu$ , değeri büyüdüğüde eşitlik eğim azaltma algoritmasına, küçüldüğünde ise eşitlik Gauss-Newton algoritmasına dönüşür (20).

Uygun YSA modelinin belirlenmesi gizli tabaka sayısı ve bu tabakalardaki nöron sayısı gibi yapısal parametrelerin ve aktivasyon fonksiyonunun belirlenmesine dayanır. Çalışmada gizli katmandaki birimlere ve çıkışa ait aktivasyon fonksiyonu *logsig* olarak seçilmiştir. Yapılan çok sayıda deneme neticesinde en uygun modele ait iterasyon sayısı

50 ve ara tabaka hücre sayısı 4 olarak belirlenmiştir. Eğitim aşaması bittikten sonra, daha önce kullanılmamış olan test verileri ile modelin performansı test edilmiştir.

### 3.2. GLM Modeli

Kurulan tam modele ait (2 no' lu denklem) istatistiksel bilgilerden faydalanılarak daha etkin bir model olan *Düzeltilmiş model* isimli model kurulmuştur. Modelin içerdiği faktörlerde Tip III hipotez testinde tüm faktörleri için  $Pr < F$  değeri 0.05' den oldukça küçük ve tamamının etkili olduğu belirlenen model aşağıda verildiği gibi oluşturulmuştur.

$$d_s = \beta_0 + \beta_1.b + \beta_2.d_0 + \beta_3.D_{50} + \beta_4.Fr + \beta_5.b.d_0 + \beta_6.b.D_{50} + \beta_7.b.Fr + \beta_8.d_0.Fr + \beta_9.D_{50}.Fr + \beta_{10}.b.d_0.Fr + \beta_{11}.b.D_{50}.Fr \quad (7)$$

Kovaryans analizi sonucunda bulunan oyulma derinliği modelinde yer alan regresyon katsayıları, Tablo 1'de verilmiştir. Regresyon denklemindeki  $\beta_i$  katsayıları modellemenin eğitim safhasında hesaplanır ve test verilerindeki bağımsız değişkenlerin kullanılmasıyla oyulma derinliklerinin elde edilmesinde kullanılır.

**Tablo 1.** Modele ait regresyon katsayıları

Parametre	$\beta_0$	$b$	$d_0$	$D_{50}$	$Fr$	$b * d_0$	$b * D_{50}$	$b * Fr$	$d_0 * Fr$	$D_{50} * Fr$	$b * d_0 * Fr$	$b * D_{50} * Fr$
$\beta_i$	25.31	-1.45	-2.78	14.83	-53.01	0.23	-1.09	4.64	6.56	-23.21	-0.49	1.71

### 4. UYGULAMA

Kurulan modeller ve gözlem değerleri arasındaki lineer ilişkinin tahmininde Belirginlik katsayısı ( $R^2$ ) ve uyumluluğu için de Ortalama karesel hata (OKH) ve Bağıl mutlak hata (BMH)' dan faydalanılmıştır. OKH,  $R^2$  ve BMH istatistiksel bilgileri aşağıdaki denklemlerle ifade edilmektedir.

$$OKH = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n [(d_s)_{gözlem, j} - (d_s)_{model, j}]^2 \quad (8)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{j=1}^n [(d_s)_{gözlem,j} - (\bar{d}_s)_{gözlem}]^2 - \sum_{j=1}^n [(d_s)_{gözlem,j} - (d_s)_{model,j}]^2}{\sum_{j=1}^n [(d_s)_{gözlem,j} - (\bar{d}_s)_{gözlem}]^2} \quad (9)$$

$$BMH = \frac{\sum_{j=1}^n |(d_s)_{gözlem,j} - (d_s)_{model,j}|}{\sum_{j=1}^n |(d_s)_{gözlem,j} - (\bar{d}_s)_{gözlem}|} \quad (10)$$

Burada,  $n$  deney sayısı ve  $(\bar{d}_s)_{gözlem}$  gözlem oyulma derinliklerinin  $[(d_s)_{gözlem,j}]$  aritmetik ortalamasıdır.

BMH değerinin 0 olması modelin mükemmel olduğu anlamına gelir ki, bu durum modellerin performanslar karşılaştırılmasında daha küçük BMH' nin daha iyi olduğunu ifade eder.

Bağımsız değişkenlerin etkinliğini görmek amacıyla kurulan modellerde oyulma derinliğinin  $(d_s)$  sadece; ayak genişliğinin  $(b)$ , akım derinliğinin  $(d_0)$ , ortalama dane çapının  $(D_{50})$  ya da Froude sayısının  $(Fr)$  fonksiyonu  $[d_s = f(b), d_s = f(d_0), d_s = f(D_{50}), d_s = f(Fr)]$  olması durumları için kurulan YSA ve GLM modellerine ait bulunan istatistik bilgileri Tablo 2' de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Oyulma derinliği tek bir değişkenin fonksiyonu iken oluşan istatistikler

Model	Parametre	$R^2$	BMH
YSA	b	0.83	0.45
	$d_0$	0.57	0.68
	$D_{50}$	0.23	0.78
	Fr	0.18	0.85
GLM	b	0.69	1.48
	$d_0$	0.45	1.76
	$D_{50}$	0.15	3.16
	Fr	0.01	3.27

Tablo 2'den görüleceği üzere hem YSA hem de GLM modeli için gerek  $R^2$  ve gerekse BMH değerlerine bakılarak, oyulma derinliğinin sırasıyla, ayak genişliği, akım derinliği, ortalama dane çapı ve Froude sayısından etkilendiği anlaşılmaktadır.

(7) no' lu denklemin Tablo 1' de yer alan regresyon katsayılarının kullanılmasıyla elde edilen GLM model sonuçları ile çok sayıda deneme sonrası 50 iterasyon ve 4 ara tabaka hücre sayısı kullanılarak oluşturulan YSA modeline ait sonuçlar, gözlem sonuçları ile birlikte Tablo 3'de sunulmuştur.

**Tablo 3.** Test verilerine ait gözlem ve modellerle bulunan tahmini oyulma derinlikleri

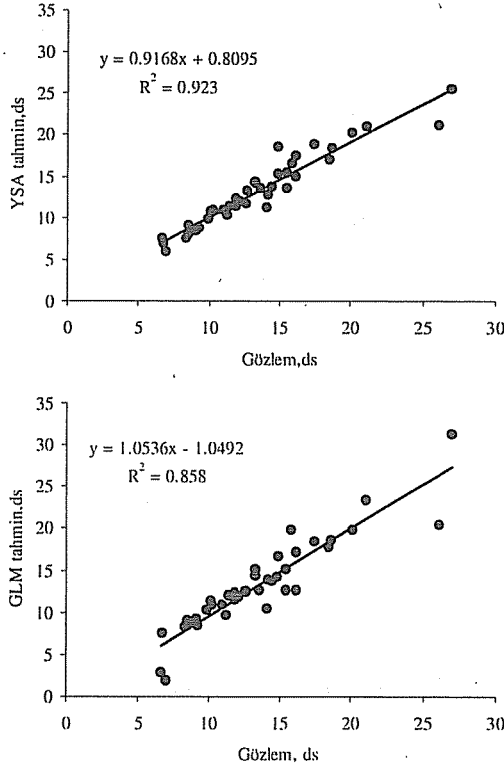
Deney no	$d_0$ (cm)	b (cm)	$D_{50}$ (mm)	Fr	Oyulma derinliği $d_s$ (cm)		
					Gözlem	GLM	YSA
1	10.16	10.16	0.25	1.2	18.49	17.79	17.01
2	10.16	5.08	0.25	0.5	8.38	8.25	7.48
3	10	5.08	0.24	0.61	9.10	9.01	8.33
4	20	15	3	0.6	18.68	18.51	18.36
5	10	10.16	1.4	1.06	14.50	13.65	13.76
6	10	10.16	1.4	1.21	14.20	13.89	12.74
7	35	15	3	0.37	21.12	23.33	20.99
8	10	5.08	0.24	0.91	10.16	11.31	10.66
9	20	15	3	0.42	16.20	17.12	17.41
10	10	7.95	0.24	1.01	13.30	14.29	14.36
11	10	7.95	0.24	1.11	13.30	15.10	14.20
12	10	7.95	0.38	0.2	9.30	8.36	8.77
13	10	7.95	0.38	0.3	8.60	9.03	8.97
14	10	10.16	0.8	0.5	11.90	12.22	12.23
15	10	7.95	0.8	0.3	14.10	10.41	11.26
16	10	7.95	0.38	0.66	11.90	11.45	11.30
17	10	7.95	0.38	0.81	12.70	12.46	13.17
18	10	5.08	0.24	0.4	6.80	7.39	6.81
19	10	10.16	0.24	0.61	13.60	12.66	13.49
20	5.47	7	0.7	0.49	8.60	8.45	7.98
21	7.25	7	0.7	0.49	9.20	9.14	8.75
22	5	13	0.5	0.5	11.44	12.01	11.32
23	5	13	0.5	0.56	12.61	12.47	11.60
24	10.7	7	0.7	0.46	9.90	10.34	9.76
25	11.5	15	0.24	0.85	17.48	18.36	18.77
26	11.5	15	0.24	1.02	15.87	19.68	16.43
27	11.37	15.24	0.24	0.42	15.54	15.15	15.43
28	3.7	5	0.5	0.68	7.00	1.89	5.97
29	6.1	5	0.15	0.98	6.70	2.83	7.42
30	20	15	3	0.76	20.16	19.74	20.18
31	18.4	17.4	0.24	0.38	26.10	20.31	21.19
32	10	7.95	1.4	1.21	11.30	9.61	10.19
33	10	10.16	0.24	0.61	15.50	12.66	13.49
34	10	10.16	0.38	0.81	14.90	14.20	15.29
35	10.16	10.16	0.25	0.5	12.19	11.81	11.92
36	14.3	39.5	0.7	0.44	27.00	31.28	25.50
37	10	10.16	0.24	0.4	10.26	10.90	10.85
38	7.25	10	0.7	0.49	11.00	10.96	10.96
39	10	10.16	1.4	0.4	16.20	12.57	14.90
40	15.15	15.24	0.24	0.4	14.94	16.60	18.47

Tablo 3'te yer alan gözlem ve modellerle tahmin edilen oyulma derinlikleri değerlerinin kullanılması ile bulunan istatistikler ise Tablo 4'de sunulmuştur.

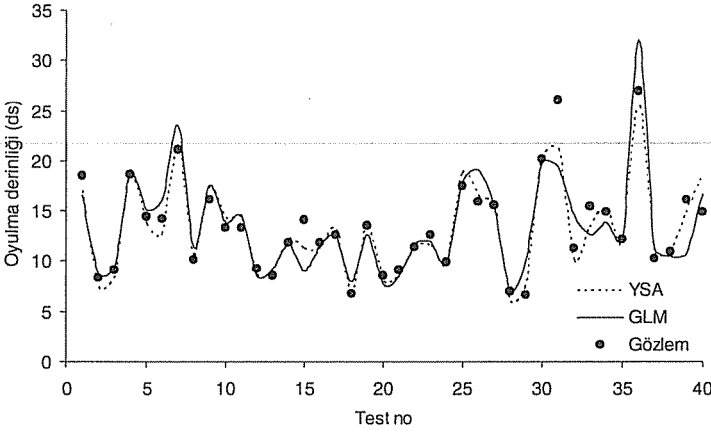
**Tablo 4.** YSA ve GLM modelleri için  $R^2$ , OKH ve BMH istatistikleri

Model	$R^2$	OKH	BMH
GLM	0.858	4.1537	0.3801
YSA	0.923	1.7711	0.2551

Tablo 4'den görüldüğü üzere oyulma derinliğinin tahmininde her iki model için de  $R^2$  değerleri yüksek ve BMH değerleri düşük olmakla birlikte, daha yüksek  $R^2$  ve daha düşük OKH ile BMH değerlerine sahip olan YSA modeli GLM modelinden daha iyi sonuçlar vermektedir. Tablo 3'de yer alan gözlem ve tahmin değerlerinin kullanılmasıyla Şekil 3 ve Şekil 4 elde edilmiştir.



**Şekil 3.** Gözlem ve modellere ait saçılma diyagramı



Şekil 4. Gözlem ve modellere ait tahmin edilen oyulma derinlikleri

## 5. SONUÇLAR

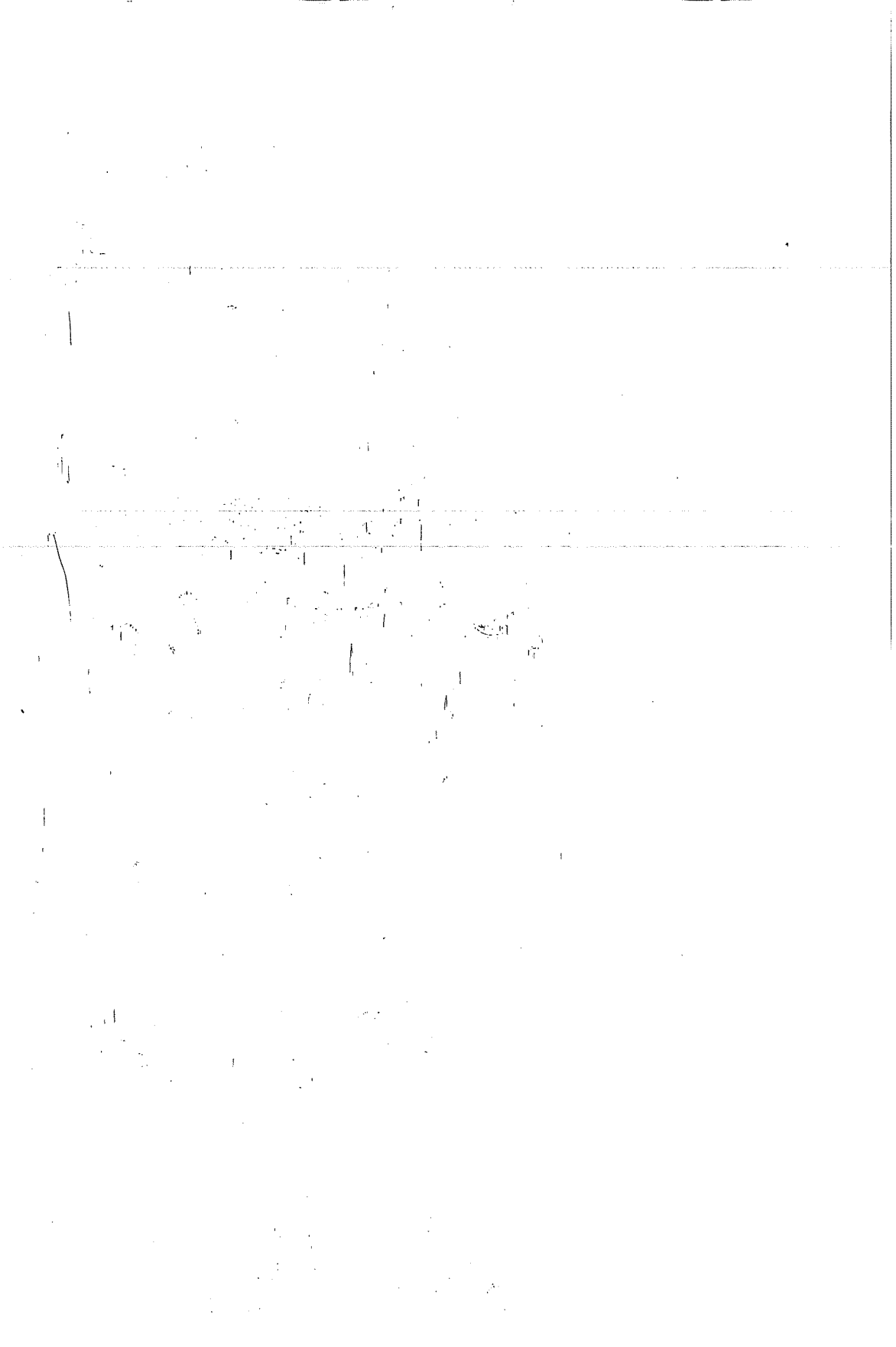
Bu çalışmada köprü ayaklarında oyulma derinliğinin tespiti, YSA ve GLM yaklaşımı ile modellenmiştir. Oyulma derinliklerinin tek bir değişkene bağımlı olması durumları için kurulan her iki model sonucu etkinlik sıralaması ayak genişliği, akım derinliği, ortalama dane çapı ve Froude sayısı olarak belirlenmiştir. Belirtilen dört değişkenin girdi olarak kullanılması ile de oyulma derinliği tahmin edilmiştir. Hem YSA hem de GLM modellerinin yaptığı tahminlerin ölçülen değerlere yakın olduğu ve istatistiksel parametrelerden  $R^2$ 'nin yüksek çıktığı, OKH'nin küçük olduğu ve BMH'nin sıfıra yakın olduğu görülmüştür. YSA ve GLM'nin karşılaştırılmasında ise YSA'nın GLM'den daha iyi tahmin yaptığı anlaşılmıştır. Dolayısıyla YSA yaklaşımı ile oyulma derinlikleri modellenerek, belirli bir yakınlıkla tahmin edilebileceği sonucuna varılmıştır.

## 6. KAYNAKLAR

1. Yanmaz, M., "Köprü Hidroliği", METU Press, Ankara, Türkiye, 2002.
2. Chabert, J., Engeldinger, P., "Etude des affouillements autour des piles des ponts", Laboratoire d'Hydraulique, Chatou, France (in French), 1956.
3. Tarapore, Z.S., "A Theoretical and Experimental Determination of the Erosion Patterns Caused by Obstructions in an Alluvial Channel with Particular Reference to a Vertical Cylindrical Pier", Ph.D. Thesis, University of Minnesota, 1962.
4. Laursen, E.M., "An analysis of relief bridge scour", Journal of Hydraulics Division, ASCE, 89(HY3), 93-118, 1963.
5. Shen, H.W., Schneider, V.R., and Karaki, S., "Mechanics of Local Scour, Oata Supplement", Colorado State University CER 66-67 HWS-VRS-SK-27, Prepared for U.S. Department of Commerce, Bureau of Public Roads, Office of Research and Development, Structures and Applied Mechanics Division under Contract No. CPR 11-8022, 1966.



6. Hancu,S., “Sur le calcul des affouillements locaux dans la zone des piles des ponts”, In: *Proceedings of the 14th IAHR Congress, Paris, France, vol. 3. International Association for Hydraulic Research, Delft, pp. 299–313, The Netherlands, 1971.*
7. White,W.R., “Scour around Bridge Piers in Steep Streams”, *Proceedings 16th IAHR Congress, 2, 279-284, Sao Paulo, 1975.*
8. Başak,V., Başlamışlı,Y., and Ergun,O., “Local Scour Depths Around Circular Pier Groups Aligned with the Flow”, Report No. 641, State Hydraulic Works, Ankara, Turkey, (in Turkish), 1977.
9. Jain,S.C. and Fischer,E.E., “Scour around Bridge Piers at high Froude Numbers”, Report Number F.H.W.A.R.D.: 79-104, Federal Highway Administration, Washington D.C., 1979.
10. Yanmaz,M., Çiçekdağ,Ö., “Composite Reliability Model for Local Scour Around Cylindrical Bridge Piers”, *Canadian Journal of Civil Engineering, 28,32, pp. 520–535, 2001.*
11. Partalı,T., Cıgızoğlu,K., “Yapay Sinir Ağları ile Meteorolojik Verileri Kullanarak Yağış Tahmini”, *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu, s.798, Kocaeli, 2005.*
12. Tokar,A.S., Johnson,P.A., “Rainfall-Runoff Modelling Using ANN”, *Journal of Hydrologic Engineering, 4(3): 232-239, 1999.*
13. Demirpençe,H., “Akarsularda Debi - Su Seviyesi İlişkisinin Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi”, *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu, s. 815, Kocaeli, 2005.*
14. SAS Institute Inc., *SAS/STAT User’s Guide, Release 7.0 Edition. Cary, NC, USA, 1998.*
15. Taşdemir,Y., Açar,E., “Karayolu Mühendisliğinde Deneysel Çalışmaların İstatistiksel Olarak Yorumlanması”, *Altıncı Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, İstanbul, 2004.*
16. Kocabaş,F., Ardıçlıoğlu,M., “Bileşik Kanal İçerisindeki Köprü Ayaklarında Oyulma Derinliği Üzerine İstatistiksel Analiz”, *127–134, Isparta, 2007.*
17. Alpar,R., “Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlere Giriş 1”, *Nobel Yayın, 2003.*
18. Ercan,M., “Bilimsel Araştırmalarda İstatistik”, *Orman Bakanlığı Kavak ve Hızlı Gelişen Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 2. Baskı, 1997.*
19. Marquardt,D., “An Algorithm for Least Squares Estimation of Non-Linear Parameters”, *J. Soc. Ind. Appl. Math., 431 – 441, 1963.*
20. Kişi,Ö., “Yapay Sinir Ağları İle Meteorolojik Verileri Kullanarak Buharlaştırmanın Modellenmesi”, *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu, s. 790, Kocaeli, 2005.*



## ADANA İLİNDE YER KAYNAKLI ISI POMPALARI İÇİN TOPRAK SICAKLIKLARININ BELİRLENMESİ

Arif ÖZBEK, Tuncay YILMAZ, Alper YILMAZ ve Orhan BÜYÜKALACA  
Ç.Ü., Makine Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** Son yıllarda dünyada ve ülkemizde toprak kaynaklı ısı pompalarının (TKIP) kullanımı hızla artmaktadır. TKIP tasarımında toprak yüzey sıcaklıklarının (TYS) ve toprak sıcaklıklarının (TS) bilinmesi gerekmektedir. Türkiye'de toprak sıcaklıkları Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) tarafından belirli istasyonlarda ölçülmekte olup, bu değerler sadece ölçüm yapılan yerin iklim ve toprak özellikleri için geçerlidir. Ülkemizde TYS ölçülmediğinden, TYS'nin ölçülen hava sıcaklığı, güneş ışınımı, bağıl nem ve rüzgâr hızı gibi değerler kullanılıp, çeşitli toprak türleri için hesaplanarak bulunması gerekmektedir. Bu çalışmada, farklı fiziksel özelliklere sahip tek katmandan oluşan topraklar için TYS ve TS'ler Adana kent merkezi için DMİ'den alınan hava sıcaklığı, güneş ışınımı, bağıl nem ve rüzgâr hızı rasat bilgilerinin 20 yıllık günlük ortalama değerleri kullanılarak analitik olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP), Toprak yüzey sıcaklığı (TYS), Toprak sıcaklığı (TS)

## THE DETERMINING OF GROUND TEMPERATURES FOR GROUND SOURCE HEAT PUMPS IN ADANA

**ABSTRACT :** Recently, using of ground source heat pump (GSHP) systems has been increased. Soil surface (SST) and soil temperatures (ST) should be known for the design of such systems. The State Meteorology Affairs General Directorate (DMİ) has measured the soil temperatures in certain depths at some stations in Turkey. These values are valid for climatic and soil properties of the region in which the data have been measured. Soil surface temperatures (SST) have not been measured by DMİ. SST values have to be calculated by using the measured values of ambient temperature, radiation and wind velocity for the different soil types. In this study, SST and ST values for one layer ground having different physical properties were calculated analytically by using 20 years daily mean values of ambient temperature, solar radiation, relative humidity and wind velocity for Adana/Turkey.

**Keywords:** Ground source heat pump (GSHP), Soil surface temperature (SST), Soil temperature (ST)

## 1. GİRİŞ

Toprak kaynaklı ısı pompalarının (TKIP) tasarımında toprak yüzey sıcaklıklarının (TYS) ve toprak sıcaklıklarının (TS) bilinmesi gerekmektedir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) tarafından toprak içindeki sıcaklıklar bazı istasyonlarda 5, 10, 20, 50 ve 100 cm derinliklerde ölçülmektedir. Ancak bu ölçümler sadece ölçülen yerlerdeki toprak özellikleri ve toprak yapıları için geçerli olup, diğer toprak yapılarına ve özelliklerine uygulanamaz. Homojen toprak özellikleri için bazı varsayımlar altında TYS ve TS'yi analitik olarak hesaplamak mümkündür. Bu konuda en önemli çalışmalar [1], [2] ve [3] tarafından yapılmıştır.

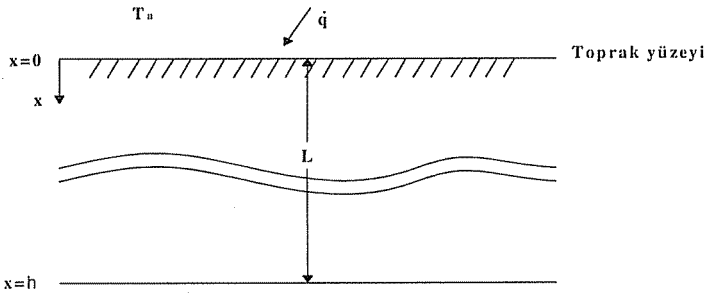
Bu çalışmada analitik çalışmalar dikkate alınarak Adana ili için 20 yıllık ortalama meteoroloji rasat bilgileri kullanılarak çeşitli toprak özellikleri için toprak sıcaklıkları hesaplanmış ve toprak sıcaklığına çeşitli parametrelerin etkisi tartışılmıştır.

## 2. TEORİK ESASLAR

Tek katmandan meydana gelen homojen yapılu topraklarda ısı transferi aşağıda verilen tek boyutlu zamana bağlı diferansiyel denklemden hesaplanır:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

Bu eşitlikte T sıcaklığı, t zamanı, x toprak derinliğine doğru koordinatı ve a'da ısı yayılım katsayısını göstermektedir. Burada toprak fiziksel özellikleri sabit kabul edilmiştir. Bu diferansiyel denklem toprak yüzeyindeki ve yüzeyden çok uzaktaki durumlarda yazılacak iki sınır şartı ile çözülebilir. Şekil 1'de iki sınır şartının yeri gösterilmiştir.



Şekil 1. Toprak ve yüzeyi

Toprak yüzeyindeki sınır şartı en genel şekilde aşağıda verilmiştir:

$$x = 0 : -k \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)_s = h(T_n - T_s) + a_s q - \epsilon_c \Delta R - q_v \quad (2)$$

Burada eşitliğin sol tarafı toprak içine iletimle transfer edilen ısıyı göstermektedir. Eşitliğin sağ tarafındaki ilk terim konveksiyonla ortamdaki transfer edilen ısıyı, ikinci terim yüzeye gelen toplam güneş enerjisini, 3. terim uzun dalga ışınımı ile yüzeyden transfer edilen ısıyı ve son terim ise yüzeyden su buharlaşmasından dolayı meydana gelen ısı kaybını göstermektedir.

Eşit.(2)'deki sembollerden,  $k$  toprak ısı iletim katsayısını,  $h$  toprak yüzeyi ile ortam arasındaki ısı transferi katsayısını,  $T_a$  ortam sıcaklığını,  $T_s$  toprak yüzey sıcaklığını,  $a_s$  toprak yüzeyi yutma katsayısını,  $q$  güneş ısı akım şiddetini,  $\epsilon_e$  yayma katsayısını,  $\Delta R$  uzun dalga radyasyonunu ve  $q_v$ 'de su buharlaşmasından dolayı yüzeyde olabilecek gizli ısı akım şiddetini göstermektedir.

Konveksiyonla ısı transferi katsayısı  $h$ , u rüzgâr hızı yardımıyla bulunabilir [1]:

$$h = 2.8 + 3u \quad (3)$$

[4]'e göre

$$a_s = 0.9 \quad ; \quad \epsilon_e = 1 \quad ; \quad \Delta R = 63 \quad (4)$$

olarak alınabilir.  $a_s$  için 0.8 değeri de tavsiye edilmiştir [2]. Koyu toprak için ise  $a_s$ 'nin değeri 0.85 ile 0.95 arasında verilmiştir [5].

Eşit.(2)'deki son terim buharlaşmadan dolayı olan ısı transferidir.  $\rho_s$  ve  $\rho_a$  toprak yüzeyinde ve ortam havasında su buharının kısmi yoğunlukları olmak üzere, buharlaşma gizli ısıyı aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$q_v = \beta h_{gl} (\rho_s - \rho_a) = \frac{\beta h_{gl} (P_s - P_a)}{R T} \quad (5)$$

Burada  $R$  su buharı gaz sabitini,  $T$  toprak yüzeyi ve ortam arasında ortalama bir sıcaklık olarak alınan mutlak sıcaklığı göstermektedir.  $h_{gl}$  buharlaşma gizli ısı ve  $\beta$ 'da konvektif kütle transferi katsayısıdır.

Kütle transferi katsayısı  $\beta$ ,  $h$  ile orantılı alınabildiği için aşağıdaki eşitlik önerilmiştir [2]:

$$q_v = 0.0168 f h (P_{ss} - \phi P_{sa}) \quad (6)$$

Burada  $P_{ss}$  ve  $P_{sa}$  yüzey ve ortam sıcaklıklarında su buharının doyma basınçlarıdır.

Doymuş kısmi basınçlar için TS 825'te 0-30°C arası sıcaklıklar için aşağıdaki eşitlik verilmiştir [6]:

$$P_s = 288.68 \left( 1.098 + \frac{T_s}{100} \right)^{8.024} \quad (7)$$

30-60°C arası sıcaklıklar için ise [4]'de verilen sayısal değerlerden aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir:

$$P_s = 975.29 \left( 0.9303 + \frac{T_s}{100} \right)^{7.094} \quad (8)$$

Eşit.(6)'daki f değeri çeşitli toprak yüzeylerini ve nemliliği dikkate alan bir parametre olup;

f=1.0	doymuş toprak	
f=0.6-0.8	nemli toprak	
f=0.4-0.5	kuru toprak	(9)
f=0.1-0.2	kurak toprak	

şeklindedir. Çimle kaplı yüzeyler için yukarıdaki değerlerin %70'i tavsiye edilmektedir [1]. Eşit.(6)'daki  $P_{ss}$  ve  $P_{sa}$ 'nın

$$P_s = A_p T + B_p \quad (10)$$

şekline dönüştürülmesi gerekmektedir.  $A_p$  ve  $B_p$  ise eşit.(7) ve (8)'de hesaplanan değerlerden aşağıdaki gibi elde edilir:

$$A_p = \frac{P_{smax} - P_{smin}}{T_{max} - T_{min}} \quad (11)$$

$$B_p = P_{smax} - A_p T_{max} \quad (12)$$

$T_{max}$  ve  $T_{min}$  değerlerinin yıllık en küçük ve en büyük günlük ortalama dış ortam sıcaklıkları olarak seçilmesi uygundur. Bu değerlerden ve

$$C_v = 0.0168 f \quad (13)$$

kısaltmasından eşit.(6) ile aşağıdaki bağıntı elde edilir:

$$\dot{q}_v = C_v h [A_p T_s - \phi A_p T_a + B_p (1 - \phi)] \quad (14)$$

Eşit.(2), (6), (10) ve (21)'den sınır şartı

$$-k \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) = h(T_a - T_s) + a_s q - \epsilon_c \Delta R - C_v A_p h T_s + C_v A_p h T_a \phi - C_v B_p h (1 - \phi) \quad (15)$$

haline gelir. Bu eşitlik de basit olarak

$$-k \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) = h_c (T_{sc} - T_s) \quad (16)$$

şeklinde yazılabilir. Burada aşağıdaki kısaltmalar yapılmıştır:

$$h_c = h (1 + C_v A_p) \quad (17)$$

$$T_{sc} = \frac{\left[ h (1 + C_v A_p \phi) T_n + a_s q - \varepsilon_c \Delta R - C_v B_p h (1 - \phi) \right]}{h_c} \quad (18)$$

Toprağın çok derinliklerinde sıcaklık gradyanı kaybolur. Bunun için aşağıdaki sınır şartı yazılır:

$$x \longrightarrow \infty : \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (19)$$

Eşit.(1), (2) ve (19)'un analitik çözümü, sıcaklığın sinüs fonksiyonu olarak tanımlanmasıyla mümkün olmaktadır. Bu kabulde problemin analitik çözümü yapılmıştır [1]. Sıcaklık zamanın ve x ekseninin bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi bulunmuştur:

$$T = T_{sn} + \Delta T_s \exp(-x^*) \sin(2\pi t^* - x^* + \phi_s) \quad (20)$$

Yüzey sıcaklığı da şu şekilde yazılabilir:

$$T_s = T_{sn} + \Delta T_s \sin(2\pi t^* + \phi_s) \quad (21)$$

Burada  $t^*$  ve  $x^*$  aşağıdaki gibi tarif edilmiştir:

$$t^* = \frac{t}{t_0} , \quad x^* = \frac{x}{x_0} , \quad x_0 = \left( \frac{at_0}{\pi} \right)^{1/2} \quad (22)$$

$t_0$  yıllık değişim incelendiğinde 365 gündür. Eşdeğer güneş sıcaklığı  $T_{sc}$  aşağıdaki gibi ifade edilmelidir:

$$T_{sc} = T_{sem} + \Delta T_{sc} \sin(2\pi t^* + \phi_{sc}) \quad (23)$$

Bu eşitlikte yer alan  $T_{sc}$  sıcaklığı yıllık hesaplarda yukarıdaki verilen eşitliğe uygun olarak belirlenmeli ve buradan da  $T_{sem}$ ,  $\Delta T_{sc}$  ve  $\phi_{sc}$  değerleri çeşitli eğri uydurma yöntemleri kullanılarak belirlenmelidir. Bu çalışmada çeşitli eğri uydurma yöntemler denenmiş ve en uygun olanının Rosenbrock yöntemi olduğuna karar verilmiştir.

Eşit.(21)'deki  $T_{sm}$ ,  $\Delta T_s$  ve  $\phi_s$  katsayıları aşağıda verilen bağıntılardan hesaplanmalıdır [1]:

$$T_{sm} = T_{sem} \quad (24)$$

$$\Delta T_s = \Delta T_{sc} \left[ (1 + \mu)^2 + \mu^2 \right]^{-1/2} \quad (25)$$

$$\phi_s = \tan^{-1} \left[ \frac{(1 + \mu)^2 \tan \phi_{sc} - \mu}{(1 + \mu) + \mu \tan \phi_{sc}} \right] \quad (26)$$

Burada verilen  $\mu$  değeri

$$\mu = \frac{k}{h_c x_o} \quad (27)$$

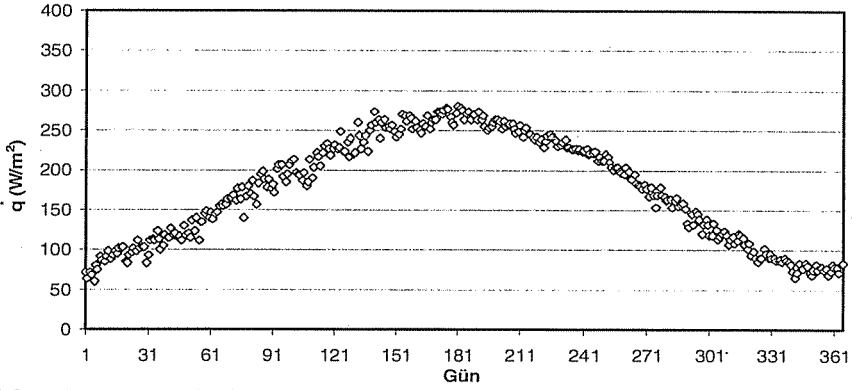
eşitliğinden bulunmalıdır. Bu eşitlikten de analitik metodun uygulanabilmesi için  $h_c$  değerinin yıllık ortalamasının alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

### 3. SONUÇLAR

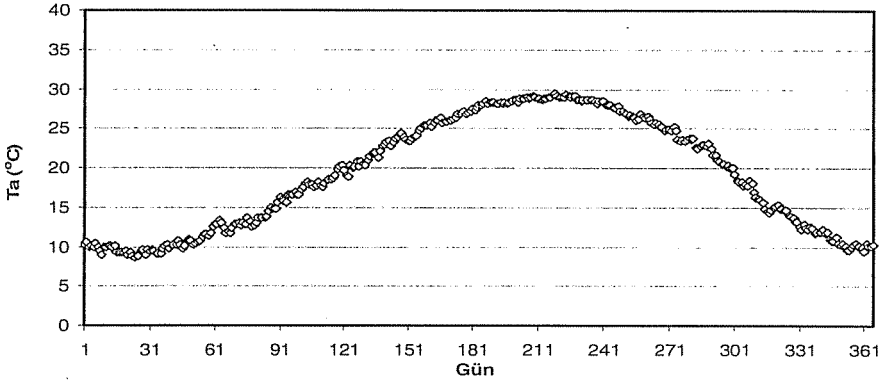
Eşit.(18)'de tarif edilen  $T_{sc}$ , günlük ortalama değerler kullanılarak hesaplanır.  $T_{sc}$  değerinin hesaplanmasında rüzgar hızı  $u$ , rölatif nem  $\varphi$ , ortam sıcaklığı  $T_a$  ve güneş enerjisi  $q$  değerlerinin günlük ortalamaları alınmıştır. Günlük ortalama rüzgar hızı değerinden ve eşit.(3)'den günlük ortalama ısı transferi katsayısı hesaplanır.  $T_{sc}$ 'nin hesaplanmasında DMİ Genel Müdürlüğünden alınan günlük güneş şiddeti, ortam sıcaklığı, rölatif nem ve rüzgar hızı değerlerinin Adana merkezi için verilen 1987-2007 yılları arasındaki ortalamaları kullanılmıştır. Bu ortalama değerler de Şekil 2-5'de gösterilmiştir. 20 yıllık ortalamaların dalgalanması yıllık dalgalanmalardan çok daha az olmaktadır.



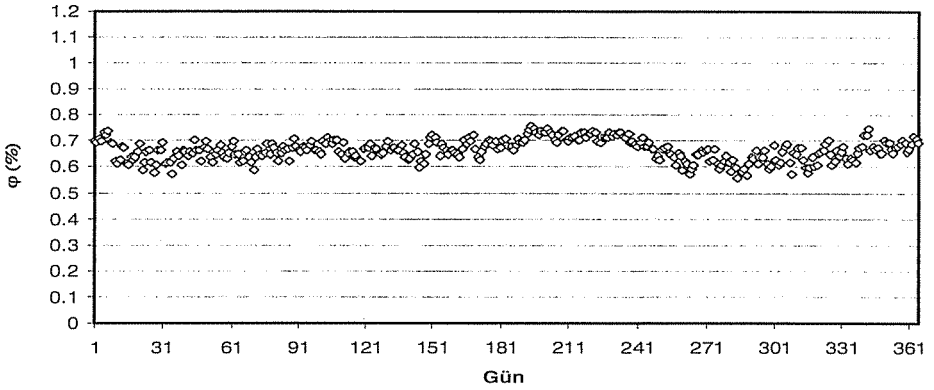
ADANA İLİNDE YER KAYNAKLI ISI POMPALARI İÇİN  
TOPRAK SICAKLIKLARININ BELİRLENMESİ



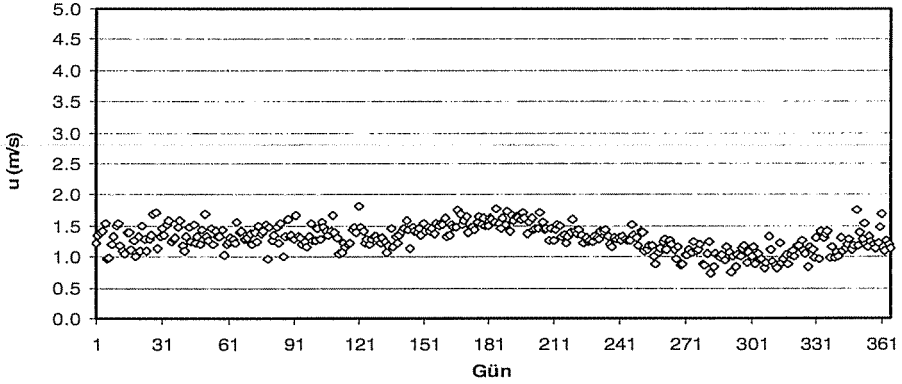
Şekil 2. Adana merkezi için 20 yıllık günlük ortalama güneş şiddetinin yıl boyunca değişimi



Şekil 3. Adana merkezi için 20 yıllık günlük ortalama sıcaklığın yıl boyunca değişimi

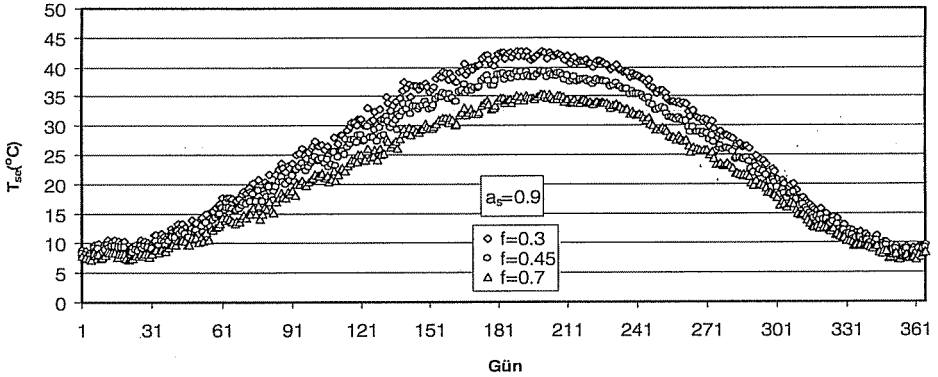


Şekil 4. Adana merkezi için 20 yıllık günlük ortalama bağıl nemin yıl boyunca değişimi

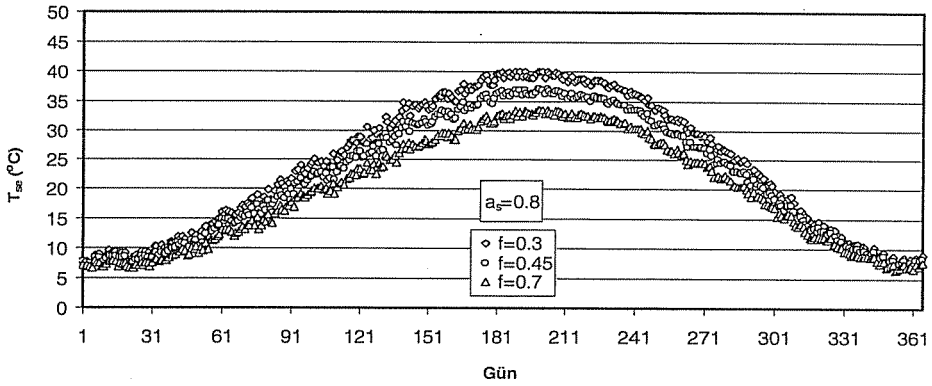


Şekil 5. Adana merkezi için 20 yıllık günlük ortalama rüzgâr hızının yıl boyunca değişimi

Şekil 6'da 20 yıllık ortalama değerler ve eşit.(4)'te verilen sayısal değerler kullanılarak Adana için  $T_{se}$  değerleri gösterilmiştir.  $a_s$ 'nin 0.9 yerine 0.8 alınmasıyla hesaplanan  $T_{se}$  değerleri de şekil 7'de gösterilmiştir. İki şekil arasındaki fark en fazla 2.7 °C olup, bu da yüksek bir değer değildir. Ancak  $a_s$  değerinin  $T_{se}$ 'ye ettiği açıktır.



Şekil 6. Farklı  $f$  değerleri için bulunan  $T_{se}$ 'nin yıl boyunca değişimi ( $k=1.142$  W/mK,  $a=2.53 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s,  $\epsilon_e=1.0$ ,  $\Delta R=63$ )



**Şekil 7.** Farklı  $f$  değerleri için bulunan  $T_{sc}$ 'nin yıl boyunca değişimi ( $k=1.142$  W/mK,  $a=2.53 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s,  $\epsilon_c=1.0$ ,  $\Delta R=63$ )

Kuru ve nemli çıplak topraklar arasında eşdeğer güneş sıcaklığında kışın 1 °C ve yazın 4 °C fark oluşmaktadır. Çünkü örtülü, nemli ve kuru toprakların eşdeğer güneş sıcaklıklarında kışın 1 °C ve yazın 3 °C fark oluşmaktadır. Bu değerlerden toprak neminin ve yüzey örtüsünün belirli bir düzeyde eşdeğer güneş sıcaklığını etkilediği görülmektedir.

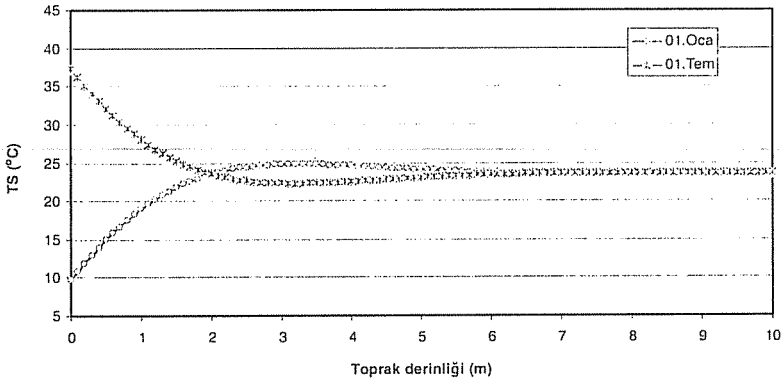
Şekil 6'da verilen değerler için  $T_{sem}$ ,  $\Delta T_{se}$ ,  $\phi_{se}$  ve  $t_{min,se}^*$  değerleri çizelge 1'de gösterilmiştir. Ayrıca çizelge 1'de  $T_{se}$  ile ilgili değerlerin yanında toprak yüzey sıcaklığı  $T_s$  ile ilgili  $T_{sm}$ ,  $\Delta T_{sm}$ ,  $\phi_s$  ve  $t_{min,s}^*$  değerleri de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Eşdeğer güneş sıcaklıkları ve toprak yüzey sıcaklığı parametrelerinin  $f$  değeri ile değişimi.  $a_s=0.9$ ,  $\epsilon_c=1.0$ ,  $k=1.142$ ,  $a=2.53 \times 10^{-7}$

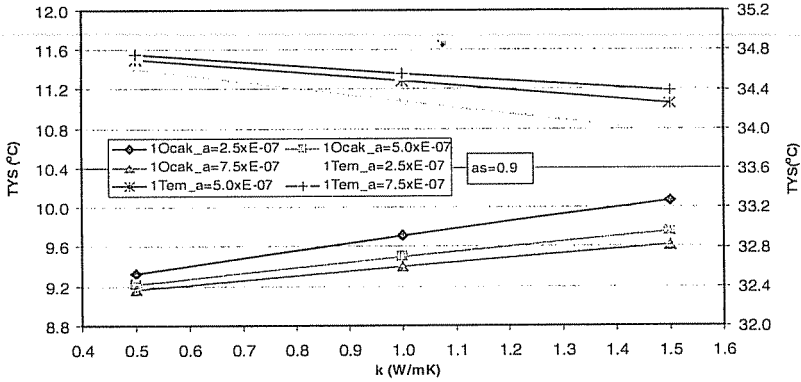
		$T_{sem}$ ve $T_{sm}$	$\Delta T_{se}$ ve $\Delta T_s$	$\phi_{se}$ ve $\phi_s$	$t_{min,se}^*$ ve $t_{min,s}^*$	$t_{min,se}$ ve $t_{min,s}$
<b>f=0.3</b>	$T_{sc}$	25.7333	-16.5679	1.3836	0.0298	10.88
	$T_s$	25.7333	-15.4409	1.3177	0.0403	14.71
<b>f=0.45</b>	$T_{sc}$	23.5575	-15.1696	1.3687	0.0322	11.75
	$T_s$	23.5575	-14.2831	1.3119	0.0412	15.04
<b>f=0.7</b>	$T_{sc}$	21.0676	-13.5705	1.3476	0.0355	12.96
	$T_s$	21.0676	-12.9284	1.3014	0.0429	15.66

Toprak sıcaklığının çeşitli zamanlarda derinlikle değişimi şekil 8'de gösterilmiştir.

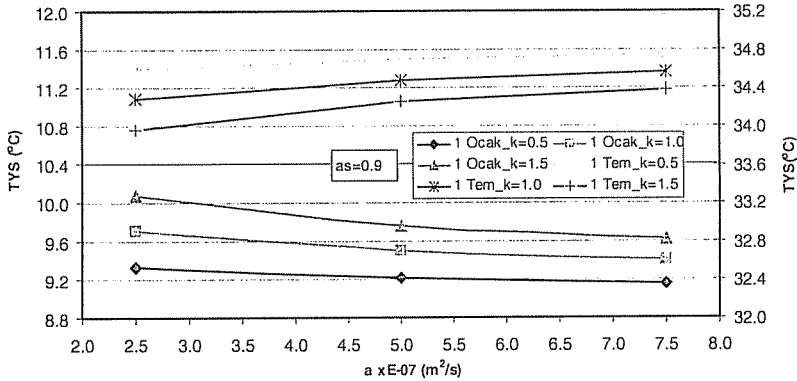
Şekil 9'da 1 Ocak ve 1 Temmuz için Toprak yüzey sıcaklıklarının toprak ısı iletim katsayısı ile değişimi gösterilmiştir. Bu şekillerden ısı iletim katsayısının TYS'ye etkisinin çok sınırlı olduğu görülmektedir. Şekil 10'da da ısıl yayılım katsayısının TYS'ye etkisi gösterilmiştir. Buradan da ısıl yayılım katsayısının TYS'ye etkisinin çok olmadığı görülmektedir. Şekil 11'de ise TYS'nin yüzey absorpsiyon katsayısı ile değişimi gösterilmiştir. TYS'lerin absorpsiyon katsayısı ile önemli değişiklikler gösterdiği anlaşılmaktadır.



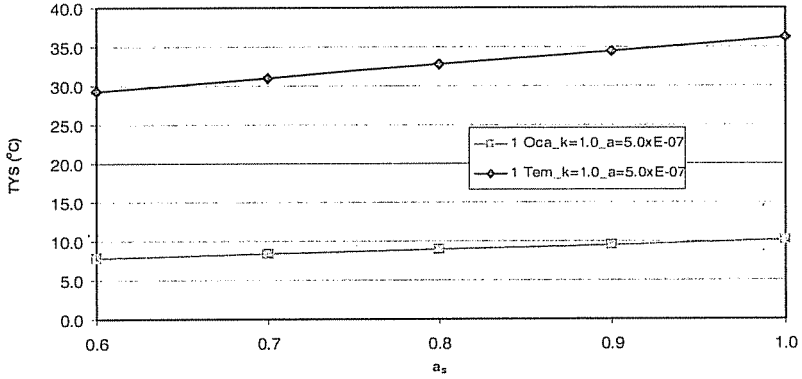
Şekil 8. 1 Ocak ve 1 Temmuz için toprak sıcaklığının çeşitli zamanlarda derinlikle değişimi ( $k=1.142$  W/mK,  $a=2.53 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s,  $\epsilon_c=1.0$ ,  $\Delta R=63$ ,  $f=0.45$ ,  $a_s=0.9$ )



Şekil 9. 1 Ocak ve 1 Temmuz için toprak yüzey sıcaklıklarının toprak ısı iletim katsayısı ile değişimi ( $f=0.45$ ,  $\epsilon_c=1.0$ ,  $\Delta R=63$ )



Şekil 10. 1 Ocak ve 1 Temmuz için toprak yüzey sıcaklıklarının ısı yayılım katsayısı ile değişimi ( $f=0.45$ ,  $\epsilon_c=1.0$ ,  $\Delta R=63$ )



Şekil 11. 1 Ocak ve 1 Temmuz için toprak yüzey sıcaklıklarının absorpsiyon katsayısı ile değişimi (  $f=0.45$ ,  $\epsilon_c=1.0$ ,  $\Delta R=63$ )

#### 4. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından "107M380" Nolu proje kapsamında desteklenmektedir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Salah El Din, M., M., "On the heat flow in to the ground", *Renewable Energy*, Vol. 18, pp. 473-490, 1999.
2. Mihalakakou, G., Santamouris, M., Lewis, J.O. and Asimakopoulos, D.N., "On the application of the energy balance equation to predict ground temperature profiles", *Solar Energy*, Vol. 60, pp. 181-190, 1997.
3. Mihalakakou, G., "On estimating soil surface temperature profiles", *Energy And Buildings*, Vol. 34, pp. 251-259, 2002.
4. *Ashrae Handbook, Fundamentals*, American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 6.3-6.4, 2003.
5. Patrick, E.A.F., *Soils*, Longman, New York, pp.25, 1983.
6. TS-825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları", pp. 38-39, 1999.



## FARKLI SAYIDAKİ SİLİNDİRLER ETRAFINDA FAZ DEĞİŞİMİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

**Ertan BUYRUK**

*C.Ü., Makine Mühendisliği Bölümü, Sivas/Türkiye*

**Ahmet FERTELLİ**

*Ç.Ü., Makine Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*

**Nesrin SÖNMEZ**

*C.Ü., Makine Mühendisliği Bölümü, Sivas/Türkiye*

**ÖZET :** *Bu çalışmada, içerisinde su bulunan dikdörtgen bir soğu depolama tankına yerleştirilen farklı sayıdaki silindirin, buz oluşumuna etkilerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla FLUENT paket programı yardımıyla akış alanının sayısal çözümü zamana bağlı olarak elde edilerek sıcaklık değişimi ve buz oluşumu görselleştirilmiştir. Silindir yüzey sıcaklığı -10 °C kabul edilerek, öncelikle tek ve iki silindir için katılma oranı (buz kesit alanı / silindir kesit alanı), sıcaklık dağılımı, ve sıvı oranı elde edilmiştir. Daha sonra saptırmalı ve saptırmasız dört silindir düzenlemeleri için aynı parametreler incelenmiştir:*

**Anahtar Kelimeler:** *Enerji depolama, faz değişimi, katılma*

## NUMERICAL INVESTIGATION OF PHASE CHANGE AROUND DIFFERENT NUMBERS OF CYLINDER

**ABSTRACT :** *In the present study, it is aimed to compare the effects of different cylinder geometries placed in a rectangular ice storage tank filled with water on ice formation. For this aim Fluent package program was used to solve the flow domain numerically and temperature distribution and ice formation depending on time were illustrated. Cylinder surface temperature was assumed as -10 °C and firstly ratio of  $A_i/A_s$  (Formed ice area/ Cross sectional area of cylinder), temperature distribution and liquid fraction were determined for single and two cylinders. Secondly, same parameters were obtained for both staggered and inline geometries.*

**Keywords:** *Energy storage, phase change, solidification*

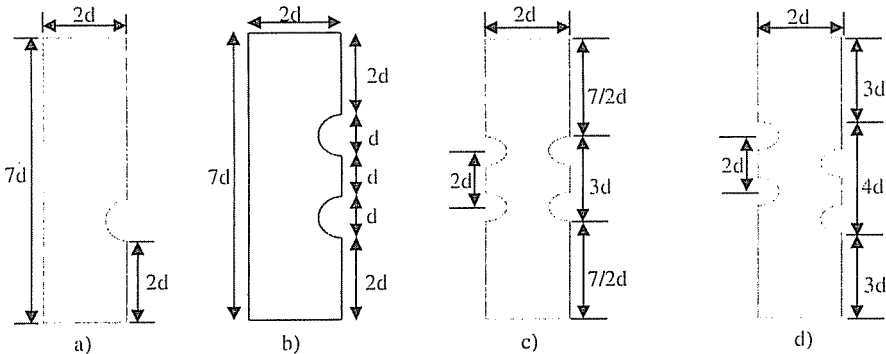
## 1. GİRİŞ

Soğu depolama sistemleri, elektriğin çok kullanıldığı gündüz saatlerindeki soğutma enerjisi üretimini, elektriğin daha az kullanıldığı gece saatlerine kaydırarak, yığılmaları engellemekte ve elektrik kullanımını düzenlemektedir. Bu sistemlerde faz değişim malzemesi olarak genelde su ve ötektik tuzlar kullanılmaktadır (1). Suyun donma ve erime gizli ısısından faydalanan buz depolamalı sistemlerdeki en önemli problemlerden birisi şarj işlemi esnasında ısı transfer oranındaki azalmadır. Buz oluşumu sırasında zamanla artan buz kalınlığı ve borular üzerinde oluşan buzların birbiri ile çakışması ısı transferini etkileyen parametrelerdir. Suyun faz değişimi ve silindir üzerinde buz oluşum karakteristiklerini incelemek için çeşitli deneysel ve sayısal araştırmalar yapılmıştır. Bakır boru etrafındaki buz oluşumunun aksenal yöndeki değişimi, farklı debi ve farklı su sıcaklıkları için deneysel olarak araştırılmıştır (2). Tank içerisine yerleştirilmiş dikey bir boru etrafındaki buz oluşumu ve doğal konveksiyonun buz oluşumuna etkisi, farklı silindir düzenlemeleri için (4, 6 ve 8 silindir) sıcaklık dağılımı, buz oluşumu ve ısı akısının değişimi sayısal ve zamana bağlı olarak araştırılmıştır (3,4). Ayrıca tek ve iki silindir etrafındaki katılaşma, farklı su sıcaklıkları için deneysel ve sayısal olarak çalışılmıştır (5).

Bu çalışmada, faz değişim malzemesi olarak su kullanılan dikdörtgen şeklindeki bir tank içerisine farklı sayıda ve farklı şekillerde yerleştirilen silindirlerin buz oluşumuna olan etkileri incelenmiştir. Öncelikle, yüksekliği  $7d$  ve genişliği  $2d$  olan bir soğu depolama tankı içerisine yerleştirilmiş tek ve iki silindir için su sıcaklığının  $4^{\circ}\text{C}$  olması durumunda çözümler yapılmış, tek silindir için elde edilen sonuçlar daha önce yapılan bir çalışma ile karşılaştırılmıştır (5). Daha sonra, yüksekliği  $10d$  ve genişliği  $2d$  olan dikdörtgen bir soğu depolama tankı içerisine 4 silindir eşit aralıklı olarak hem saptırmalı hem de saptırmaz olarak yerleştirilmiş, su sıcaklığının  $0^{\circ}\text{C}$  ve  $4^{\circ}\text{C}$  olması durumunda katılaşma oranları incelenmiştir.

## 2. MODEL VE SAYISAL YÖNTEM

Çalışmada kullanılan farklı silindir yerleşimleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Tank yüksekliği  $7d$  ve  $10d$ , tank genişliği (TG)  $2d$  ve silindir çapı ( $d_s$ )  $0.0254\text{m}$  olarak belirlenmiştir.

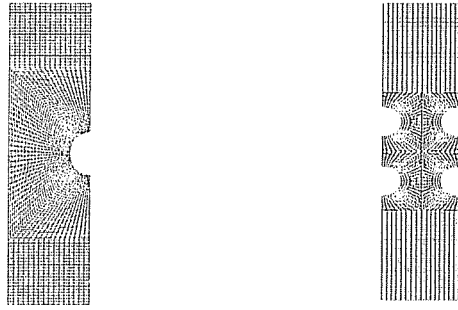


Şekil 1. Silindir düzenlemeleri a) tek, b) iki, c) dört silindirli saptırmaz, d) dört silindirli saptırmalı



Bu değerler, literatürdeki değerlerle benzerlik sağlanması amacıyla seçilmiştir. Tüm analizlerde silindir yüzey sıcaklığı  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  olarak alınmıştır. Yukarıda belirlenen modellere uygunluğu, kolay oluşturulabilmesi ve çözülebilmesi gibi üstünlüklerinden dolayı ağ elemanı olarak dörtgen elemanlar kullanılmıştır. Tüm çözümlerinde kullanılan eleman sayısı 20000–25000 arasında değişmektedir. Ağ yapısı oluşturulurken değişimin hızlı olması beklenen ve asıl inceleme alanı olan silindir yakınındaki bölgelerde daha sık bir ağ yapısı oluşturularak çözümün hassasiyeti artırılmıştır. Kullanılan ağ yapısı oluşturulan iki model için Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu çalışmada, çözümlerinin kolaylaştırılması amacıyla aşağıdaki kabuller yapılmıştır (6):

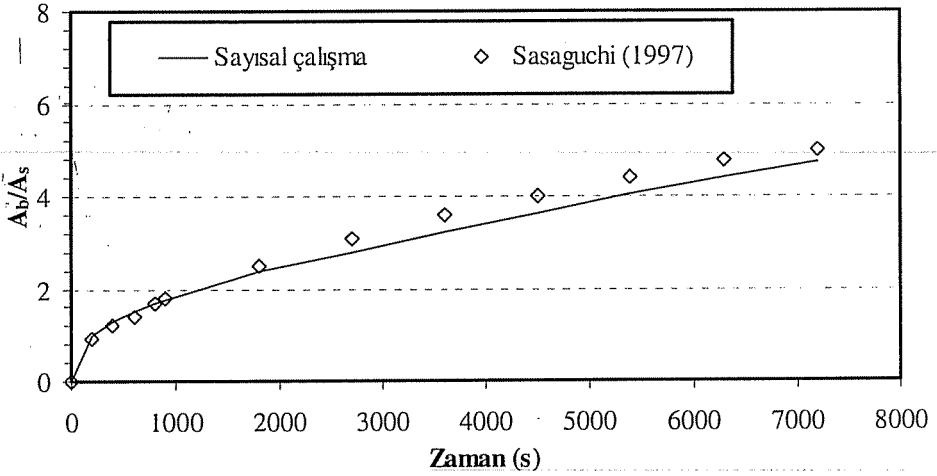
- Akış iki boyutlu, laminer ve sıkıştırılmazdır.
- Tank içerisinde faz değişim malzemesi (FDM) olarak kullanılan su, Newtonumsu bir akışkandır.
- Isı iletim katsayısı  $k$  ve özgül ısı  $c$ , katı ve sıvılar için ayrı ayrı sabit değerler olarak alınmıştır ( $k_s \neq k_k$ ,  $c_s \neq c_k$ ).
- Tank cidarları yalıtılmıştır.
- $t=0$  anında su (FDM) durağandır.
- $t=0$  anında katılaşma sözkonusu olmadığından dolayı entalpi, ilk durumdaki su sıcaklığı ( $T_i$ ) ve özgül ısı ( $c_s$ ) kullanılarak elde edilmiştir ( $h=h_i=c_s T_i$ ).
- Silindir yüzeylerinde,  $x$  ve  $y$  yönündeki hız bileşenlerinin 0 olması ( $u=0$ ,  $v=0$ ) yani kaymama prensibine dayalı duvar sınır koşulu ve buna ek olarak, entalpi değeri için  $h=h_d=c_k T_d$  formülü geçerlidir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan iki farklı model için oluşturulan ağ yapısı

### 3. SAYISAL SONUÇLAR

Kullanılan sayısal yöntem ile elde edilen sonuçların doğruluğunu belirleyebilmek için, daha önce yapılmış deneysel bir çalışmadan [5] elde edilen sonuçlarla karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırmada kullanılan model Şekil 1a’da gösterilmiştir. Burada silindir çapı  $0.0254\text{ m}$ , suyun başlangıç sıcaklığı  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve silindir yüzey sıcaklığı  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  olarak alınmıştır. Zamana bağlı yapılan sayısal çözümler sonucunda, buz alanının ( $A_b$ ) silindir kesit alanına ( $A_s$ ) oranı  $A_b/A_s$  elde edilerek, referans çalışma ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlarla sayısal çözümler karşılaştırıldığında, buz oluşumunun ilk zamanlarında katılaşma oranlarının tamamen aynı, ilerleyen katılaşma zamanları için ise oldukça yakın ve paralel olduğu görülmüştür (Şekil 3). Böylece, kullanılan sayısal yöntemin doğru olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 3. Tek silindir etrafındaki buz oluşumunun karşılaştırılması

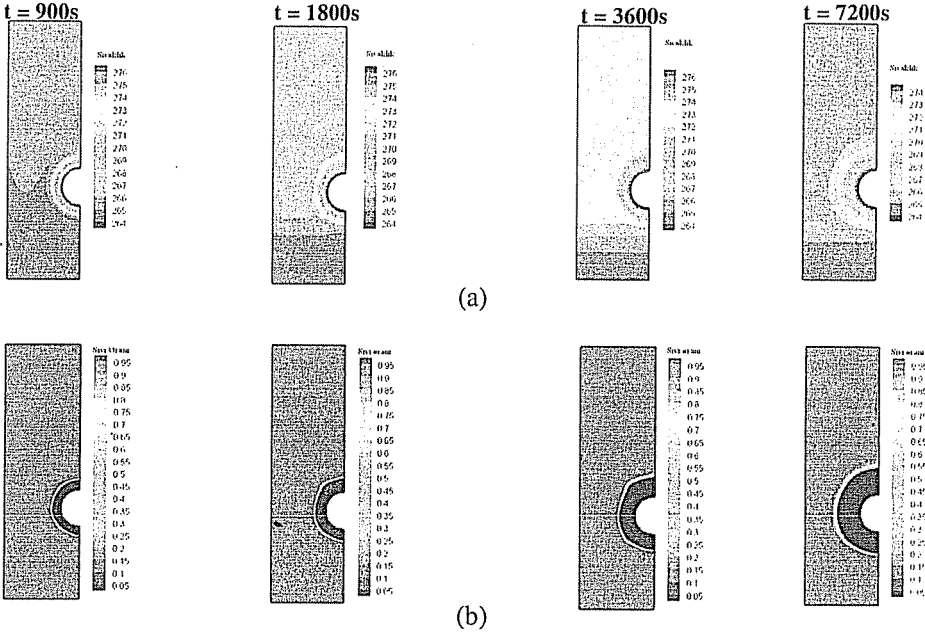
Elde edilen sonuçlarda, tüm modellemeler için 900 s, 1800 s, 3600 s ve 7200 s için sıcaklık ve sıvı oranlarının dağılımları gösterilmektedir. Sıvı oranı, depo içerisinde bulunan sıvı miktarının başlangıçtaki toplam sıvı miktarına oranıdır. Yani, sıvı oranının 0 olması suyun tamamen buza dönüştüğü bölgeyi, 1 olması ise katılaşmanın olmadığı ve tamamen su olduğunu göstermektedir. Ayrıca farklı silindir düzenlemelerinin katılaşma oranlarının ( $A_b/A_s$ ) zamanla değişimi de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Tek silindir için elde edilen sıcaklık dağılımları ve sıvı oranları Şekil 4a'da gösterilmiştir. 900. saniyede silindir etrafında bulunan 0 °C'deki su katmanından dolayı doğal konveksiyon hareketinin oluştuğu görülmektedir. 1800. saniyede soğuk su silindirin üst bölgesine doğru hareketlenip orada toplanırken, 4 °C'deki sıcak su ise silindirin alt bölgesinde toplanmaktadır. 1800 s, 3600 s ve 7200 s sonundaki sıcaklık dağılımları incelendiğinde, silindirler üzerinde oluşan buz tabakasının artması ile tankın alt bölgesi hariç tamamında su sıcaklığının 0 °C'ye kadar azaldığı görülebilmektedir. Şekil 4b'de ise silindir üzerinde oluşan buz kalınlığının zamanla arttığı ve buz yapısının simetrik bir yapıda oluştuğu görülmektedir.

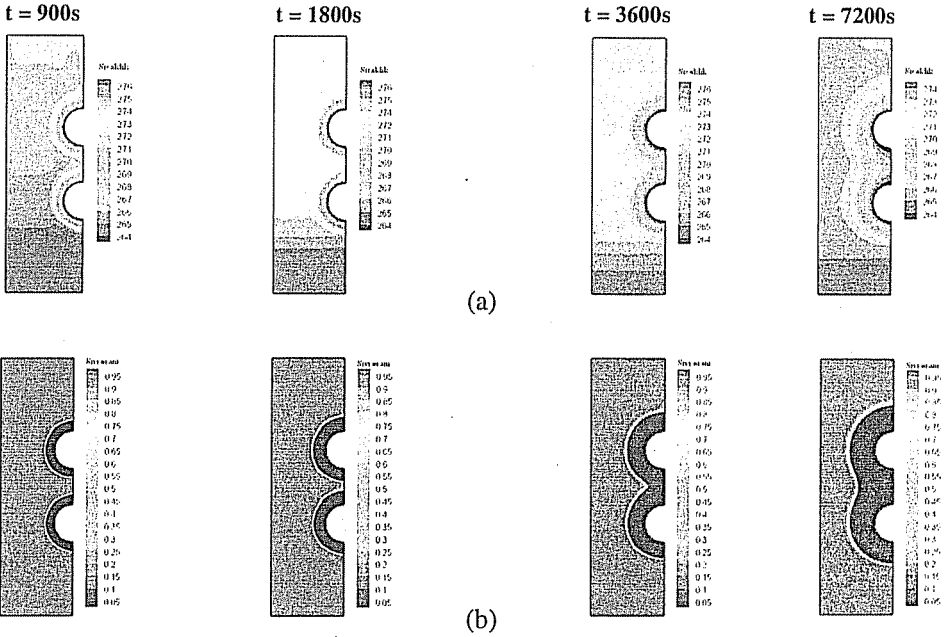
Aynı geometri için silindir sayısının iki olması durumunda elde edilen sıcaklık dağılımları ve sıvı oranları Şekil 5'de gösterilmiştir. İlk 900 s'de başlayan yukarı yönlü akış hareketi 1800 s'de hemen hemen sonlanmaktadır. 3600. s'de tankın alt ve üst bölgesinde ısı katmanlaşma oluşmakta ve buz oluşumuyla beraber 7200. saniyede tank içerisindeki tüm noktalarda sıcaklık değerleri faz değişim sıcaklığına kadar azalmaktadır.

Tek silindir durumu ile karşılaştırıldığında 1800. s'de ısı katmanlaşmanın tamamlandığı ve suyun daha çabuk soğuduğu sıcaklık dağılımlarından net olarak görülebilmektedir. Her iki silindir durumu için katılaşma oranı incelendiğinde, zamanla buz miktarının arttığı ve iki silindir düzenlemesinde katılaşma oranının daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 6).

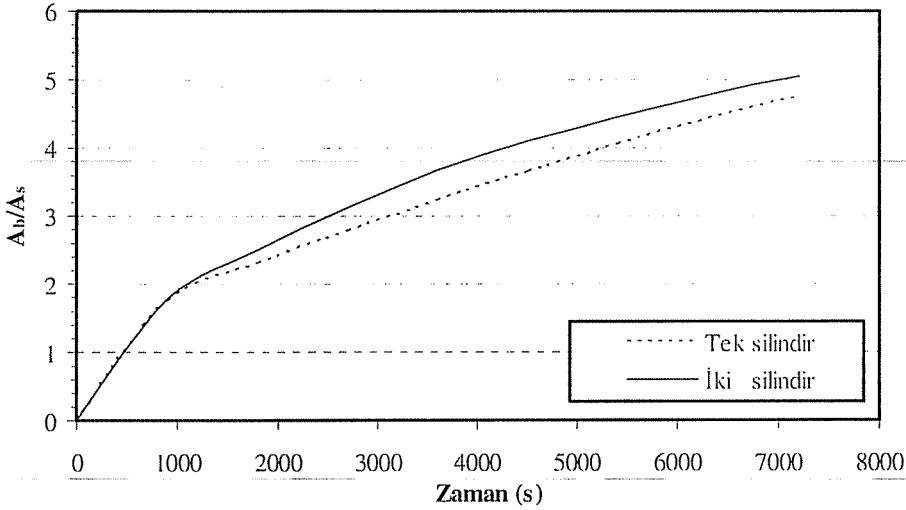
FARKLI SAYIDAKİ SİLİNDİRLER ETRAFINDA FAZ DEĞİŞİMİNİN  
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ



Şekil 4. Tek silindir modeli için a) sıcaklık dağılımları, b) sıvı oranları



Şekil 5. İki silindir modeli için a) sıcaklık dağılımları, b) sıvı oranları



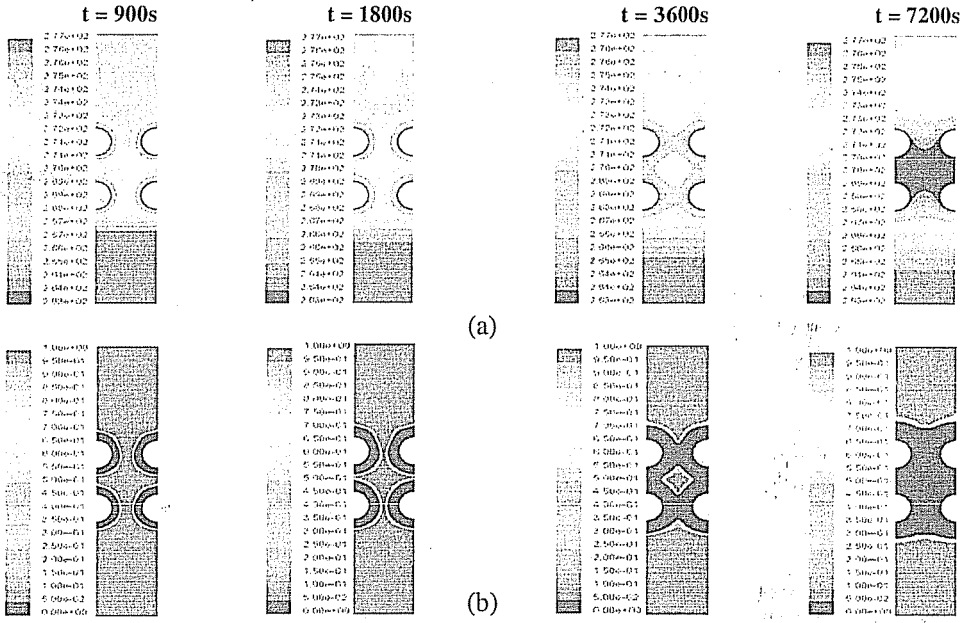
**Şekil 6.** Tek ve iki silindirli düzenleme için katılma oranlarının karşılaştırılması

Silindirlerin saptırmasız şekilde tank içerisine yerleştirilmesi durumunda elde edilen sıcaklık dağılımları incelendiğinde, analiz başlangıcında tank içerisinde her bölgede  $4^{\circ}\text{C}$  olan su sıcaklığının ısı katmanlaşma ile tankın alt ve üst noktalarında farklı değerlere ulaştığı gözlenmektedir (Şekil 7a). Başlangıçta  $4^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta ve maksimum yoğunlukta olan su, zaman içerisinde sıcaklığın azalmasıyla yoğunluk etkisinden dolayı tank içerisinde hareketlenecektir. Silindir yüzeylerine yakın bölgelerde diğer alanlara göre daha soğuk olan suyun silindirin yukarı bölgesine hareketi sonucu olarak, tankın alt bölgesinden yukarı bölgesine doğru suyun ısı katmanlaşması net olarak sıcaklık dağılımından görülebilmektedir. 1800 s ve daha sonraki zamanlardaki sıcaklık dağılımları incelendiğinde, tüm silindirler üzerinde oluşan buz kalınlıkları zamanla artmaktadır. Artan buz kalınlıklarının etkisiyle üst taraftaki soğuk olan suyun daha da soğuduğu, alt tarafta birikmiş olan su katmanının sıcaklığının ise ilerleyen zamanlarda daha da azaldığını ve kendi içerisinde ayrı bir katmanlaşma oluşturduğu görülebilmektedir.

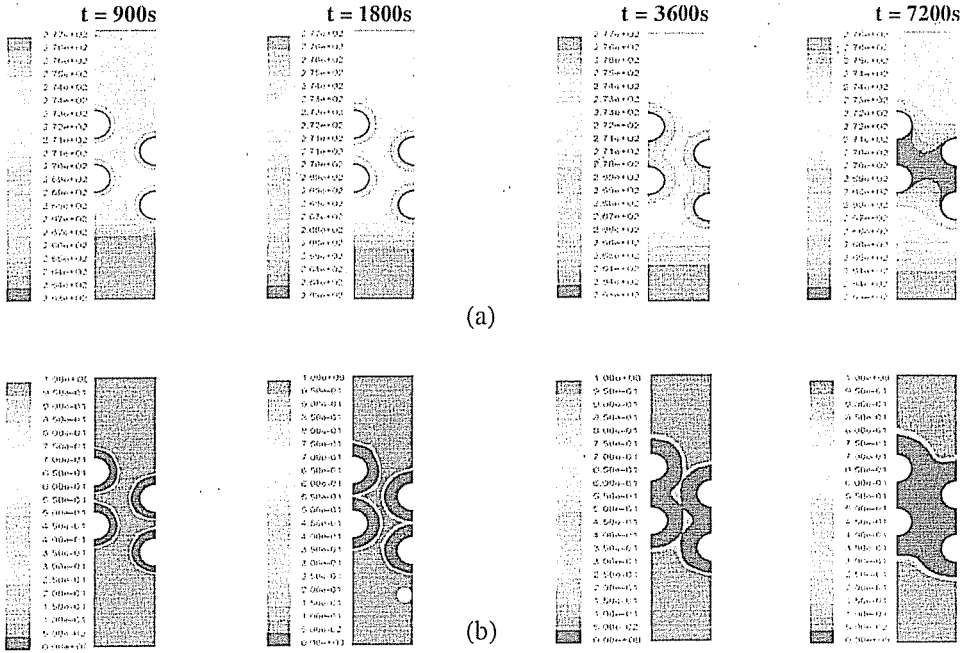
Aynı model için sıvı oranlarının dağılımlarına bakıldığında (Şekil 7b), 900 s sonunda silindir etrafındaki buzların birbirleriyle herhangi bir teması olmadığı ve tüm silindirler üzerinde oluşan buz kalınlıklarının yaklaşık olarak eşit olduğu görülmektedir. Süre 1800 s sonuna geldiğinde, alt ve üst silindirler üzerinde oluşan buz tabakalarının birbirleri ile teması başlamış fakat karşılıklı olarak herhangi bir birleşme olmamıştır. İlerleyen zaman içerisinde oluşan buz tabakalarının hem yatay hem de dikey yönde tankın alt ve üst bölgesini ikiye bölecek şekilde birleştiği görülmektedir.

Silindirlerin saptırılmalı şekilde yerleştirilmeleri durumunda (Şekil 8), sıcak suyun yoğunluk etkisinden dolayı tankın alt bölgesinde, sıcaklığı  $1^{\circ}\text{C}$  olan soğuk suyun ise tankın üst bölgesinde konumlandığı görülmektedir.

FARKLI SAYIDAKİ SİLİNDİRLER ETRAFINDA FAZ DEĞİŞİMİNİN  
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ



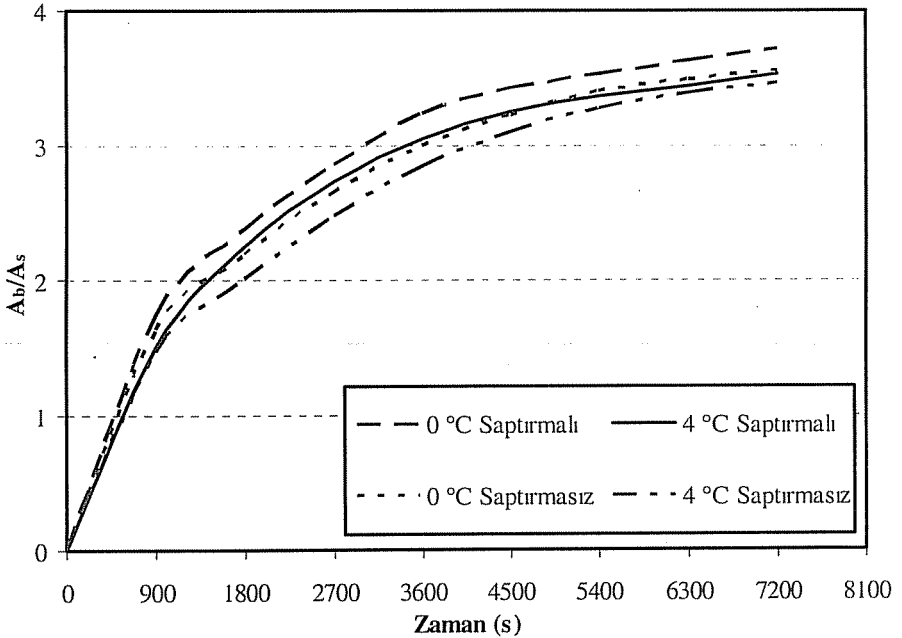
Şekil 7. Saptırmasız silindir modeli için a) sıcaklık dağılımları, b) sıvı oranları



Şekil 8. Saptırmalı silindir modeli için a) sıcaklık dağılımları, b) sıvı oranları

Yüzey sıcaklığı  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  olan silindir üzerinde oluşan katılaşmanın artması ile birlikte, hem üst bölgedeki hem de alt bölgede bulunan su daha da soğumaya başlamıştır. 900 s'de silindir üzerinde belirli bir kalınlığa ulaşan buz katmanı, 1800 sn sonunda alt ve üst silindirler üzerinde birbirine çok yaklaşmış ama henüz bir birleşme oluşmamıştır. Zamanın artması ile tüm silindirler üzerindeki buz katmanları birbirleri ile tamamen birleşmiştir. Sıcaklık dağılımlarındaki bu değişimlerin sıvı oranlarındaki dağılımlarla iyi bir uyum içerisinde olduğu görülebilmektedir.

Silindirlerin tank içerisine saptırmalı ve saptırmazsız yerleştirilmesi, su sıcaklığının  $0^{\circ}\text{C}$  ve  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  olması durumu için katılaşma oranlarının zamanla değişimi Şekil 9'da gösterilmiştir. Her iki düzenleme için (saptırmalı ve saptırmazsız) yaklaşık 1000 s süresince katılaşma oranları aynı iken, bu zamandan sonra silindirlerin saptırmalı yerleştirilmeleri durumu için katılaşma oranının daha fazla olduğu görülmektedir. Yoğunluk etkisinden kaynaklı yukarı yönlü su hareketinin, saptırmalı silindir düzenlenmesinde daha hızlı oluşmasından dolayı oluşan katılaşma oranı daha fazladır. Her iki silindir düzenlemesi için de ilerleyen zamanlarda, silindirler üzerinde oluşan buz tabakaları birleşerek tank hacmini küçültüp iki bölgeye ayırmaktadır. Bu yüzden katılaşma oranları 6000 s'den sonra tekrar birbirine yakın olarak devam etmektedir ( $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  saptırmalı ve  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  saptırmazsız). Ayrıca her iki düzenleme için, su sıcaklığının  $0^{\circ}\text{C}$  olması durumunda katılaşma oranının daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Saptırmalı ve saptırmazsız silindirler için katılaşma oranlarının karşılaştırılması

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada tek ve iki silindirli düzenleme, aynı zamanda dört silindirin hem saptırmalı hem de saptırmaz yerleştirmeleri durumunda sıcaklık dağılımları ve katılaşma oranları elde edilmiştir. Sonuçlardan, iki silindir olması durumunda katılaşma oranının daha fazla olduğu, silindir sayısının 4 olması durumunda ise saptırmalı düzenleme durumunda katılaşma oranının daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca saptırmalı ve saptırmaz düzenlemelerin her ikisinde de su sıcaklığının 0 °C olması durumunda katılaşma oranının daha fazla olduğu görülmektedir.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Fertelli,A., Büyükalaca,O., "Soğu depolamalı iklimlendirme sistemleri", Soğutma Dünyası, Sayı:24, s. 29-35, 2004.
2. Habeebullah,B.A., "An experimental study on ice formation around horizontal long tubes", International Journal of Refrigeration, Vol.30, No. 5, pp. 789-797, 2007.
3. Stampa,C.S., Nieckele,A.O., "Numerical study of ice layer growth around a vertical tube", Thermal Engineering, Vol. 4, No. 2, pp. 138-144, 2005.
4. Shih,Y., Chou,H., "Numerical study of solidification around staggered cylinder in a fixed space", Numerical Heat Transfer Part A, Vol.48, pp.239-260, 2005.
5. Sasaguchi,K., Kusano,K., Vişkanta,R., "A numerical analysis of solid-liquid phase change heat transfer around a single and two horizontal, vertically spaced cylinders in a rectangular cavity", Int.J. Heat Mass Transfer, Vol. 40, No. 6, pp. 1343-1354, 1997.
6. Sönmez,N, Buyruk,E, Fertelli,A. "Buz oluşumuna silindir pozisyonunun etkisinin sayısal olarak incelenmesi", Ç.Ü. Müh.-Mim. Fakültesi Dergisi, Cilt.22, Sayı. 2, s.213-222, 2007.





**BUCAK (KARAIŞALI) VE YAKIN DOLAYININ JEOLJİSİ VE DEMİRYOLU  
GÜZERGAHI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Cengiz KÖSE, Cavit DEMİRKOL ve Ulaş İnan SEVİMLİ**  
Ç.Ü. , Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** *Bu çalışma, Adana'nın Karaisalı İlçesi'nin güneybatısında bulunan Bucak Köyü ve yakın civarında yüzeyleyen birimlerin stratigrafik özelliklerinin incelenmesini kapsamaktadır. Bu çalışma kapsamında detaylı olarak incelenen Tersiyer yaşlı kaya birimlerinin temelini, inceleme alanının çok sınırlı bir bölgesinde Çokak Fayı ile yüzeye çıkan, Permo-Karbonifer yaşlı Karahamzauşağı Formasyonu oluşturmaktadır. Paleozoyik yaşlı temel birim üzerine transgresif ve açısız uyumsuz olarak gelen Tersiyer yaşlı birimler sırasıyla; Alt-Orta Miyosen yaşlı Kaplankaya ve Karaisalı formasyonları, Orta Miyosen yaşlı Güvenç Formasyonu, Üst Miyosen yaşlı Kuzgun Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve taraçadır. Temel üzerine açısız uyumsuzlukla gelen resifal ortam özellikli Kaplankaya-Karaisalı formasyonları birbirleri ile yanıl ve düşey geçişli olarak gözlenmektedir. Özellikle resif yapıcı organizmaların oluşturduğu Karaisalı Formasyonu taş ocakları açısından önemli bir kaynak kayacık konumundadır. Miyosen resifleri üzerine uyumlu olarak Güveç Formasyonu'nun ince taneli (kıltaşı-silttaşı ve kısmen ince taneli kumtaşı) kırıntılı kayacıkları gelmektedir. Bu birimin resif ilerisi ve kısmen derin denizel bir ortamda çökeldiği saptanmıştır. Tabanda menderesli nehir çökellerinden çapraz tabakalı çakıltaşı-çakıllı kumtaşlarıyla başlayan Kuzgun Formasyonu yukarı doğru kumtaşı-çamurtaşı ardalanımına geçmektedir. Üst kesimlerde sığ denizel-plaj nitelikli kumtaşlarıyla temsil edilen formasyon üst kesimlere doğru ise kalınlığı on metreyi geçmeyen resifal kireçtaşı merceklerinin varlığı belirlenmiştir. Kuvaterner yaşlı alüvyon ve taraçalar daha yaşlı bütün birimler üzerinde uyumsuz olarak bulunmaktadır.*

## GEOLOGICAL INVESTIGATION OF BUCAK (KARAIŞALI) AND ITS NEAR SURROUNDINGS AREA AND UTILIZATION WITH IN THE RAILWAY ROUTE CONCEPT

**ABSTRACT :** *This study comprises the investigation of stratigraphic properties of the formations cropped out around Bucak village and its near surroundings in the southwest of Karaisalı town in Adana. Permo-Carboniferous aged Karahamzauşağı formation which crop out due to Çokak Fault in a very limited area in the study area form the basement rocks underneath the well investigated Tertiary rock units. Transgressively Lower-Middle Miocene age Kaplankaya and Karaisalı formations, Middle Miocene age Güvenç Formation and Upper Miocene age Kuzgun formation, rest on the Paleozoic basement with angular unconformity and Quaternary alluviums and terrace conglomerates unconformably covers all the older units. Kaplankaya and Karaisalı formations, which unconformably overlie the basement and present reef environment characteristics, have transitional contacts eachother. Karaisalı formation which was build by especially reef organisms has an important source for the stone quarries. Fine grained sediments such as claystone-siltstone and partially fine grained sandstones of Güvenç Formation conformably covers the Miocene reef carbonates. It is determinated that this unit deposited fore reef and partially in deep marine environment. The Kuzgun Formation which starts with cross bedded pebble stone-pebbly sandstones of meandering river sediments pass upward into sandstone-mudstone alternations. The upper part is represented by shallow marine-beach sandstone and to the top reef lenses less than 10 meter thicknes have been observed to the top part of the unit. Quaternary alluviums and terrace conglomerates unconformably rest on all older units.*

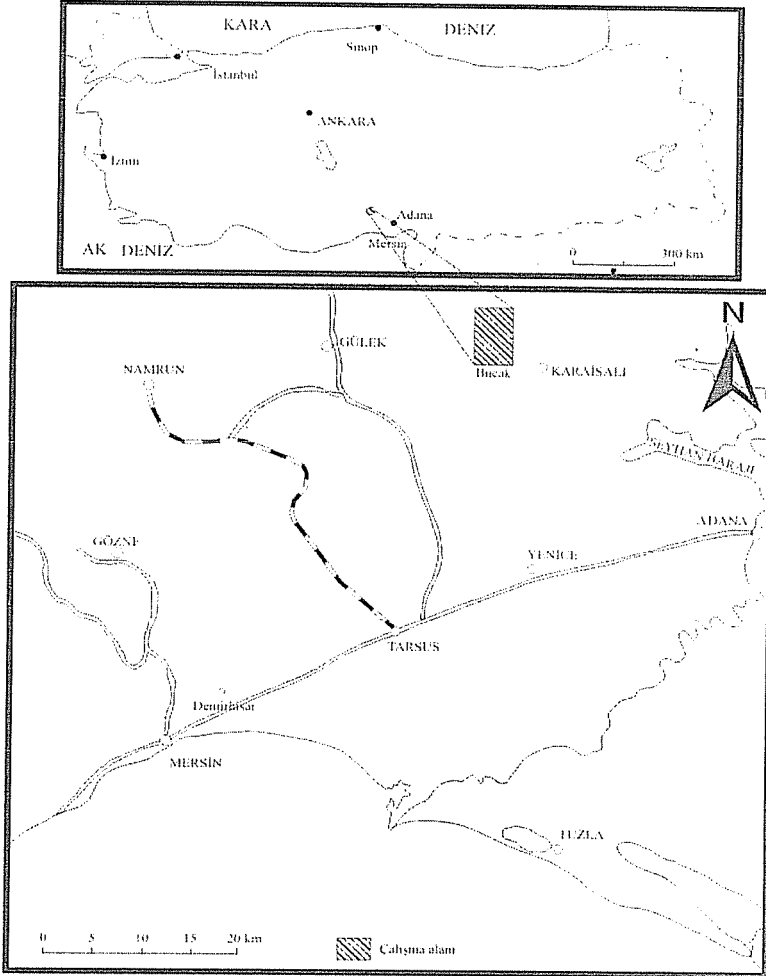
### 1. GİRİŞ

Bu çalışmada Bucak (Karaisalı) ve yakın civarında yüzeyleyen birimlerin stratigrafik, jeolojik ve kısmen sedimantolojik özelliklerinin incelenip, demiryolu güzergâhi açısından uygun olup olmadığı irdelenmiştir.

İnceleme alanı Adana iline bağlı Karaisalı İlçesinin yaklaşık 15 km GB'sındaki Bucak Köyü ve civarında yaklaşık 140 km<sup>2</sup> lik alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Bu alan 1/25.000 ölçekli Adana N33 - c2, c3, N34 - d1 ve d4 topoğrafik paftalarında yer almaktadır.

İnceleme alanında Paleozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler litostratigrafi ve kronostratigrafi esaslarına göre ayırtlanarak bölgenin 1/25.000 ölçekli ayrıntılı jeoloji haritası hazırlanmıştır. Çalışma alanında temeli Permo-Karbonifer yaşlı Karahamzauşağı Formasyonu oluşturmaktadır. Alt-Orta Miyosen yaşlı Kaplankaya Formasyonu açısız uyumsuzlukla Karahamzauşağı Formasyonunun üzerine gelmektedir. Alt-Orta Miyosen yaşlı Karaisalı Formasyonu, Kaplankaya Formasyonu ile yanall ve düşey geçişli olarak çökelmiştir. Orta-Üst Miyosen yaşlı Güvenç Formasyonu uyumlu olarak bu birimleri örtmüştür. Güvenç Formasyonu üzerine Üst Miyosen yaşlı Kuzgun Formasyonu gelmektedir. Bölgedeki en genç birim ise Kuvaterner yaşlı taraça ve alüvyonlardır.

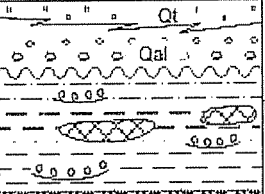
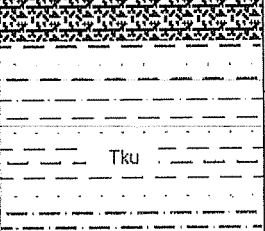
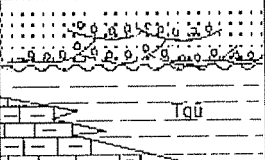
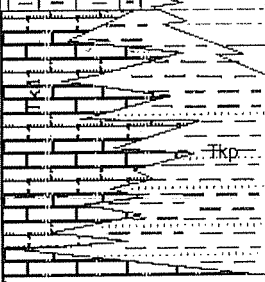

*BUCAK (KARAIŞALI) VE YAKIN DOLAYININ JEOLJİSİ VE  
DEMİRYOLU GÜZERGAHI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ*



**Şekil 1.** Çalışma alanının yer bulduru haritası

## 2. ARAŞTIRMA BULGULARI

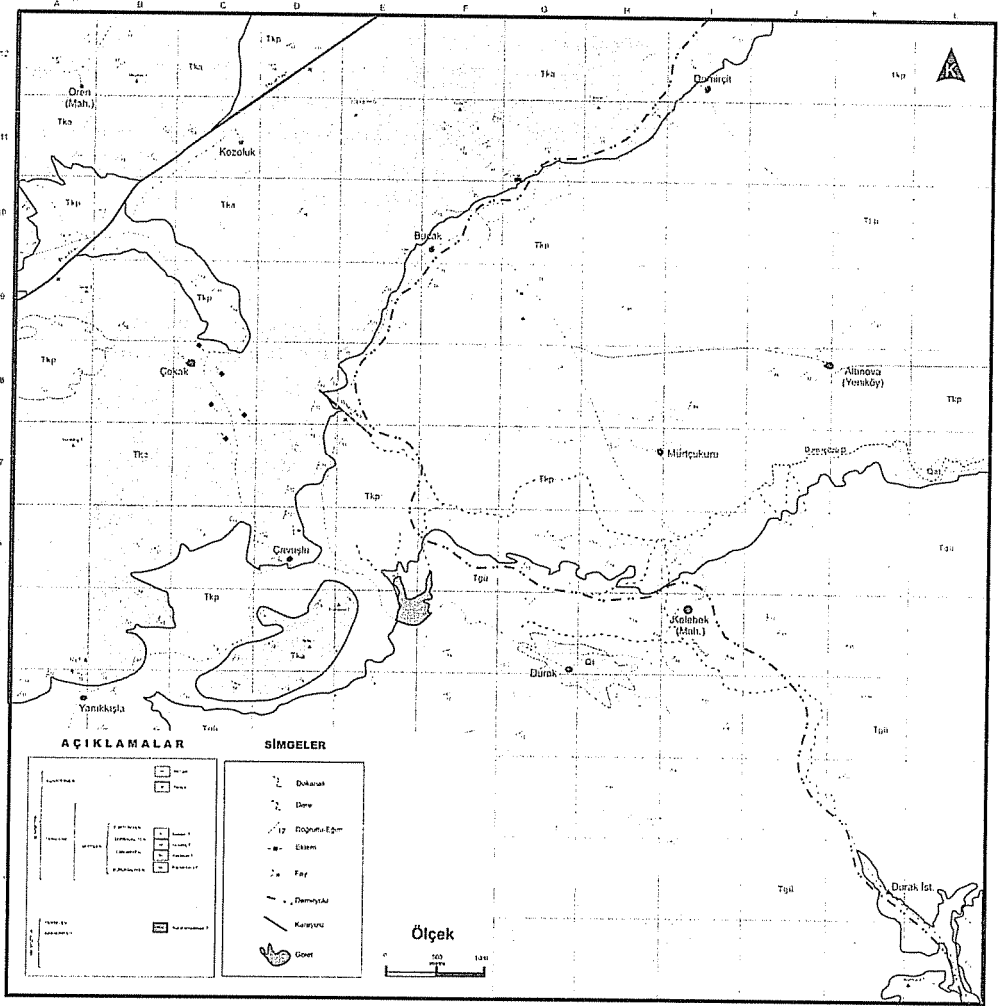
İnceleme alanında Paleozoyik'ten Kuvaterner'e kadar 7 adet birim ayırt edilerek haritalanmıştır. Bunlar yaşlıdan gence doğru sırasıyla; Permo-Karbonifer yaşlı Karahamzauşağı Formasyonu, Alt-Orta Miyosen yaşlı Kaplankaya ve Karaisalı Formasyonları, Orta Miyosen yaşlı Güvenç Formasyonu, Orta-Üst Miyosen yaşlı Kuzgun Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı taraça ve alüvyonlardır (Şekil 2, Şekil 3.).

PALEOZOYİK	S E N O Z O Y İ K				ÜST SİSTEM	FORMASYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
	Permo-Karbonifer	T E R S İ Y E R		Kuv.	SİSTEM			
		M İ Y O S E N			SERİ			
	A L T		PLİYOSEN		KAT			
	AKİTANİYEN-SERRAVALİYEN		MESİNİYEN			TARAÇA ve ALÜVYON		
	TORTONİYEN					HANDERE		Tha Handere Formasyonu : Sığ deniz - geçiş (Kıyı, Lagün, Delta ve Gelgit) ve karasal (akarsu) ortamlarında çökelen formasyon içinde; Kilitaşı - marn silttaşı, Fosilli ovalik kireç taşı, Alçıtaşı(gips), Kumtaşı konglomera birimleri yer almaktadır.
	KARAIŞALI					KUZGUN		Tku: Sığ deniz ve geçiş (kıyı, lagün, gelgit, resif) ortamlarında çökelen formasyon içinde; kumtaşı-konglomera, resifal kireçtaşı, tüfit, kilitaşı-marn-silttaşı birimleri yer almaktadır.
	KAPLANKAYA GÜVENÇ							Tgü: Bovenç Formasyonu : Derin deniz - sığ deniz ortamlarında çökelen formasyon içinde; İgilli kireçtaşı - marn, Kilitaşı - silttaşı birimleri yer almaktadır.
	KARAHAMZAÜŞAĞI							Tka: Karaisalı Formasyonu : Geçiş ortamlarında (Karbonatlı kıyı resif) çökelen formasyon içinde; Mercanli-şgilli ilet taşı ve bağlanıtası, Küçük bentonik foraminiferli-şgilli ilet taşı, Mercanli-şgilli vaket taşı ve ilet taşı, Büyük bentonik foraminiferli-şgilli ilet taşı, Globijerimli ilet taşı, Globijerimli-kil vaket taşı birimleri yer almaktadır. Tkp: Kaplankaya Formasyonu: Denizel lamelliheras, gastropod, okamid ve çeşitli türden foraminiferler içeren çökeltisi, silttaşı ve çakıllı-kumlu kireçtaşı ve marn gibi litolojiler sunmaktadır.
								Tka: Karahamzaüşağı Formasyonu: Kireçtaşı, Mermer, Dolomit ve gıst birimlerinden oluşmuştur.

DÜŞEY ÖLÇEK UYGULANMAMIŞTIR

Şekil 2. İnceleme alanının ve yakın civarının Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti (Sevimli, 2003'ten değiştirilerek alınmıştır).

*BUCAK (KARAIŞALI) VE YAKIN DOLAYININ JEOLJİSİ VE  
DEMİRYOLU GÜZERGAHI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ*



Şekil 3. İnceleme alanının jeoloji haritası.

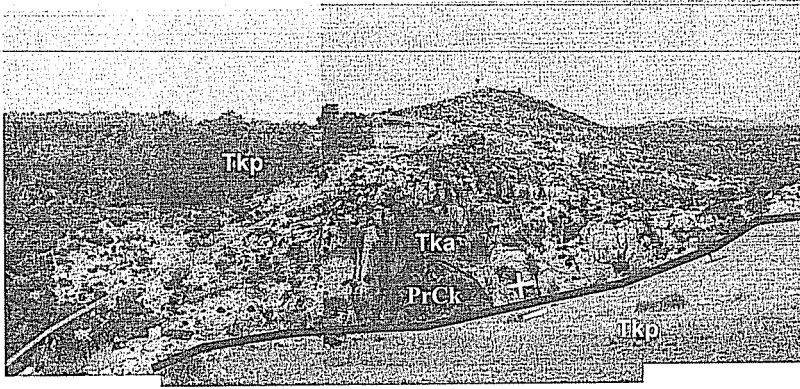
## 2.1. Paleozoyik

### 2.1.1. Karahamzauşağı Formasyonu (PrCk)

Başlıca killi kireçtaşı, kireçtaşı, kuvarsit, bütümlü şeyl, dolomitik kireçtaşı ve dolomitten oluşan birim, ilk olarak Ünlügenç tarafından isimlendirilmiştir (1). Adana Baseni'nin kuzey kesimlerinde Karahamzauşağı Mahallesi ve yakın dolaylarında yüzeylenen birim muhtemelen fay kontrollü bir yükselim nedeniyle bölgede yer almaktadır. Tabanı inceleme alanında gözlenemeyen birimin üzerine Alt-Orta Miyosen yaşlı Karaisalı Formasyonu açısız uyumsuzlukla gelmektedir. Birimin Adana Havzası kuzeyinde yaygın olarak bulunduğu ifade edilmişse de (1;2) inceleme alanında fay

kontrollü olarak oldukça sınırlı bir alanda yüzlek vermektedir. Çalışma alanında sadece Bucak Köyü güneybatısındaki düşey atımlı fayla ortaya çıkan birim, dar ve derin vadi içerisinde (Şekil 3, Şekil 4) gözlenmektedir. İnceleme alanında tabanı görülemeyen birimin kalınlığının 30 metre civarında olduğu tespit edilmiştir. Birimden alınan nokta örneklerden yapılan ince kesitlerin incelenmesi sonucu, birime yaş verebilecek herhangi bir fosile rastlanılmamıştır. Başlıca gri-koyu gri renkli, oldukça kıvrımlı ve metamorfize kireçtaşından oluşan birim, kristalize olmuş mikritik dokulu, kalsit dolguludur. Ancak önceki çalışmalarda bölgesel koralasyona dayanılarak birimin yaşının Permo-Karbonifer olması gerektiği ifade edilmiştir (3;1). Laminallı kireçtaşı ve kuvarsit ara katkılarında oluşan birimin sığ deniz ortamında çökelmiş olduğu daha sonra metamorfizma etkisinde kaldığı ifade edilmiştir (3;1).

İnceleme alanında Karahamzaşağı Formasyonunu yüzeye çıkararak KB-GD uzanımlı düşey atımlı Miyosen yaşlı fay tespit edilmiştir. Bu faya bölgesel konumu itibarıyla Çokak Fayı adı verilmiştir.



**Şekil 4.** Karahamzaşağı Formasyonu (PrCk) ile Karaisalı Formasyonu (Tka) arasındaki dokanak ilişkisi ve düşey atımlı Çokak Fayının görünümü.

## 2.2. Senozoyik

### 2.2.1. Kaplankaya Formasyonu (Tkp)

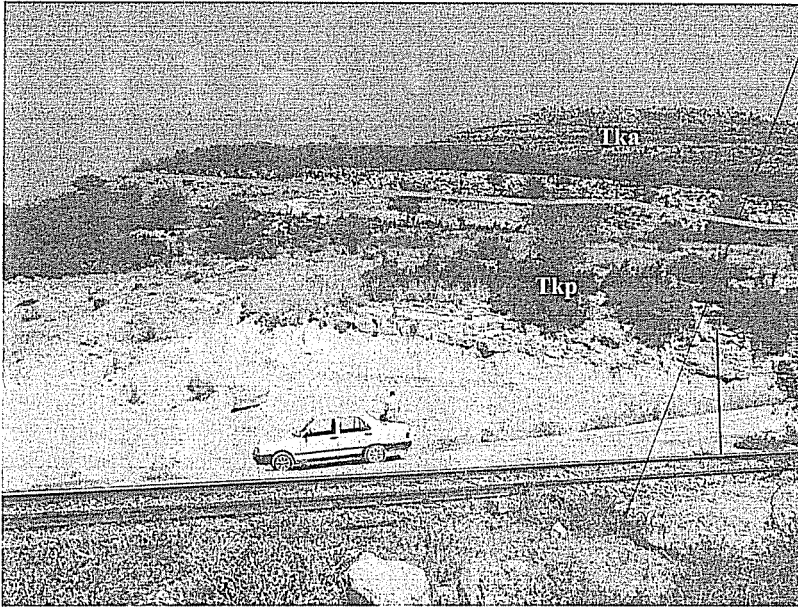
Birimin tip kesit yeri Adana Baseni' nin kuzeyinde yer alan, N 34 a1 paftasında bulunan Gildirli Köyü' nün kuzeybatısındaki Kaplankaya Tepe civarı olup, Ünlügöç yüksek lisans tez sahası içerisinde bulunması nedeniyle birimi ilk olarak Kaplankaya Formasyonu olarak adlandırmıştır (1). Alt-Orta Miyosen yaşlı birim, genellikle boz renkli kumlu-siltli kireçtaşı, çakıllı kumtaşı, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn yapılıdır.

Formasyon çalışma alanında geniş bir alanda yüzeylenmektedir. Formasyon resifal Karaisalı Formasyonu ile yan ve düşey geçişli olup, sarp ve yüksek alanları başlıca kireçtaşından oluşan Karaisalı Formasyonu oluştururken, kırıntılı malzeme zengin olan yayvan ve daha çok yumuşak morfolojiye sahip alanlarda Kaplankaya Formasyonunun çökellerine rastlanmakta olup, paleotopografik konuma bağlı olarak kalınlık değişimleri sunmaktadır (Şekil 3.). Kaplankaya formasyonu, Karaisalı formasyonunun çökeli için

uygun olmayan koşullarda üstte Güvenç formasyonunun ince kırıntılılarına geçmektedir. Birim Miyosen denizi transgresyonu tabanındaki sığ denizel nitelikli ilk birimdir.

Kaplankaya Formasyonu tabanda sarımsı gri-boz renkli, masif yapılı, yuvarlak, taneli, kötü boylanmalı, çakıltası – kumtaşı ardalanmasından oluşan bir seviye ile başlar. Üzerine ayrılmış yüzeyi sarı-boz renkli, ince tabakalı, yuvarlak taneli, iyi boylanmalı kumtaşı-silttaşı birimleri gelmektedir. Birimin daha üst seviyelerinde ise, ayrılmış yüzeyi gri-sarımsı gri, taze kırık yüzeyi sarı-boz renkli, ince-orta tabakalı, orta dayanımlı marnlar yer almaktadır (Şekil 5).

Kaplankaya formasyonu, tabanında bulunan ve çalışma alanında yüzlek vermeyen karasal akarsu karakterli Gildirli formasyonu üzerine, denizel lamellibrans, gastropod, ekinid ve çeşitli türden foraminiferler içeren çakıltası, silttaşı ve çakıllı-kumlu kireçtaşı ve marn gibi litolojiler ile gelmektedir. Birim özetle altta kırıntılılarla başlayıp üste doğru kırıntı oranı azalan, buna karşın karbonat oranı artan bir istif oluşturmaktadır. Buna göre Kaplankaya formasyonu litolojik özellikleri, fosil içeriği ve geometrisi ile sığ deniz-plaj ortamı ve resif gerisi lagün ortamında çökelmiş olmalıdır (4).



**Şekil 5.** Bucak Köyü güneybatısında Kaplankaya Formasyonu (Tkp) ve Karaisalı Formasyonunun genel görünümü ve dokanak ilişkisi (ölçek : 1.75 m.).

İnceleme alanında ise Bucak köyü Doğusu ile güney doğusunda, Kaplankaya formasyonu oldukça geniş bir alanda yüzeylemektedir (Şekil 3). Tabanını inceleme alanında görülmemekle birlikte, üzerine gelen Karaisalı formasyonu ile dokanağı net bir şekilde görülmektedir. İnceleme alanında Kaplankaya formasyonunun orta kesimlerini ifade eden kumtaşı-silttaşı birimleri ve üst kesimlerini temsil eden marnlı seviyeler gözlenmektedir.

Transgresyonun ilk safhalarında düzensiz paleotopografyanın oluşturduğu denizin sığ kesimlerde Kaplankaya formasyonu çökelmeye başlamıştır. Yer yer resif yapıcı organizmalar açısından uygun ortamlarda ise resifal kireçtaşı özellikli Karaisalı formasyonu çökelmiştir. Bu durum belirgin şekilde yanal ve düşey geçiş olarak inceleme alanında gözlenmektedir. Kaplankaya formasyonu bölgede düzensiz kalınlık değişimi sunmakta olup, yaklaşık 10 – 150 m. arasında bir istif sunmaktadır. İstifin kalınlığının düzensiz olması, paleotopografyanın düzensizliği ile ilişkili olmalıdır.

### 2.2.2. Karaisalı Formasyonu (Tka)

Adana havzasında resifal nitelikli, genellikle beyaz-krem renkli, algi, mercanlı, sıkı dokunmuş, resif kenarları hariç belirgin tabakalanmasız biyoklastik kireçtaşına ilk kez Shcmit tarafından Karaisalı kalker adı verilmiştir (3). Daha sonra Ergene, Görür, Yetiş-Demirkol bu birim için Karaisalı Kireçtaşı, daha sonra Yalçın-Görür ise Alt-Orta Miyosen yaşlı birimi Karaisalı Formasyonu adını kullanmışlardır (5-8).

Formasyon çalışma alanında geniş bir yayılım göstermekte olup, arazideki topoğrafik yükselteleri oluşturması, sunduğu som yapılı tek düze görünüm ve litolojik özellikleri ile sahada kolayca tanımlanabilmektedir (Şekil 5).

İçerdiği fosil topluluğuna göre Karaisalı formasyonu Burdigaliyen-Langhiyen zaman aralığında çökelmiş olmalıdır. Formasyon muhtemelen Burdigaliyen' de güneyden dereceli olarak kuzeye doğru ilerleyen deniz ile sığ, çalkantılı, ılık, Miyosen öncesi topoğrafik yükseklerde resif kompleksi olarak oluşmuştur. Ergene'ye göre gelgit düzlüğünü kapsayan yarı litoral ve tropikal bir denizdir (5). Birim yanal ve düşey geçişli olarak Kaplankaya Formasyonunun sığ deniz-plaj nitelikli, resif gerisi çökeline geçmektedir. Bunun üzerine yanal ve düşey geçişli olarak gelen Güvenç formasyonu ise resif ilerisini belirlemektedir (7).

İnceleme alanının güney batısında bulunan Kızkalesi Tepe dolayında Karaisalı formasyonu üzerine Güvenç formasyonu uyumlu olarak gelmekte, bunun da üzerinde Orta-Üst Miyosen yaşlı Kuzgun Formasyonu bulunmaktadır. Aşınma ile Güvenç formasyonu altındaki Karaisalı Formasyonunun paleotopoğrafik yüksekleri yüzeye çıkmaktadır. Birim topoğrafik konumu, deniz seviyesindeki alçalıp yükselmeler ve havzaya taşınan çökel malzeme oranındaki değişimlere bağlı olarak altında ve üstünde bulunan diğer formasyonlarla yanal ve düşey geçişli dokanağı sahiptir.

Karaisalı Formasyonunun fiziksel özelliklerinin uygun olması, ayrıca hem çıkarılıp işlenmesi hem de taşınması açısından uygun bölgede bulunması sebebiyle çalışma alanının yakın dolaylarında taş ocakları mevcuttur. Bununla beraber Karaisalı formasyonu yine uygun fiziksel özelliklere sahip olması sebebiyle uzun yıllar inceleme alanında boydan boya geçen demiryolu altyapısında balast taşı olarak kullanılmıştır.



### **2.2.3. Güvenç Formasyonu (Tgü)**

Adana Baseninde; milttaş, kumtaş, ara tabakalı, bol mikro fauna ile kısmen piritli, % 80-90 oranında mavimsi gri-gri şeyl yapıllı birim ilk kez Schmidt (3) tarafından Güvenç şeyli olarak isimlendirilmiş ve litostratigrafi adlama kurallarına uygun olarak inceleme alanında yüzlek vermeyen Cingöz formasyonunun üstünde, Güvenç şeylini ayırtlamıştır. Daha sonra Özer ve diğ., Schmidt' in ayırdını Güvenç marnları (9); İlker, Görür, Yalçın ve Görür, Yetiş-Demirkol, Nazik-Toker, Güvenç Formasyonu olarak kullanmışlardır (10, 6, 8, 7, 11).

İnceleme alanında sarımsı gri, mavimsi gri, beyazımsı sarı renklerde, yumuşak ve çabuk dağılan bir yapı sunar. Güvenç Formasyonu sığ deniz-plaj nitelikli Kaplankaya Formasyonu ile resifal nitelikli Karaisalı Formasyonu üzerinde yanıl ve düşey geçişlidir. Resifal Karaisalı formasyonunun resif ilerisi fasiyesini oluşturan Güvenç formasyonunun başlıca kit ince kumtaş-silttaş arakatmanlı, gri-yeşilimsi gri renkli, şeyl yapıllı oluşu, bol miktarda pelajik foraminifer kapsamı, sedimanter yapı olarak paralel, konvülüt laminalanım ve tavana yakın kesimlerde kaval yapıları sunması ile derin deniz ortamını karakterize etmektedir. Güvenç formasyonunun altta Miyosen öncesi topografyaya bağımlı olarak sığ deniz-plaj ve resifal ortam çökelleri üzerine pelajik foramlı şeyl türü litolojiler ile gelmesi sığ-çalkantılı ve oldukça sıcak deniz ortamının güneye doğru derinleştini ifade etmektedir.

Karaisalı İlçesi güneyinde Nazik, Güvenç formasyonunda Orta Miyosen istifinin foraminifer biyostratigrafisi konulu Yüksek Lisans tezinde 21 planktonik foraminifera, 13 nannoplankton türü saptayarak birimin Langhiyen-Serravaliyen yaş aralığında çökeldiğini bildirmiştir (12).

Resif öntü, sığ – derin deniz ortamlarında çökelen Güvenç Formasyonu içinde fasiye özelliklerine (geometri, litoloji, fosil – paleontoloji, sedimanter yapılar – paleoakıntı örnekleri) göre killi kireçtaş – marn birimi ve kiltaş – silttaş birimi olarak iki alt birim ayırtlanmış, çoğu yerde bunların birbirleri ile geçişli olduğu belirlenmiş, killi kireçtaş – marn biriminin stratigrafik olarak formasyonun alt bölümlerinde, kiltaş – silttaş biriminin ise orta ve üst bölümlerde egemen olduğu, formasyonun üzerine geldiği paleotopografyanın değişik olması, transgresyon ve regrasyona bağılı olarak birimlerin çökeldiği ortam koşullarının önemli ölçülerde değişmesi nedeniyle, bazı bölgelerde bu sıralamada değişiklikler olduğunu ortaya konmuştur (13).

Güvenç formasyonunun az dayanımlı olması sebebiyle aşınma etkisi oldukça fazla olarak görülmektedir. Ankara – Adana Demiryolu hattı inceleme alanı içinden K-G boyunca boydan boya geçmekte ve bu demiryolu hattının bir bölümü Güvenç formasyonu üzerinde bulunmaktadır. Güvenç formasyonunun bu özelliklerinden dolayı özellikle yağışlı havalarda demiryolu hattı boyunca çökmeler ve kaymalar yaşanmakta olup, bu aksaklıkların Güvenç Formasyonu üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Örneğin Kelebek mah. B-KB sındanki demiryolu hattında çökmeler her yıl meydana gelmektedir.

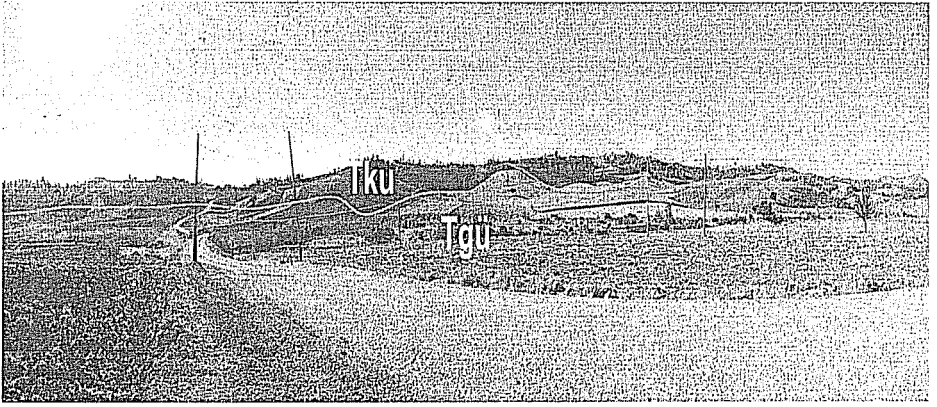
### **2.2.4. Kuzgun Formasyonu (Tku)**

Adını Adana – Karaisalı yolu üzerinde bulunan Kuzgun Köyü' nden alan, karasal, sığ denizel ve deltayik sediman araldanmasından oluşan Orta-Üst Miyosen yaşlı Kuzgun Formasyonu ilk kez Schmidt tarafından adlandırılmış ve altı ayrı üyeye

ayrılarak incelenmiştir (3). İlker, aynı adı kullanıp iki üyeyi benimsemiştir (10). Özer ve diğerleri, Kuzgun Formasyonunun deltayik ve karasal çökellerden oluştuğunu bildirmiştir (9). Yetiş ve Demirkol, Adana havzasında Üst Miyosen'de tabanda karasal kırıntılı ile başlayıp üste doğru sığ denizel çökellere geçen bir istifin çökeldiğini (Kuzgun Formasyonu) belirtmişlerdir (7). Yalçın ve Görür ise Schmidt'in Kuzgun Formasyonu ve bunu oluşturan üyeleri aynen benimseyerek Adana havzasına paleocoğrafik bir yorum getirmişlerdir (3,8).

Ünlüenç, birimi tabanda menderesli nehir çökelleriyle başlayıp sığ denizel çökellere geçen Kuzgun Üyesi, bunun üzerine Salbaş Tüf Üyesi ve en üstte de yukarı doğru giderek kabalaşan ve başlıca deltayik çökellerden ibaret Memişli Üyesi olarak formasyonu 3 üye ile tanımlamış ve birimin Güvenç Formasyonu üzerinde düşük açılı açıl uyumsuzlukla bulunduğunu belirtmiştir (14).

Birim çalışma alanının güney doğusunda Güvenç Formasyonu ile yanal – düşey geçişli olması sebebiyle oldukça kısıtlı bir alanda gözlenmekte olup, çalışma alanının bu bölümü Güvenç ve Kuzgun Formasyonunun geçiş bölgesini oluşturmaktadır (Foto 4.8).



**Şekil 6.** Kuzgun Formasyonu (Tku) ile Güvenç Formasyonu (Tgü) arasındaki dokanak ilişkisi (Fotoğraf KB'dan GD'ya doğru çekilmiştir).

İnceleme alanının yakın civarlarında yapılan yüksek lisans çalışmasında, Kuzgun Formasyonu içerisinde üst seviyelere doğru resif oluşumları görülmüş ve bu da Tortoniyen'de bölgeyi kaplayan denizin tamamen çekilmediğini gösterdiği, bölgede uygun yerlerde kırıntılı birim üzerine kalınlığı fazla olmayan resifal özellikli mercanlı, algi kireçtaşları çökelmiş olduğu belirlenmiştir (13).

Çalışma alanında Kuzgun Formasyonunun çok kısıtlı bir alanda gözlenmesi sebebiyle, ayırtılan bu birimlerden kırmızı renkli sedimanları içeren Kuzgun üyesi tespit edilebilmiştir.

#### **4.3. Taraça (Qt)**

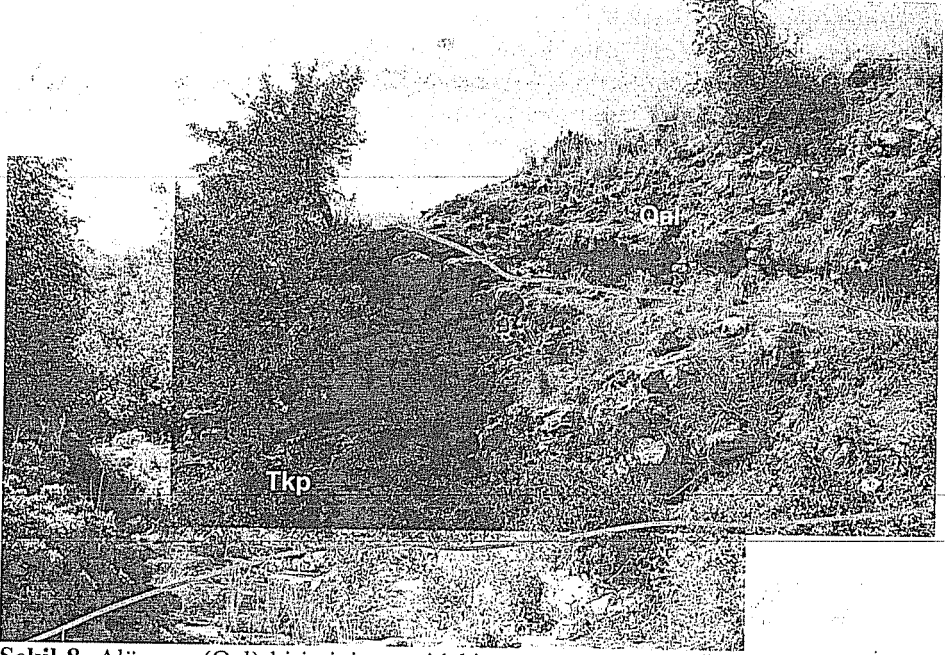
İnceleme alanında sadece Durak Köyü (G 5-6) ve yakın civarlarında gözlenmiştir. Küllükuyu Deresinin eski taraçaları olduğu düşünülmektedir. Yer yer kalıçileşmiş, orta sertlikte, kötü derecelenmeli, tane boyları çakıl-kum boyları arasında değişen, çakılları köşeli birimdir. Bağlayıcı malzemesi yer yer kumdan oluşmaktadır (Şekil 7).



**Şekil 7.** Durak Köyü kuzeyinde oluşmuş taraçanın (Qt) görünüşü.

#### **4.4. Alüvyon (Qal)**

Çalışma alanında gözlenen en genç birim olup, başlıca ofiyolit, kireçtaşı, radyolarit, kuvars ve çörtten türeme çakıllardan oluşmaktadır. Genellikle dere yataklarının yamaç kısımlarında gözlenen, değişik genişliklerde, kötü boylanmalı alüvyonlar daha yaşlı birimler üzerinde açısız uyumsuzlukla yer almakta olup, başlıca bu dere boylarınca ince kuşaklar halinde gelişmişlerdir (Şekil 8).



**Şekil 8.** Alüvyon (Qal) biriminin arazideki görüntüsü (Tkp: Kaplankaya Formasyonu, Tka: Karaisalı Formasyonu).

### 3. YAPISAL JEOLojİ

Çalışma alanında faylanma nedeniyle çok küçük bir alanda yüzeyleyen Permo-Karbonifer yaşlı Karahamzauşağı Formasyonu (D8) dışındaki birimler Miyosen yaşlı olup, pek fazla tektonizmadan etkilenmemişlerdir.

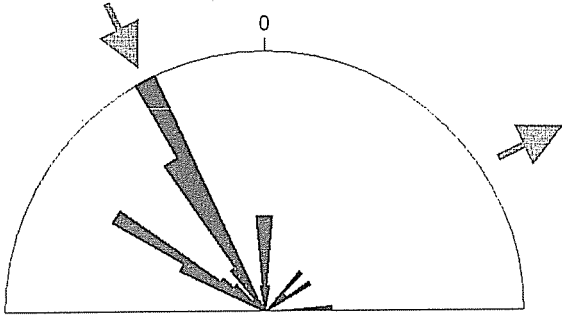
İnceleme alanında Mesozoyik yaşlı birimlerin varlığına rastlanılmamıştır. Bu durum, bölgenin Mesozoyik öncesinde büyük faylarla kontrol edildiği sonucunu düşündürmektedir.

Bu kapsamda, arazide yalnızca haritalanabilir 2 adet fay tespit edilmiş olup; bunlardan ilki çalışma alanının kuzey batı ucunda bulunan, kuzeydoğudan güneybatıya doğru boydan boya uzanan ve Güleş Dağı ile Kozuluk Köyünün kuzeybatısından geçen, dik şevler sunması sebebiyle kolaylıkla tanınabilen düşey atımlı Ebcet Fayıdır (15).

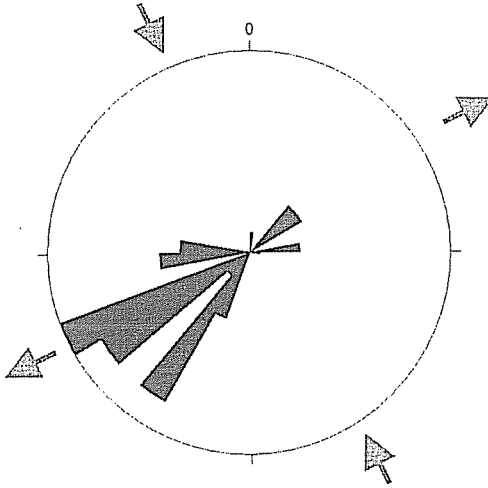
Arazide tespit edilen ikinci fay ise Bucak – Çavuşlu Köyleri arasında bulunmakta ve oldukça dik şevler sunması sebebiyle kolaylıkla tanınabilmektedir. Bu fay konumu itibariyle Çokak fayı olarak isimlendirilmiş olup, jeolojik konum nedeniyle düşey atımlı olarak tespit edilmiştir. Atımın çok fazla olmamasına rağmen Karahamzauşağı Formasyonunun yüzeye çok fazla çıkması sebebiyle paleotopografyanın oldukça düzensiz ve faylı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çokak fayının da bu şekilde eski bir fayın çökelim sırasında veya çökelimden sonraki evrede tekrar aktive olması sonucu oluşmuş olduğu düşünülmektedir. Çalışma alanında bulunan Güvenç Formasyonu'nun oldukça yumuşak ve çabuk dağılan bir yapıya sahip olması sebebiyle bu birim üzerinde meydana gelen faylanma izlerinin aşınma sonucunda zamanla ortadan

kaybolduğu, Tersiyer birimlerinden ölçülen eğim değerlerinin düşük olması sebebiyle de bölgenin Tersiyer'de çok fazla kuvvet etkisinde kalmadığı düşünölmektedir. Birbirine yakın zamanlarda çökelen bu birimlerdeki eklemler ile tabakalardan alınan doğrultu ve eğim değerlerine bakıldığında tespit edilen birimlerin aynı kuvvetlerin etkisinde kaldığı görölmüştür. Yapılan doğrultu ve eğim ölçümleriyle hazırlanan gül diyagramlarının incelenmesi sonucunda da çalışma alanındaki birimlerin aynı kuvvetlerin etkisi altında kalarak eğim kazandığı tespit edilmiştir.

Bol kırıklı ve çatlaklı görünüm sunan Karaisalı Formasyonu üzerinden ölçölen eklemlerden ölçölen doğrultu ve eğim değerlerinden hazırlanan gül diyagramlarının değerlendirilmesi sonucu bölgenin bu birimlerin çökeliminden sonra K30-40B / G30-40D yönlerinde etkileyen sıkıştırma kuvvetlerine maruz kaldığı düşünölmektedir (Şekil 9, 10).



Şekil 9. Karaisalı Formasyonu üzerinde yer alan eklemlerden ölçölen doğrultu değerlerine göre hazırlanmış doğrultu gül diyagramı (n=100).



Şekil 10. Karaisalı Formasyonu üzerinde yer alan eklemlerden ölçölen eğim değerlerine göre hazırlanmış eğim yönü gül diyagramı (n=100).

## 4. ARAZİNİN DEMİRYOLU AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

### 4.1. Kaplankaya Formasyonu

Çalışma alanında geniş bir alanda yayılım gösteren Kaplankaya Formasyonunun En üst seviyelerde bulunan marnlı yapı zamanla doğal etkenlerle özellikle de suyun etkisiyle az da olsa bozulmakta bu da demiryolunun güzergahı boyunca alt yapıya zarar vermektedir. Bu nedenle rayların geçtiği alanda suyun etkisini azaltacak önlemler alınmalı, iyi bir drenaj kanalı hattı yapılarak yüzey suyu ray sistemine zarar vermemesi için alandan uzaklaştırılmalıdır.

Kaplankaya formasyonunun alt ve orta seviyelerinde bulunan özellikle çakıltaşı ve kumtaşı birimlerinde, sert sağlam yapısı ile demiryolu güzergahı geçirilirken çökme – oturmaların çok fazla olmayacağı dolayısıyla önemli bir sorun oluşturmayacağı; üst seviyelerinde yer alan marnlı yapının bozulmuş kesimlerinin ise kazınarak daha sağlam zemin oluşturacak dolgu malzemesi ile dolgu yapılması gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca topoğrafyanın düzensiz olduğu durumlarda kazı sonucunda çıkacak çakıltaşı ve kumtaşı dolgu malzemesi olarak da kullanılabilir.

### 4.2. Karaisalı Formasyonu

Çalışma alanının kuzeybatı kısmında geniş bir alanda bulunan Karaisalı Formasyonu demiryolu altyapısında uzun yıllar balast taşı olarak kullanılmıştır. Ancak yıllarca yaşanan deneyimler sonucunda Karaisalı Formasyonu'ndan elde edilen balast taşlarının doğal etkenlerle bozularak şekil, boyut gibi istenen özelliklerini kaybettiği, kimyasal yapısından dolayı özellikle suyun etkisiyle eridiği, bunun sonucunda oluşan tortulların yine suyun etkisiyle çamurlu bir hale geldiği ve yol güzergahında zamanla bozulmalara-çökmelere yol açtığı görülmüştür. Ayrıca oluşan bu tortular zamanla sertleşerek yol güzergahında yapılan iyileştirme ve bakım çalışmalarında zorluklar yaşanmasına neden olmaktadır. Bu nedenlerle son yıllarda Devlet Demiryollarında kalker yapılı malzeme kullanımından vazgeçilmiştir

Karaisalı Formasyonu demiryolu güzergahı seçiminde sert-sağlam yapısı sebebiyle iyi bir zemin oluşturmasına rağmen bulunduğu bölgelerde belirgin bir şekilde topoğrafik yükseklikleri oluşturması ve oldukça dik yamaçlar sunması sebebiyle ya tünel açılarak geçilir ya da topoğrafyanın istenen eğim koşullarını sağlaması durumunda tabanda temel zemini olarak kullanılır. Çalışma alanında ise mevcut demiryolu güzergah ve topoğrafik sebeplerle yalnızca Demirçit Köyü civarında Karaisalı formasyonu üzerinden geçirilmemişse de çalışma alanının kuzey-kuzeydoğusunda güzergah hemen hemen tamamen bu formasyon üzerinde bulunmaktadır. Ayrıca Karaisalı Formasyonu açılacak yarmalarda 1/1 oranında dik şevler oluşturulması için de uygundur. Ancak zaman içerisinde iklim koşullarından etkilenecek yarıma ve çatlamlar oluşacağı, bunun sonucunda taş-kaya düşmelerinin yaşanabileceği göz ardı edilmemelidir. Mevcut hat güzergahında ya da yeni bir demiryolu hattı yapımında ise Karaisalı formasyonu yüzeyde tamamen ayrılmış kesimleri dışında iri dolgu malzemesi olarak kullanılabilir.

### 4.3. Güvenç Formasyonu

Çalışma alanının güney ve güney doğusunda oldukça geniş bir alanda yüzlek veren Güvenç Formasyonu killi kireçtaşı – marn ve kıltaşı – silttaşı birimlerinden

oluşmaktadır (13). Genellikle sert, bazı bölümlerde ise yumuşak, çok sıkı pekişmiş killi kireçtaşı – marn biriminin çoğunlukla stratigrafik olarak formasyonun alt bölümlerinde bulunduğu; yoğun organizma yaşamı nedeniyle laminalanma ve katmanlanmanın iyi gelişmediği kiltası – silttaşı biriminin ise orta ve üst bölümlerde egemen olduğu; özellikle formasyonun üst bölümlerinde kum oranının fazla olduğu dikkate alındığında, genel olarak Güvenç formasyonu dayanımsız bir yapı sunduğunu söylemek mümkündür.

Birim üzerinden demiryolu hattı geçirilirken özellikle bozulup dağılmanın fazla olduğu kesimlerde kazı yapılarak zayıf zemin ortadan kaldırılmalı ve daha sağlam malzeme ile dolgu yapılmalı, ayrıca yapılacak dolguda oturmalar meydana gelebileceği göz önüne alınmalıdır. Dolayısıyla arazide önce dolgu işi gerçekleştirilmeli ve dolgudaki oturma kabul edilebilir sınırları geçtikten sonra demiryolu üst yapısının inşaatına geçilmelidir. Kiltası ve silttaşı gibi aşınma oranı yüksek, ayrışmaya karşı hassas özellikteki malzemeler dolguda kullanılmamalıdır.

Mevcut demiryolu hattında yapılacak iyileştirme çalışmalarında Güvenç Formasyonu'nun bu dayanımsız yapısı sebebiyle bozulmalar yaşanan yerlerde demiryollarında platform olarak tabir edilen zemin kazılarak daha sağlam zemin oluşturacak malzeme ile dolgu yapılmalıdır. Güvenç Formasyonu'nun arazide genelde eğimli olmayan düz bir topoğrafya sunması sebebiyle yağmur sularının fazla drene olamadığı görülmüş olup, yapılacak drenaj kanalları ile bu sular demiryolu güzergâhından uzaklaştırılmalıdır.

## **5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

Bucak Köyü ve yakın dolayının jeolojisini ortaya koymak amacıyla yapılan bu çalışmada;

- İnceleme alanında derlenen örnekler üzerinde yapılan laboratuvar çalışmaları sonucunda Karaisalı Formasyonun yaşı Serravaliyen - Burdugaliyen olarak belirlenmiştir.
- İnceleme alanında yüzeyleyen Güvenç Formasyonu, altta Karaisalı Formasyonu ile yanal ve düşey yönden üstte ise Kuzgun Formasyonu ile yanal geçişlidir. Dokanakların birbirleri ile geçişli gözlenmesi, bölgenin paletopografik ve tektonik konumu ve değişen yersel deniz seviyelerine bağlıdır.
- Adana baseni içinde var olan Cingöz Formasyonunun inceleme alanında olmaması, basenin doğusu ve batısı arasında ortam farklılıklarının bulunması ve çalışma alanının Cingöz Formasyonunu besleyen kaynak alanından kısmen uzakta olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Kuzgun Formasyonu, inceleme alanında sınırlı bir alanda görülmesine rağmen Güvenç Formasyonu üzerinde uyumlu olarak yer aldığı sonucuna varılmıştır.
- Gerek inceleme alanında bulunan ve gerekse inceleme alanının yakın civarlarından geçen fayların etkisiyle bölgede deniz seviyelerinde değişimin olduğu düşünülmektedir.
- Bölgede bulunan Tersiyer birimlerinin hemen hemen aynı kuvvetlerin (K30-40B, G30-40D yönden sıkışma - K50-60D, G50-60B yönünde ise açılma) etkisi altında kaldığı ve bu kuvvetler sonucunda eğim kazandığı düşünülmektedir.

- Bölgedeki yamaç eğimlerin K-KB yönünde artması ve eğimin oldukça fazla olması demiryolu güzergâhı seçiminde oldukça sıkıntı yaratmaktadır. Bu nedenle bu kesimlerin yüzden kurp (viraj) larla aşmak yerine uygun bir alanda tünel veya yarmalarla geçilmesinin uzun vadede yarar getireceği önerilmektedir.
- Bölgedeki demiryolu nedeniyle, demiryolu altyapısı için kullanılan dolgu malzemesi temini ve ileride yapılacak olan iyileştirme çalışmalarına zemin oluşturması açısından bu çalışmanın ikincil bir kaynak teşkil edeceği düşünülmektedir.

## 6. TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmasını kapsayan bu çalışma, MMF2006 YL-38 nolu proje kapsamında Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir. Çalışmalar sırasında Jeoloji Mühendisliği bölüm olanaklarını sunan ve değerli katkılarını esirgemenen bölüm başkanımız Prof. Dr. Ulvi Can ÜNLÜGENÇ başta olmak üzere Doç Dr. Erol ÖZER (Mersin Ün.v.) ve Yrd. Doç. Dr. Hakan GÜNEYLİ'ye teşekkür ederiz.

## 7. KAYNAKLAR

1. Ünlügenç, U.C., "Kızıldağ Yayla (Adana) Dolayının Jeolojik İncelemesi", Ç. Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi, 77s., Adana, 1986.

2. Demirkol, C., "Pozanti-Karsanti-Karaisalı (Doğu Toros) Arasında Yer Alan Karbonat Platformunun Stratigrafisi ve Jeolojik Gelişimi", M.T.A. Dergisi, No:109 (Ayrı Baskı), Ankara, 1989.

3. Schmidt, G., "VII. Adana Petrol Bölgesinin Stratigrafik Nomenklatürü", Petrol Der. Yay. 6. 47 – 63, Ankara, 1961.

4. Aydoğdu, E., "Bogazpınar-Sandal (İçel) Dolayının Stratigrafisi", Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 61 s., Adana., 2002.

5. Ergene, T.M., "Quantitative Environmental Analysis and Reservoir Properties of Karaisalı Limestone in Bulğurdağ Oil Field: Turkey", Revue de la Faculte des sciences de L'universite Istanbul, B, XXXVII, 3-4, 165-186, 1972.

6. Görür, N., "Karaisalı Kireçtaşının (Miyosen) Sedimentolojisi", T.J.K. Bülteni, c. 22/2, s. 227 – 234, 1979.

7. Yetiş, C. ve Demirkol, C., "Adana Baseni Batı Kesiminin Detay Jeoloji Etüdü", MTA. Rap. No: 8037 (Yayınlanmamış), 1986.

8. Yalçın, N.M. ve Görür, N., "Sedimentological Evolution of the Adana Basin", International symposium on the geology of the Taurus Belt., 165-172, Ankara, 1984.

9. Özer, B., Duval, B., Courrier, H. ve Letouzey, J., "Antalya-Mut-Adana Neojen Havzaları Jeolojisi", Türkiye II. Petrol kongresi, Türkiye petrol jeologları derneği, 57-84, Ankara, 1974.

10. İlker, S., "Adana Baseni Kuzey-Batısının Jeolojisi ve Petrol Olanakları", T.P.A.Ş. Raporu, 973, 63s., Yayınlanmamış, Ankara, 1975.

11. Nazık, A., Toker, V., "Karaisalı yöresi Orta Miyosen istifinin foraminifer biyostratigrafisi", M.T.A. Derg. No: 103/104, 139-150, 1986.

12. Nazık, A., "Güvenç Formasyonu Stratigrafi Kesitini (KB Adana) Planktonik Foraminiferalara Biyostratigrafik İncelemesi", A.Ü. Fen Fak. Jeoloji Müh. Böl. Yüksek Müh. Tezi, 35s., Ankara, 1983.



13. Sevinli, U.İ., "Demirhisar (Mersin KD'su) Civarının Jeolojisi Ve Sedimantolojik Özellikleri", Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 49 s., Adana (Yayımlanmamış), 2003.

14. Ünlügenç, U.C., "Controls on Cenozoic sedimentation in the Adana Basin, Southern Turkey", Unpublished Ph.D. Thesis, Kele University, UK. Vol. 1 P.229, Vol 2 Figures and maps, 1993.

15. Uçar, L., "Bucak - Çokak (ADANA) Alanının Stratigrafisi", Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 103 s., Adana, 1991.



## FARKLI KÖKENLERE SAHİP KİLLERİN KOMPAKSİYON ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI

**Hakan GÜNEYLİ**

Ç.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü Adana/Türkiye

**ÖZET :** Killi zeminlerin mühendislik davranışları kilin cinsi, oluşum ortamı ve ayrışma durumları gibi etkenler tarafından denetlenmektedir. Bu bağlamda farklı oluşum ortamı ve kökene sahip denizel Handere kili, karasal (alüvyal) Almanpınarı kili ve rezidüel (kalıntı) Kayapınarı kili üzerinde indeks ve standart kompaksiyon deneyleri yapılarak temel fiziksel özellikleri ve sıkışmanın temel parametreleri olan en büyük kuru yoğunluk ( $\gamma_k$ ) ve optimum su içerikleri ( $W_{opt}$ ) belirlenmiştir. Sonuçlar sedimanter kökenli Handere ve Almanpınarı killerinin kompaksiyon parametrelerinin oldukça yakın, rezidüel Kayapınarı kilinin ise söz konusu diğer killerden oldukça farklı olduğunu göstermiştir. Bunun yanında Hanedere ve Almanpınarı kilinin dolgu malzemesi olarak Kayapınar kiline göre daha uygun olduğu belirlenmiştir.

### CORRELATION OF COMPACTION PROPERTIES OF CLAYS WITH DISTINCT ORIGIN

**ABSTRACT :** Engineering behaviors of clayey soils are governed by factors such as type, sedimentation environment, degree of weathering of clay. In this context, basic physical properties and maximum dry density ( $\gamma_k$ ) and optimum water content ( $W_{opt}$ ), which are basic parameters of compaction, were determined by way of carrying out index and standard compaction tests on the Handere clay (shallow marine), the Almanpınarı clay (terrestrial/alluvial) and the Kayapınarı clay (residual). Results indicate that compaction parameters of the Hanedere clay and the Alampınarı clay are very similar but Kayapınarı clays' are significantly different from the others. Besides, the Handere and the Almanpınarı clays are more suitable material for filling applications than the Kayapınar clay as fill material.

## 1. GİRİŞ

Kompaksiyon, mekanik enerji uygulayarak zemin yoğunluğunun artırılması işlemi olup, yol, havaalanı, toprak baraj, toprak dolgu inşaatı vb. gibi mühendislik uygulamalarında oldukça önemlidir (1). Kompaksiyon ile zeminlerin; sabit ve dinamik yükler altındaki oturmaları azaltılmakta, taşıma gücü arttırılmakta, aşınabilirliği azalmakta veya gecikmekte, sıvılaşma potansiyeli azalmakta, geçirimsizliği azaltılarak don etkisi, şişme, büzülme gibi etkilerden kaynaklanan hacimsel değişimler denetlenebilmekte ve zeminler daha kararlı bir yapı kazanabilmektedirler. Zemin mühendisliğinde sıkıştırma, bir zeminin porozitesini azaltmak, yoğunluğunu yükseltmek yoluyla ve genellikle bir dinamik yük ile zemin tanelerini yeniden birbirine yaklaştırmak ve sıralanmasını sağlamak anlamındadır. Ancak bu kavram konsolidasyon kavramı ile karıştırılmamalıdır. Konsolidasyonda belli bir zaman süresinde sürekli bir statik yük etkisinde zemin boşluklarının hacminde giderek bir azalma ve boşluklarda bulunan suyun dışarıya atılması yoluyla yoğunlukta bir artma söz konusudur.

Zeminin cinsine göre farklı sıkıştırma yöntemleri uygulamak gerekir. Geçirimsiz zeminlerin diğer bir deyimle geçirimsizliği sağlayacak ölçüde ince malzeme bulunduran zeminlerin laboratuarda sıkıştırılması ve arazi sıkıştırma denetiminde **standart kompaksiyon (proktor)** deneyi temel olarak alınır.

Kuru bir zemine su eklenmesi durumunda, taneciklerin çevresinde bir su filmi oluşur. Daha çok su eklenmesi film tabakasını kalınlaştırır ve taneciklerin birbiri üzerinde kaymasını kolaylaştırır. Bu genellikle kayganlık olarak tanımlanır. Bu su filminin kalınlığı ise iri taneli zeminlerde, tane çapı ile kıyaslanırsa ihmal edilir. Oysa ince taneli zeminlerde sınırlı bir etkisi vardır. Belli bir noktaya dek eklenen su, zemin boşluklarındaki o ölçüdeki hava ile yer değiştirir, ancak belli bir doyguluk yüzdesinden sonra eklenen su, zemin tanelerinin doldurması gereken boşlukları tutar. Büyük ölçüde hava yeri doldurulmadan kalır ve eklenen su tanelerinin arasını açar ve bu nedenle zeminin yoğunluğunda azalma olur.

Laboratuar sıkıştırma (kompaksiyon) deneyinin amacı; verilen bir zemin için belli bir sıkıştırma enerjisinde en büyük sıkışmayı yani '**en büyük kuru birim hacim ağırlığı**' ( $\gamma_{kmax}$ )'nı sağlayacak belirli ölçüdeki su içeriğinin yani '**optimum su içeriğinin**' ( $W_{opt}$ )' saptanmasıdır. Böylece, zemin bu optimum su içeriğinde arazide sıkıştırıldığında beklenen sıklık elde edilir.

Kompaksiyon parametrelerinin tahmin edilebilmesi amacıyla birçok araştırma yapılmıştır. Johnson ve Salberg, Atterberg limitlerini (plastik limit ve likit limit) içeren bir abak yardımıyla standart kompaksiyon deneyi için yaklaşık optimum su içeriğini belirlemeye çalışmışlardır (12). Daha sonra çeşitli araştırmacılar da Atterberg limitleri ile optimum su içeriğinin tahmin edilebilirliği konusunda araştırmalar yapmışlardır (3-6). Al-Khafaji; ince taneli zeminlerde Atterberg limitleri ile kil içeriğinin kompaksiyon parametreleri üzerindeki etkisini araştırmıştır (7). Hausmann ise zemin kompaksiyon parametreleri ve zemin sınıflandırma deneyleri arasında görgül ilişkiyi değerlendirmiştir (8).

## 2. KOMPAKSİYON TEORİSİ

Sıkışmanın temel prensipleri R.R.Proctor tarafından 1930'ların başlarında geliştirilmiştir. Proctor'un geliştirdiği standart laboratuvar sıkıştırma deneyi Proctor deneyi olarak bilinmektedir.

Proctor, sıkışmanın şu faktörlere bağlı olduğunu saptamıştır:

- Kuru birim hacim ağırlığı
- Su içeriği
- Sıkıştırma enerjisi
- Zemin türü
- Sıkıştırma ekipmanları

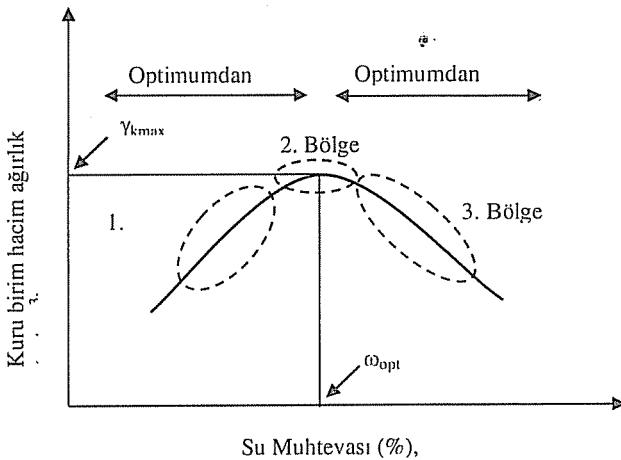
### 2.1. Kuru Birim Hacim Ağırlığı-Su İçeriği

Bir zemin, sabit (belli) bir kompaksiyon enerjisi ile değişik su muhtevalarında sıkıştırıldığında; Şekil 1'de görüldüğü üzere, artan su içeriği ile kuru birim hacim ağırlığı önce artmakta, maksimum bir değere ulaşmakta sonra da azalmaktadır. Bu ilişki şöyle açıklanabilir.

**1. bölgede**, zeminde yeterli su bulunmadığı için tanelerin daha az boşluklu yerleşmek üzere hareket etmeleri, taneler arası sürtünme kuvvetlerinden dolayı zordur. Çünkü, su taneler arası bir yağlama etkisi yapmaktadır.

**3. bölgede** zeminde fazla su bulunduğundan ve suyun da pratik olarak sıkışmaz olmasından dolayı, zeminin boşluk hacmi fazla azaltılmamaktadır.

**2. bölgede** ise sıkışma en yüksek olmakta, kuru birim hacim ağırlık maksimum değere ulaşmaktadır. Kuru birim hacim ağırlığının (diğer bir deyişle sıkıştırmanın) en yüksek olduğu durumdaki su muhtevasına, **optimum su muhtevası** denilir. En iyi sıkıştırma optimum su muhtevasında elde edildiği için, arazideki sıkıştırma; sıkıştırılacak zeminin optimum su muhtevasına sahip olması sağlanarak yapılır. Bir zeminin optimum su muhtevası, laboratuvarda yapılan Proktor (kompaksiyon) deneyi ile belirlenir (9).



Şekil 1. Sıkıştırılmış bir zeminde  $\gamma_k$ - $\omega$  ilişkisi (9)

Bu araştırmada, farklı kökene sahip; değişik jeolojik ortamlarda oluşmuş killerin mekanik sıkışma özellikleri (kompaksiyon) belirlenerek karşılaştırmaları yapılmıştır. Deneylerde farklı mühendislik özellikler gösteren smektit ağırlıklı (9) Handere kili, illit ağırlıklı (13) Almanpınarı kili ve smektit-klorit ağırlıklı (17) Kayapınar (Diyarbakır) kili, kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan Handere kili Adana Baseni'ndeki Pliyosen yaşlı, sığ deniz ortamında gelişmiş Handere Formasyonuna ait sedimanter bir kildir (13, 14). Almanpınarı kili Osmaniye ilinin doğusundaki ofiyolitik kayalardan türeme alüvyal yelpaze niteliğinde gelişmiş karasal bir çökel birimdir. Kayapınar kili ise Diyarbakır ili dolayında bulunan Kuvaterner yaşlı rezidüel nitelikli bir kildir (17). Bu bağlamda farklı ortamlarda oluşmuş ve farklı mineralojik/kimyasal içeriğe sahip killerin mekanik olarak sıkışma özellikleri karşılaştırılmaya çalışılmıştır.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Laboratuvar deneylerinde kullanılan kil örnekleri Çukurova Üniversitesi Balcalı yerleşkesi çevresinde yüzeylenen Handere Formasyonu içerisindeki killi seviyelerden, Osmaniye'nin doğusunda yer alan Almanpınarı kil yataklarından; Kayapınar kili ise Diyarbakır ili Kayapınar beldesinde yaygın olarak yüzeyleyen rezidüel kil tabakalarından sağlanmıştır.

Laboratuvarda öncelikle Handere, Almanpınarı ve Kaypınar killerinin indeks özelliklerinin belirlenmesi amacıyla elek analizi, özgül ağırlık ve Atterberg limit deneyleri yapılmıştır. Elek analizi için ASTM D 422-63 (2) standardına göre zeminlerin tane boyu dağılımı (Şekil 2), ASTM 5550-00 (5) standardında belirtilen yöntem kullanılarak da özgül ağırlık değerleri bulunmuştur. Atterberg limitlerinden, likit limit ve plastik limit için, ASTM D 4318-00 (4) standardı, rötre limitini belirlemek için de ASTM D 427-98 (3) standardı kullanılmış ve sonuçlar Çizelge 1'de toplu olarak verilmiştir.

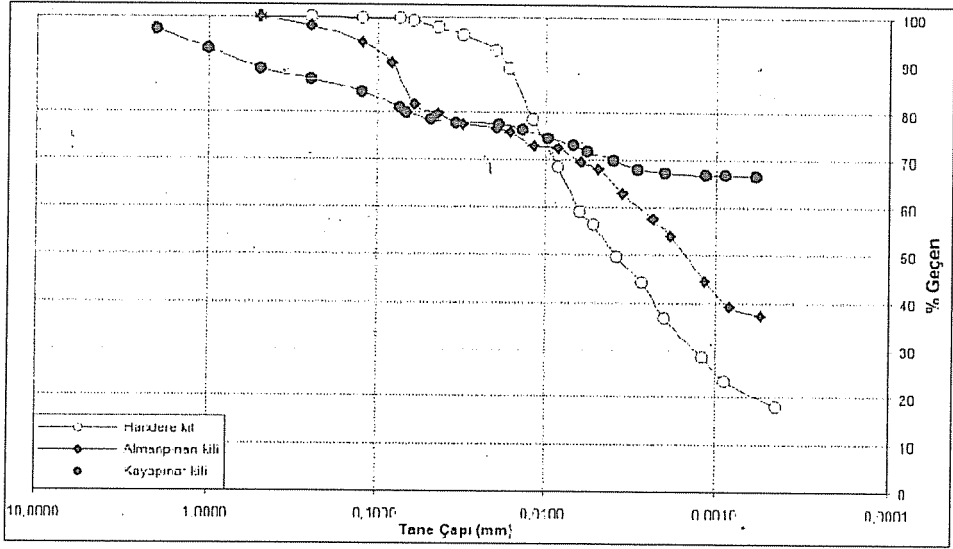
Standart Proktor (kompaksiyon) deneyleri ile, ASTM D 698-00a [6], standardı kullanılarak kil örneklerinin en büyük kuru birim hacim ağırlıkları ve buna karşılık gelen optimum su içerikleri belirlenmiştir (Şekil 3, 4, 5 ve Çizelge 2).

### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

#### 4.1. İndeks Özellikler

Handere, Almanpınarı ve Kayapınarı killerine ilişkin fiziksel özellikler Çizelge 2'de topluca verilmiştir. Birleştirilmiş zemin sınıflaması (USCS)'na göre, Handere ve Almanpınarı kili CL sınıfı; Kayapınar kili ise CH tipi zemin sınıfına girmektedir. Handere, Almanpınarı ve Kayapınarı killerinde ağırlıkça kil miktarları % olarak sırasıyla 55.50, 68.50 ve 71.00 iken kolloid miktarları 25.65, 42.83 ve 66.97'dir. Buna göre Kayapınar kilinde kolloid miktarı oldukça yüksektir. Handere ve Almanpınarı killerinin plastisite indisleri ( $I_p$ ) birbirine yakın sayılabilecek değerlerdeyken (% 19.63 ve 22.63) Kayapınarı kilinin plastisite indisi % 35.07 gibi yüksek bir değerdir. Handere ve Almanpınarı killerinin büzülme limiti birbirine yakın değerler (% 13.36 ve 8.46) iken Kayapınarı kilinin büzülme limiti % 2.95 gibi oldukça düşüktür. Aktivite açısından, Handere ve Kayapınarı killeri orta aktiviteli; Almanpınarı kili ise düşük aktiviteli kil cinsine girmektedir. Bu veriler Kayapınar kilinin Handere ve

Almanpınarı killere göre oldukça küçük bir büzülme limitine, yüksek plastisiteye ve hacimsel büzülme oranına sahip olduğunu göstermektedir.



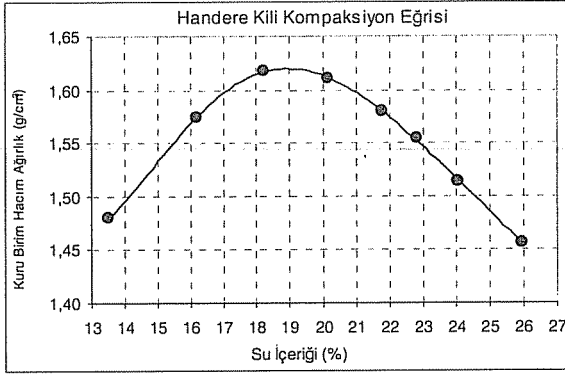
Şekil 2. Handere kili, Almanpınarı kili Kayapınar kilini tane boyu dağılım eğrileri

Çizelge 1. Kil örneklerinin indeks özellikleri

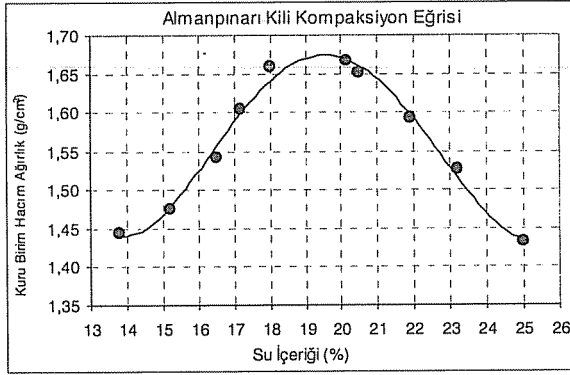
İndeks Özellikleri	Handere kili	Almanpınarı kili	Kayapınar kili
Likit limit, $W_L$ (%)	42.85	45.25	67.57
Plastik limit, $P_L$ (%)	23.22	22.62	32.50
Plantisite indisi, $I_P$	19.63	22.63	35.07
Büzülme limiti, $W_R$	10.20	12.36	2.95
Büzülme Oranı, $S_R$	1.93	1.99	2.04
Hacimsel Büzülme	0.41	0.35	0.58
Özgül Ağırlık, $G_s$	2.74	2.74	2.69
Aktivite, $A$	0.53	0.41	0.53
Cakıl (%)	0.00	0.00	0.00
Kum (%)	0.22	13.00	19.21
Silt (%)	62.98	32.60	13.69
Kil (%)	36.80	55.40	67.30
Kolloid (%)	25.65	42.83	66.97
Zemin sınıfı	CL	CL	CH

#### 4.2. Kompaksiyon Özellikleri

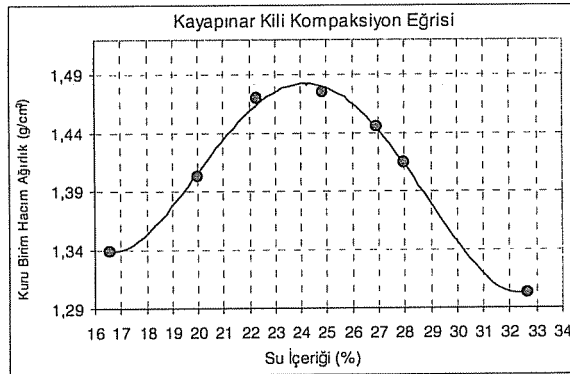
Handere, Almanpınarı ve Kayapınar killeri üzerinde standart Proktor deneyi yapılmış ve bu zeminlere ait kompaksiyon parametreleri belirlenmiştir (Şekil 2, 3 ve 4). Handere kilinde yapılan standart kompaksiyon deneyi ile elde edilen en büyük kuru birim hacim ağırlık  $1.62 \text{ g/cm}^3$  ve optimum su içeriği % 19.11; Almanpınarı kili için en büyük kuru birim hacim ağırlık  $1.67 \text{ g/cm}^3$  ve optimum su içeriği % 19.57 ve Kayapınar kilinin büyük kuru birim hacim ağırlık  $1.48 \text{ g/cm}^3$  ve optimum su içeriği % 24.25 olarak belirlenmiştir (Şekil 3, 4, 5 ve Çizelge 2).



Şekil 3. Handere kilinin kompaksiyon eğrisi



Şekil 4. Almanpınarı kilinin kompaksiyon eğrisi



Şekil 5. Kayapınar kilinin kompaksiyon eğrisi



**Çizelge 2.** Kil örneklerinin kompaksiyon özellikleri

Malzeme Adı	En büyük Kuru Birim Hacım Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Optimum Su içeriği (%)
<b>Handere Kili</b>	1.62	19.11
<b>Almanpınarı Kili</b>	1.67	19.57
<b>Kayapınarı Kili</b>	1.48	24.25

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Denizel ve karasal nitelikli kil örneklerinin kompaksiyon parametreleri yakın değerlerdeyken rezidüel tipteki kil oldukça farklı özellikler göstermektedir. Handere ve Almanpınarı killerinin plastik ve likit limit değerleri ve dolayısıyla plastisiteleri de benzer şekilde birbirlerine yakinken, Kayapınar kilininkiler söz konusu diğer killere göre oldukça büyüktür. Handere ve Kayapınar killerinin aktivite değerleri aynı olmasına karşın diğer fiziksel özelliklerinde herhangi bir benzerlik bulunmamaktadır.

Bu çalışmada konu edilen killer karşılaştırıldığında, likit limit, plastik limit, büzülme ve yoğunluk pametreleri benzer olan sedimater killerin kompaksiyon davranışlarının da birbirine yakın olduğu; yukarıdaki parametreler açısından önemli farklılıklar gösteren rezidüel Kayapınar kilinin kompaksiyon davranışının belirgin olarak değişik olduğu görülmektedir. Sedimanter kökenli Handere ve Almanpınarı killerine göre Kayapınar kili daha düşük yoğunluğa daha büyük su içeriklerinde ulaşabilmektedir. Aktivite açısından bakıldığında en azından bu çalışmada ele alınan killer için, aynı aktivite değerinin kompaksiyon davranışı açısından bir ölçü olmadığı görülmektedir.

Malzeme olarak kullanılabilirlik açısından denizel kökenli ve az ayrılmış Handere ve Almanpınarı killeri dolgu için kullanılabilir niteliktedir. Kayapınarı kili ise ayrışma ürünü olması ve olumsuz kompaksiyon özellikleri (ancak yüksek su içeriklerinde en büyük yoğunluğa ulaşabilmesi) nedeniyle dolguda uygun bir malzeme değildir. Ayrıca Kayapınar kili fiziksel özellikleri nedeniyle düşük su içeriklerinde önemli hacimsel değişimler gösterebileceğinden hafif mühendislik yapılarının temelinde önemli sorunlar yaratabilecek bir davranış gösterme potansiyeline sahiptir. Handere ve Almanpınarı killeri bu açıdan nisbeten daha uygun davranış gösterebilir niteliktedir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Al-Khafaji, A.N., "A simple approach to the estimation of soil compaction parameters", *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 20, 15-30, 1987.
2. ASTM D 422 - 63, "Standard test method for particle size analysis", *Annual Book of ASTM Standards*; 04.08, pp. 10-17, West Conshohocken, 2003.
3. ASTM D 427 - 98, "Standard test method for shrinkage factors of soils by the mercury method", *Annual Book of ASTM Standards*; 04.08, pp. 22-25, West Conshohocken, 2003.
4. ASTM D 4318, "Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils", *Annual Book of ASTM Standards*; 04.08, pp. 582-595, West Conshohocken, 2003.
5. ASTM 5550 - 00, "Standard test method for specific gravity of soil solids by gas pycnometer" *Annual Book of ASTM Standards*; 04.08, pp. 1381-1384, West Conshohocken, 2003.

6. ASTM D 698-00a, "Standard test method for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort", *Annual Book of ASTM Standards*; 04.08, pp.78–87, West Conshohocken, 2003.
7. Benson, C.H., and Trast, J.M., "Hydraulic conductivity of thirteen compacted clays", *Clays and Clay Minerals*, 43 (6), 669–681, 1995.
8. Foreman, E.D., and Daniel, D.E., "Permeation of compacted clay with organic chemicals", *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 112, 7, 669–681, 1986.
9. Gürbüüz, K. ve Gökçen, S.L., "Karaömerli-Akkuyu-Balcalı bölgesi (Kuzey Adana) Neojen istifinin sedimanter jeolojik incelenmesi", *Yerbilimleri*, 12, 69-79, 1985.
10. Hausmann, M.R., "Engineering principals of ground modification", McGraw-Hill Book Co., Singapore, 1990.
11. Holtz, R.D. and Kovacs, W.D., "An introduction to geotechnical engineering", Prentice-Hall, Eaglewood Cliffs, 1981.
12. Johnson, A.W. and Salberg, J.R., "Factors influencing compaction results", *Highway Research Board Bulletin*, 319, 125, 1962.
13. Mirdaılı, N., Halefoğlu, Y.Z. ve Sakarya, N., "Almanpınarı kırmızı kilinin seramikte boyâ olarak kullanılabilirliğinin araştırılması", *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 15 (1), 229-234, 2006.
14. Schmidt, G.C., "XII. Adana petrol bölgesinin stratigrafik nomenklatürü", *Petrol Dairesi yayını*, 6, 1961.
15. Sridharan, A. and Nagaraj, H.B., "Plastic limit and compaction characteristics of finegrained soils", *Ground Improvement*, 9 (1), 17-22, 2005.
16. Sridharan, A., Rao, S.M. and Joshi, S., "Classification of expansive soils by sediment volume method", *Geotechnical Testing Journal*, 13 (4), 375–380, 1990.
17. Taşkıran, T., "Diyarbakır İli, Kayapınar-Yeniköy-Bağcılar Yöresi Kilinin Şişme Potansiyelinin İrdelenmesi", *Yüksek Lisans tezi*, G. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000.
18. Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mersi, G., "Soil mechanics in engineering practice", John Wiley and Sons, 549, New York, 1996.
19. Uzun, B.A., "Temel zemin mekaniği", *Teknik yayınevi*, 376, Ankara, 2000.

## UÇUCU KÜLLERİN KİLLİ ZEMİNLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Sinem AYTEKİN, Hakan GÜNEYLİ ve Özgür YÜKSEL  
Ç.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** Bu çalışmada, Afşin-Elbistan-B Termik Santralinden alınan uçucu küllerin killi zeminler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla illit ağırlıklı Almanpınarı kiline uçucu kül eklenerek hazırlanan yapay zeminlere zemin sınıflama ve kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar belirli oranda uçucu kül katkısının zeminlerin fiziksel özellikleri üzerinde değişimlere neden olduğunu göstermektedir.

### EFFECTS FOR FLY ASH ON CLAYEY SOILS

**ABSTRACT :** In this study, effects of fly ash of Afşin-Elbistan-B Thermal Power on stabilization of clayey soils were investigated. For this purpose, classification and compaction tests were carried out on artificial soil samples prepared by adding fly ash into illitic Almanpınarı clay. Results indicate that adding specific amount of fly ash causes changes on physical properties of soils.

## 1. GİRİŞ

Yaklaşık 2000 yıl önce Eski Romalılar; İtalya'nın Puuzzouli kasabasında Vezüv Dağı eteklerindeki volkanik küllerin kireç ile birleşerek hidrolik bağlayıcı elde etmişlerdir. Puzolan bu iki madde arasındaki tepkime için kullanılır ve bu volkanik küllerin bileşimi uçucu küllerle çok benzerdir (1).

Kendi kendine bağlayıcılık özelliği çok az olan veya hiç olmayan, ancak uygun su içeriğinde ve normal ortam sıcaklığında kireç ile kimyasal tepkimeye girip, bağlayıcı özelliği olan ürünler açığa çıkaran, ince toz halindeki silisli ve alumünlü maddelere puzolan denilmektedir (2).

Çok yüksek sıcaklıkta ergime durumuna gelmiş silikatlar ve alumüno silikatların ani soğumaları sonucu amorf bir yapıya dönüşmesi ve puzolanik aktivite kazanması sonucu oluşmuşlardır (3).

Puzolanlar doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (1).

- Doğal puzolanlar; volkanik küller, volkanik tüfler, diatomik toprak, camlar, pişmiş killer ve şeyllerdir.
- Yapay puzolanlar; yüksek fırın cürufu, silis dumanı, demirli olmayan cüruf ve uçucu küllerdir.

Yapay puzolan sınıfında bulunan uçucu küller; toz halinde veya öğütülmüş, taş kömürü veya linyit kömürünün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu oluşan ve baca gazları ile sürüklenen silis ve alumüno silisli toz halindeki bir yanma kalıntısıdır (4).

Ülkemizde her geçen gün artan nüfus ihtiyacına paralel olarak gelişen kentleşme ve sanayileşmenin karşılanması gereken en önemli gereksinimlerinden biri enerjidir. Bu nedenle mevcut kaynakları değerlendirerek elektrik enerjisi üretiminde diğer enerji kaynaklarına ilave olarak hidroelektrik santraller ve yakıt olarak pulverize kömürün yaygın olarak kullanıldığı termik santraller kurulmuştur.

Türkiye'de halen sadece kömür ile çalışan 15 tane termik santral faaliyet göstermektedir. Çatalağzı, Çolakoğlu ve Sugözü-İskenderun termik santrali dışındaki tüm santraller, linyit kömürü ile çalışmaktadır (5). Bu santrallerde 55 milyon ton/yıl düşük kalorili linyit kömürü yakılmakta ve yanma kalıntısı olarak bacalardan 15 milyon ton/yıl uçucu kül elde edilmektedir (6). Türkiye'de uçucu kül kullanım oranı, 1990 yılı verilerine göre %1'den daha azdır (7).

Uçucu kül toz halinde veya öğütülmüş, taş kömürü veya linyit kömürünün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu oluşan ve baca gazları ile sürüklenen silis ve alumüno silisli toz halindeki bir yanma kalıntısıdır (4).

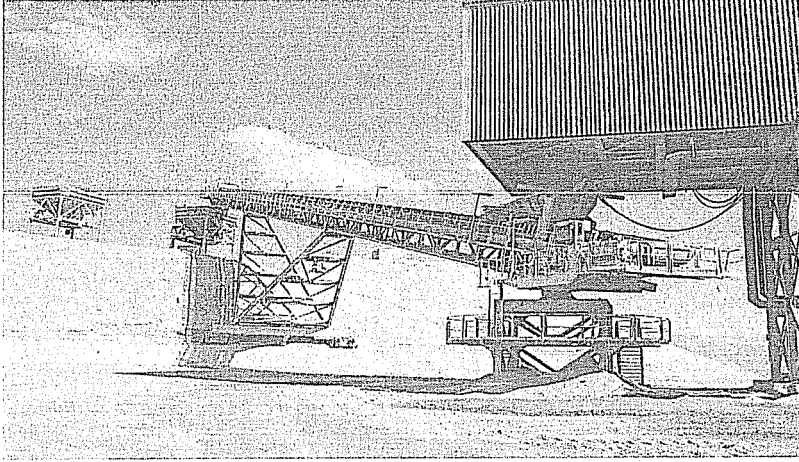
Bu yanma kalıntılarının açık sahalarda depolanmasıyla oluşan çevre problemleri arasında, tozlanma, tarım ürünlerine zarar verme, yağmur ve rüzgâr erozyonu, toprakta süzülme ve radyasyon sayılabilir. Bu çevre sorunları nedeniyle, su ve havanın kalitesi, tarım ürünleri, doğal hayat, bölgenin ekonomik durumu ve çevre güzelliği açısından istenmeyen sonuçlar ortaya çıkmaktadır (5).

Karşılaşılan sorunların giderilmesi, uçucu küllerin çeşitli kullanım alanlarında değerlendirilerek ülke ekonomisine kazandırılması ile mümkün görünmektedir. Bu çalışmada kullanılan uçucu küllerin sağlandığı Afşin-Elbistan-B Termik (AEBTS) Santralinde de bu sorunlar gözle görülür düzeydedir. Santralde bir günde açığa çıkan uçucu kül (UK) miktarı 8 bin tondur. Oluşan yanma kalıntıları 300 hektarlık bir alana taşınmakta ve atık sahasında 8 m yüksekliğinde bir kül adası meydana getirerek,

çevredeki yer altı suları ve tarım arazileri üzerinde büyük tehdit oluşturmaktadır (Şekil 1).

Bu çalışmadaki amaç, AEBTS'li uçucu külünün zemin ıslahında kullanılabilirliğini deneysel çalışmalarla araştırarak, elde edilen sonuçlar ışığında ülke ekonomisine ve çevre dengesinin korunmasına katkıda bulunmaktır.

Çalışmada, zeminin kuru ağırlığının % 10 ve % 20'si oranında uçucu kül ilave edilerek hazırlanan yapay zemine sınıflama ve kompaksiyon, deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, zemine uçucu kül ilavesinin zeminin ıslahında kullanılabilirliği saptanmıştır.



Şekil 1. Afşin-Elbistan-B Termik Santrali atık sahasında oluşan kül adası

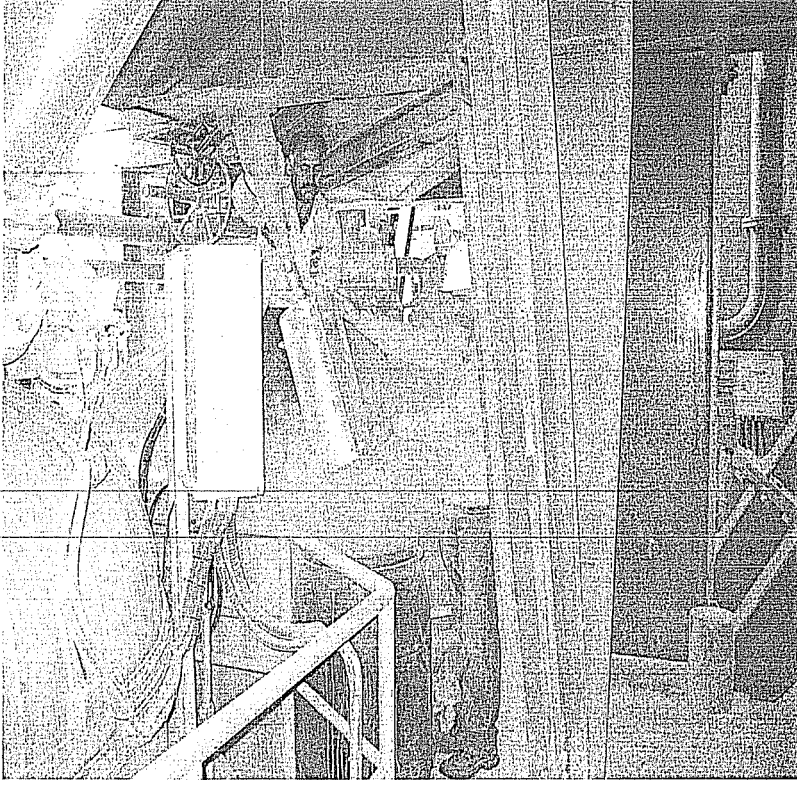
## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Uçucu kül

Ülkemizde artan elektrik enerjisi talebini karşılamak için Afşin –Elbistan bölgesindeki 4.5 milyar ton düşük kalorili linyit kömürünün değerlendirilmesi amacı ile kurulan tesis Çöllolar sektöründeki 900 milyon ton rezervli havzadan beslenmektedir. 2004 yılında faaliyete giren ve halen çalışmasına devam etmekte olan Afşin-Elbistan-B Termik Santrali, Afşin ilçe merkezine 15 km ve Elbistan ilçe merkezine ise, yaklaşık 30 km mesafede bulunmaktadır.

Çalışmada kullanılan malzemelerden uçucu kül (UK) Afşin-Elbistan-B Termik Santralinden (AEBTS) sağlanmıştır. Santralde oluşan atıkların % 95'nin tutulduğu elektro filtrelerden, çalışmalarda kullanılmak amacıyla yaklaşık 150 kg uçucu kül alınmıştır (Şekil 2).



**Şekil 2.** Elektro filtrelerden uçucu kül alımı

### **2.1.2. Uçucu Küllerin Kullanım Alanları**

Uçucu küllerin kullanım alanlarını iki başlık altında incelenebilir.

#### **1) Uçucu Küllerin Yapı Malzemesi Olarak Kullanılması**

- Uçucu küllerin çimento üretiminde kullanılması
- Uçucu küllerin agrega olarak kullanımı
- Uçucu küllerin betonda kullanımı
- Uçucu küllerin tuğla üretiminde kullanımı
- Uçucu küllerin seramik ve cam üretiminde kullanımı
- Uçucu küllerin diğer kullanım alanları

#### **2) Uçucu Küllerin Jeoteknik Çalışmalarda Kullanımı**

- Zemin iyileştirmede iyileştirici katkı malzemesi olarak,
- Enjeksiyon malzemesi olarak,
- Dolgu malzemesi olarak,
- Atık depolama tesislerinde taban, yan ve üst sızdırmazlık tabakası olarak kullanılırlar.

### 2.1.3. Uçucu Küllerin ASTM C 618'e Göre Sınıflanması

Bitümlü kömürlerden elde edilen ve S+A+F toplamı %70'in üzerinde olan F sınıfı uçucu küller, taşkömürünün yakılması ile elde edilirler. F tipi uçucu küller % 10'dan daha az CaO içerdikleri için düşük kireç külü olarak da isimlendirilirler. Bu küllerin yapılarında serbest kireç (CaO) bulunmaz. Kendi kendine sertleşme özelliğine sahip değildirler. Sulu ortamda kireçle tepkimeye girerek sertleşme gösterirler. Puzolonik tepkimelerde (çimentolaşma) normal koşullarda çok yavaş olur.

Genellikle linyit veya yarı bitümlü kömürlerden elde edilen ve S+A+F toplamı % 50'in üzerinde olan C sınıfı uçucu küllerdir. Ayrıca C sınıfı uçucu küller, içerisinde %10'dan daha fazla CaO bulunduran küllerdir ve yüksek kireçli uçucu kül olarak tanımlanmaktadır. Yapılarında % 1-3 arasında değişen serbest kireç bulunur. C sınıfı uçucu küller serbest kireç nedeniyle kendi kendine çimentolaşma özelliğine sahiptir.

### 2.1.4. Kil

Mühendislikte kil denildiği zaman killi zemin kastedilmektedir. Killi zeminden anlaşılan ise bileşenleri kil mineralleri ile bir kısım diğer minerallerden oluşan plastisitesi olan, "kohezyonlu" bir zemindir. Bir zemin kütlesi içinde az miktarda dahi kil minerallerinin varlığı o kütlenin mühendislik özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Kil mineralleri arttıkça zeminin davranışı kilin özellikleri tarafından kontrol edilir.

Çalışmada kullanılan doğal zemin Osmaniye'nin doğusunda yer alan eski Adana-Gaziantep yolu üzerindeki Almanpınarı kil yataklarından sağlanmıştır.

Çalışmada kullanılan Jura-Kretase yaşlı Almanpınarı kil yatağı, yaşlı kireçtaşları içerisinde görülmekte ve kalınlığı yer yer 150 metreye ulaşmaktadır. Genelde kırmızı, kahverengi orta sertlikte az oranda mangan parçaları ve yer yer silt boyutu kırıntılı malzeme içermektedir.

## 2.2. Yöntem

Kompaksiyon mekanik enerji uygulamak suretiyle zemin yoğunluğunun artırılması işlemidir (7). Kompaksiyonun amacı zemin kütlesinin mühendislik özelliklerini iyileştirmektir. Kompaksiyonda zemini tabaka tabaka sererek, silindirme, vibrasyon (titreşim) uygulama, tokmaktama gibi işlemler uygulanarak zeminin boşluk oranı azaltılır. Yol, hava alanı, toprak baraj, toprak dolgu inşaatlarında, zemin belli bir kalınlıkta serilerek, belli bir su içeriğinde, uygun bir sıkıştırma aracı ile sıkıştırılır (8).

Zeminin cinsine göre farklı sıkıştırma yöntemleri uygulamak gerekir. Geçirimsizlik sağlayacak ölçüde ince malzeme bulduran zeminlerin laboratuarda sıkıştırılması ve arazi sıkıştırma denetimlerinde standart kompaksiyon (proktor) deneyi temel olarak alınır.

Zeminlerin katkı maddeleri ile ıslahında çevre ve yükleme koşullarına göre mekanik özelliklerin iyileştirilmesinde güvenli, ucuz ve doğal bir malzeme oluşturulması amaçlanmaktadır. Katkı maddeleri ile iyileştirme işlemleri ulaşım, yapı temel inşaatları, su yapıları, katı atık depolama tesislerinde uygulanmaktadır. Çimento, kireç, uçucu kül, bitüm ve özel kimyasal bileşikler katkı maddesi olarak sayılabilir (9-14).

İyileştirme işleminin değerlendirilmesinde fiziksel, mekanik tekniklerin yanı sıra kimyasal etkiler de göz önünde tutulmalıdır. Genellikle kimyasal işlemler tek yönlüdür.

Tepkime bittikten sonra katılaştan zemin özelliklerini kolayca kaybetmez (12-14).

### 2.2.1. Saha Öncesi Çalışmaları

Bu aşamada öncelikle konuyla ilgili literatür taraması yapılmış, ilgili kurumların kütüphanesi ve arşivlerinden yararlanılmıştır. Kil örneklerinin alınacağı bölge ve uçucu kül örneklerinin alınacağı termik santral hakkında bilgi toplanmış ve amaca yönelik çalışma şekli belirlenmiştir.

### 2.2.2. Saha Çalışmaları

Saha çalışmalarında; deneysel çalışmada kullanılan malzemelerden uçucu kül Afşin-Elbistan-B Termik Santralinden, kil ise Osmaniye'nin doğusunda yer alan Almanpınarı kil yataklarından sağlanmıştır.

### 2.2.3. Laboratuvar Çalışmaları

#### 2.2.3.1. Deney Örneklerinin Hazırlanması

Zemine uçucu kül katkısının etkisi, katkı oranına bağlı olarak incelenmiştir. Çalışmada doğal zemin (Almanpınarı kili), uçucu kül, hazırlanan % 10 ve % 20 uçucu kül katkılı yapay zeminler üzerinde yapılan tüm deneyler TS-1900 standartlarına (15) uygun olarak, Çukurova Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda ve Alfa Yapı ve Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Uçucu kül örnekleri laboratuvara getirilerek 6 kg'lık naylon torbalara konularak paketlenmiştir. Her paketten en az 3 örnek alınarak su içeriği belirlenmiştir.

Almanpınarı kili 4 numaralı elek altında kalacak şekilde çeneli kırıcıda öğütülmüş ve harmanlanmıştır. Öğütülen örnekler 6 kg'lık naylon torbalara konularak paketlenmiştir ve aynı şekilde su içeriği tekrar belirlenmiştir.

Zemin örneğinin açık havada ve ardından etüvde tamamen kurutulup kuru ağırlığa göre uçucu kül katkısının eklenmesi yolu benimsenmemiştir. Doğal zeminin arazi şartlarındaki su içeriği göz önünde tutularak öngörülen oranda uçucu kül eklenerek yapay zemin karışımları hazırlanmıştır (Şekil 3).



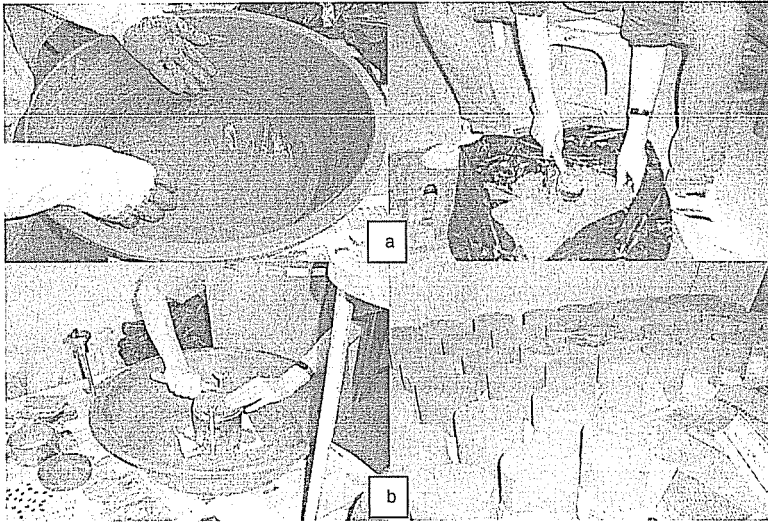
Şekil 3. Yapay zemin karışımının hazırlanması

Doğal zemine ve uçucu kül katkılı yapay zeminlerde kompaksiyon deneyi yapılarak optimum su içerikleri belirlenmiştir (Şekil 4b). Örnekler hazırlanırken eklenen su sıcaklığı  $25 \pm 3$  °C'de kontrol altında tutulmuştur. Kompaksiyon deneyi sırasında ve



proktor sıklığında hazırlanan örneklere saf su yerine içme suyu eklenerek deney sonuçlarının uygulama sahasına kolay aktarılması amaçlanmıştır.

Kompaksiyon deneyi için örnekler hazırlanırken standartlara [16] göre, ıslatıldıktan sonra 24 saat bekletilmiştir. Doğal zemine kompaksiyon deneyi yapmak için eklenen ortalama su miktarı yapay zemin karışımları hazırlanırken eklendiğinde 24 saat sonra deney yapılamayacak kadar kuru malzeme elde edilmiştir. Özellikle % 20 uçucu kül katkılı yapay zeminler hazırlanırken eklenen su miktarı çok yüksektir (Şekil 4a). % 20 uçucu kül katkılı yapay zeminler ıslatıldıktan 24 saat sonra, oldukça sert olmasından dolayı tokmaklanarak öğütülebilmştir (Şekil 4a). % 10 uçucu kül katkılı zeminlerde ise 24 saat sonra ulaşılan sertlik elle ufalanmaya imkân vermektedir. Zeminde uçucu kül katkısına paralel olarak su ihtiyacı da artmaktadır.



Şekil 4. a) Örnek hazırlanması; b) Kompaksiyon deneyi

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Uçucu küllerin fiziksel ve kimyasal özellikleri birçok değişkene bağlıdır. Bunlar kömür cinsi, yanma sistemi, öğütme inceliği, filtre sistemi, kömür kaynağı ve alındığı seviyedir. Genel olarak bunlar hem ortaya çıkacak olan uçucu kül miktarına etki etmekte hem de kömürün kimyasal bileşimi içerisinde yer alan inorganik maddeler ile oluşacak külün kimyasal bileşimini belirlemektedir. Uçucu küllerin fiziksel özellikleri Çizelge 1'de özetlenerek verilmiştir.

Çizelge 1. Uçucu küllerin fiziksel özellikleri

Çap ( $\mu\text{m}$ )	Şekil	Renk	Yoğunluk ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	İncelik
1-200	Yuvarlak	Gri	2.2-2.7	Çimento inceliğinde

### 3.1. Deneysel Çalışmalar

#### 3.1.1. Materyallerin Fiziksel Özellikleri

Doğal zemine ve uçucu küle yapılan deneyler sonucu elde edilen fiziksel özellikler Çizelge 2 ve 3'te verilmektedir.

**Çizelge 2.** Almanpınarı kilinin temel fiziksel özellikleri

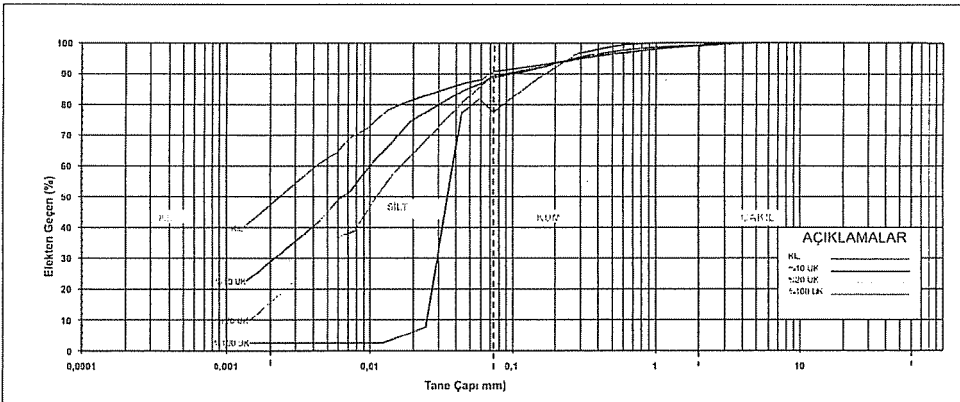
G <sub>s</sub>	W <sub>n</sub> (%)	Ağırlıkça kil oranı %	Aktiflik
2.76	6	47	0.42

**Çizelge 3.** AEBTS Uçucu Külünün temel fiziksel özellikleri

G <sub>s</sub>	Renk	W <sub>n</sub> (%)
2.67	Açık gri	0,2

#### 3.1.2. Tane Boyu Analizi

Doğal zeminin, uçucu kül, % 10 ve % 20 uçucu kül katkılı zeminlerin, tane dağılımları belirlenmiştir. Tane boyu analizinde hidrometre ve elek analizi yöntemi uygulanmıştır. Tane boyu uçucu kül katkısıyla artış göstermiştir. Tane boyu analiz sonuçları göre tane boyu (çapı) dağılım eğrileri çizilmiştir (Şekil 5). Kil, % 10 ve % 20 uçucu kül katkılı zeminlerin tane boyu dağılım eğrileri normal bir dağılım göstermektedir. Bu malzemelerde kül oranı artışı tane boyu dağılımında azalmaya neden olmuştur. Saf uçucu külün tane boyu dağılım eğrisinde bazı anomaliler oluşmuştur. Uçucu külün su ile teması sırasında topaklanmalar oluşmasından dolayı tane boyunda ani artışlar meydana gelmiştir. Bu nedenle hidrometre analizi sırasında zamana bağlı olarak tane boyutlarında anormal değişimler gelişmiştir.



**Şekil 5.** Örneklerin tane boyu dağılım eğrisi

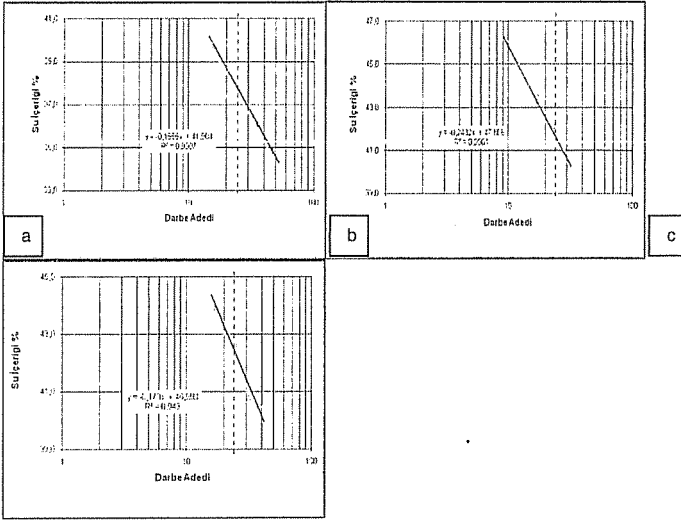
#### 3.1.3. Kıvam Limitleri

Doğal zeminin ve % 10 ve % 20 uçucu kül katkılı zeminlerin, kıvam limitleri belirlenmiştir (Çizelge 4). Likit limit, plastik limit ve plastisite indisi ile uçucu kül katkısı arasındaki ilişki incelenmiştir (Şekil 6).

Çizelge 4 ve Şekil 6’da görüldüğü gibi zemine katılan uçucu kül ilk anda likit limit ve plastik limit değerlerini arttırmakta, plastisite indisinde ise düşüş meydana gelmektedir. Plastisite indisinin düşmesi işlenilebilirliği arttırmaktadır.

**Çizelge 4.** Doğal zemin ve uçucu kül katkılı zeminlerin kıvam limiti değerleri

	LL	PL	IP	Zemin sınıfı
Doğal zemin	38.01	18.30	19.71	CL
% 10 UK Katkılı	42.11	28.60	13.51	CL
% 20 UK Katkılı	42.37	29.38	12.99	ML



**Şekil 6.** Akış eğrileri (a) Doğal zemin; (b) % 10 UK katkılı yapay zemin; (c) % 20 UK katkılı yapay zemin

### 3.2. Uçucu Kül Katkısının Kompaksiyon Özelliklerine Etkisi

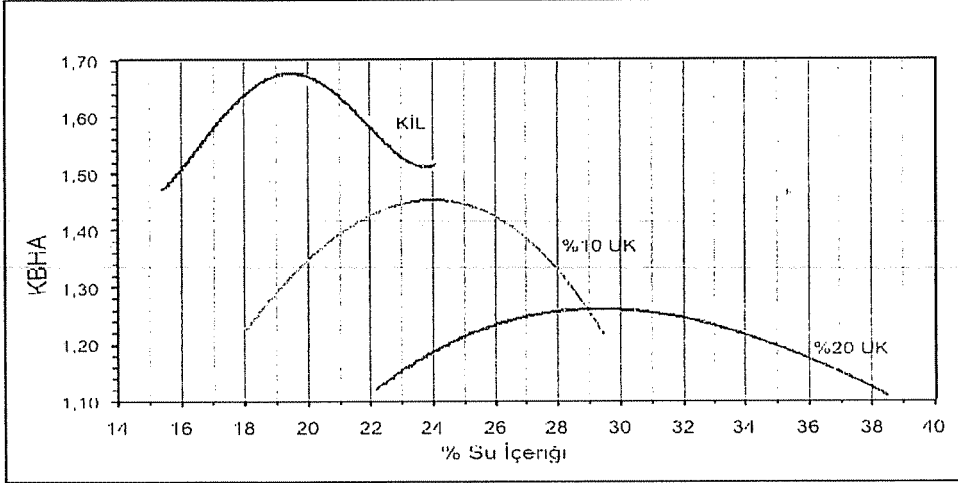
Doğal zeminin ve % 10 ve % 20 uçucu kül katkılı örneklerin standart proktor deneyleri yapılarak optimum su içeriği ( $w_{opt}$ ) maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ( $\gamma_{kmak}$ ) belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 5’te verilmiştir.

Doğal zemine ve uçucu kül katkılı zeminlerin ait kompaksiyon eğrileri çizildiğinde; maksimum kuru birim hacim ağırlık uçucu kül katkısıyla azalırken optimum su içeriği artış göstermektedir (Şekil 7). Uçucu kül katkısı su ihtiyacını artırmaktadır.

Yapılan tüm çalışmalardan elde edilen sonuca göre; zemine uçucu kül katkısı, maksimum kuru birim hacim ağırlık değerini azaltmakta, optimum su muhtevasında ise artış meydana getirmektedir. Kuru birim hacim ağırlığı artan kompaksiyon enerjisi ile artırılabilir. Uçucu kül katkısı zeminin kompaksiyon özelliklerini etkilemektedir.

**Çizelge 5.** Doğal zemin ve uçucu kül katkılı zeminlerin  $\gamma_{kmax}$  ve  $w_{opt}$  değerleri.

Malzeme Türü	$\gamma_{kmax}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$w_{opt}$ (%)
Doğal Zemin	1,67	19,5
% 10 UK Katkılı Zemin	1,47	24
% 20 UK Katkılı Zemin	1,26	30

**Şekil 7.** Örneklerin kompaksiyon eğrileri

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Uçucu küllerin kıllı bir zeminin fiziksel ve mühendislik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Termik santrallerde ortaya çıkan uçucu kül miktarının her geçen gün artması ile uçucu küllü atık olarak nitelendirilerek depolamak yerine, yan ürün olarak değerlendirebilmenin yollarını aramak zorunluluk haline gelmiştir.

Çalışmada zemin üzerinde uçucu kül katkısı ve kür sürelerinin etkisi incelenerek uygun karışım oranları belirlenmiştir. Uçucu kül katkısının, zeminin jeoteknik özellikleri, kıvam limitleri, kompaksiyon, kayma mukavemeti, sıkışma özelliklerinde belirleyici olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada, kullanılan malzemelerden uçucu kül Afşin Elbistan-B Termik Santralinden, kil ise Osmaniye'nin doğusunda yer alan Alman Pınarı kil yataklarından sağlanmıştır.

Zemine katılan uçucu kül ilk anda likit limit ve plastik limit değerlerini arttırmaktadır. Plastisite indisi düşmektedir. Plastisite indisinin düşmesi işlenilebilirliği arttırmaktadır.

Sonuçlara göre; zemine uçucu kül katkısı maksimum kuru birim hacim ağırlık değerini azaltmakta, optimum su muhtevasında ise artış meydana getirmektedir. Kuru birim hacim ağırlık kompaksiyon enerjisi ile artırılabilir. Uçucu kül katkısı zeminin kompaksiyon özelliklerini değiştirmektedir.

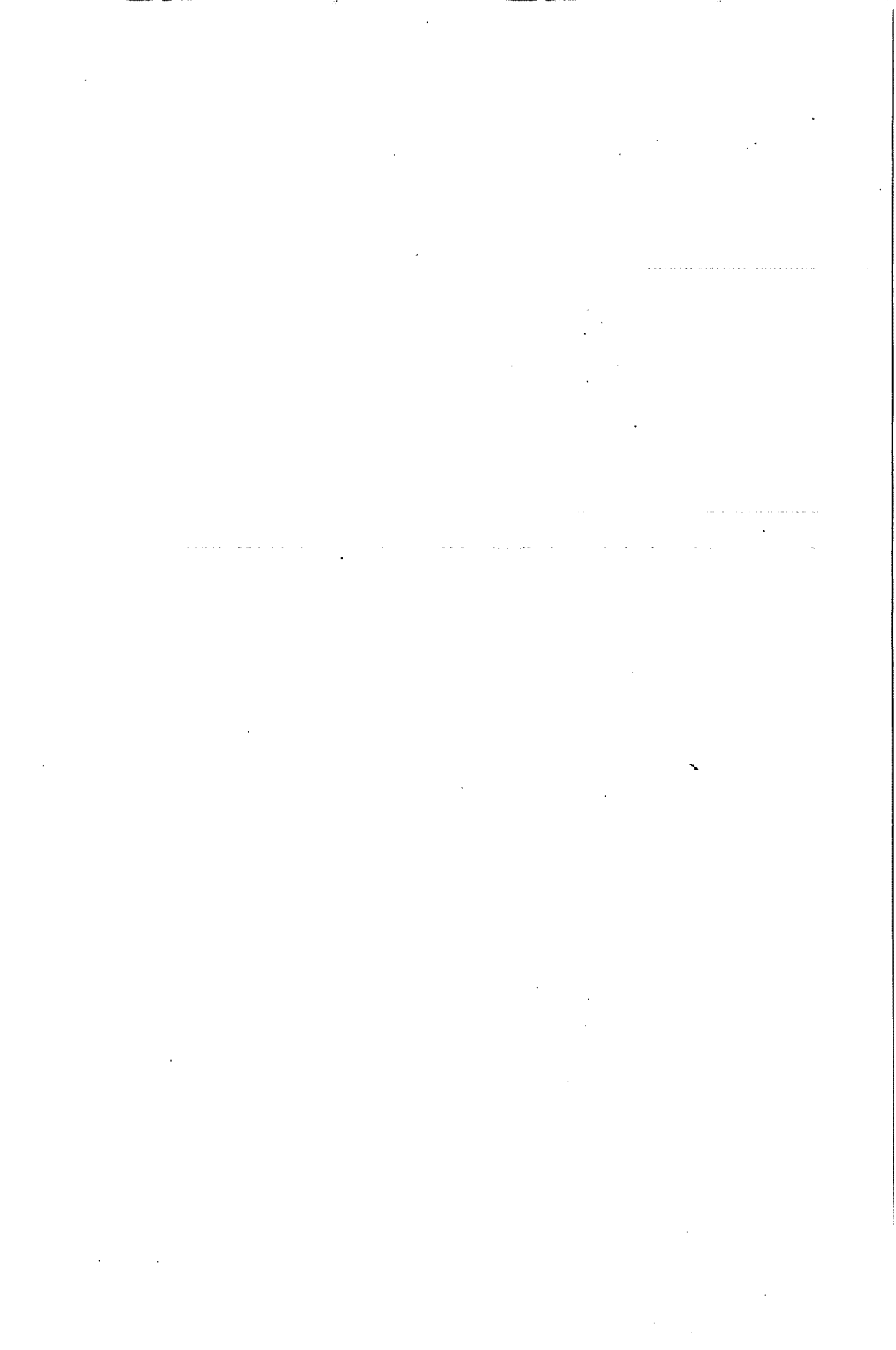
Gelecekte yapılacak çalışmalarda, zemin tipinin değiştirilmesi, farklı tipte uçucu küllerin kullanılması, uçucu küllün miktarındaki değişim ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılabilir. Bu araştırmalarda yapılan deneylerin dışındaki deneylerle sonuçlar geliştirilebilir. Ayrıca cüruf ekleyerek zemin stabilizasyonu ile ilgili çeşitli çalışmalar yapmak mümkündür.

Yapılan çalışma sonucunda, Afşin-Elbistan-B Termik Santrali uçucu küllünün zeminin mekanik özelliklerini değiştirmede kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Ülkemizde atık olarak nitelendirilen ve büyük depolama masrafları yanında çevre kirliliğine yol açan bu malzeme, jeoteknik mühendisliği uygulamalarında kullanılarak ekonomik fayda sağlanabilir. Ayrıca çevreye verilen zarar da böylece azaltılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Erdoğan, T.Y., "Atık Hammaddelerin İnşaat Endüstrisinde kullanımı, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı Sempozyumu, s. 1-8, Ankara, 1993.
2. ASTM C 618, "Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a mineral admixture in Portland Cement Concrete", ASTM, 1991.
3. Akman, S., "Ağırlık Barajlarında Uçucu Küllü Rolkrit Kullanımı", Endüstriyel Atıkların İnşaat Mühendisliğinde Kullanılması Sempozyumu, TMMOB İnş.Müh. Odası, Ankara Şb., 9-22, Ankara, 1993.
4. TSE, "Uçucu Küller Standardı", TSE 639, 1975.
5. Tokyay, M., "Betonda Uçucu Kül Kullanımı", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı Sempozyumu, Ankara, 1993.
6. TEAŞ, "Faliyet Raporu", Ankara, 2000.
7. Tokyay, M., Erdoğan, K., "Türkiye Termik Santrallerinden Elde Edilen Uçucu Küllerin Karakterizasyonu", TÇMB, Ankara, 1998.
8. Uzuner, B., "Temel Mühendisliğine Giriş", Derya Kitabevi, Trabzon, 205s, 2000.
9. Balta, İ., "Doğu Karadeniz Bölgesi Topraklarının Çimento ve Kireçle Stabilizasyonu", KTÜ Fen Bil. Enstitüsü Doktora Tezi, 97, Trabzon 1984.
10. Hausmann, M.R., "Engineering Principles of Ground Modification", International Edition 632 s., Singapore, 1990.
11. Inghess, O.G. and Metcalf, J.B., "Soil Stabilization Principles and Practice", Butterworths, 374, Sydney, 1972.
12. Önalp, A., "İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi", Cilt II Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayın No: 3, Trabzon, 1225, 1983.
13. Mitchell, J. K., "Soil Improvement, (State of the Art Report)", X. Soil meehand Foundation Eng. Conferans., Stockholm, 1981.
14. Impe, W., "Soil Improvement Techniques and their Evolution", AA Balkema, Rotterdam, 124, 1989.
15. TSE, "İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri", TSE 1900, Ankara 1987.
16. ASTM D 698-00a, "Standard test method for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort", Annual Book of ASTM Standards; 04.08, West Conshohocken, pp. 78-87, 2003.



## FARKLI KÖKENLERE SAHİP KİLLERİN ŞİŞME ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI

**Hakan GÜNEYLİ**

Ç.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** Killi zeminlerin mühendislik davranışları kilin cinsi, oluşum ortamı ve ayrışma durumları gibi etkenler tarafından denetlenmektedir. Bu bağlamda farklı oluşum ortamı ve kökene sahip denizel Handere kili, karasal (aliivyal) Almanpınarı kili ve rezidüel (kalıntı) Kayapınarı kili üzerinde indeks, standart kompaksiyon ve tek boyutlu şişme deneyleri yapılarak temel fiziksel, kompaksiyon ve şişme özellikleri belirlenmiştir. Sonuçlar sedimanter kökenli Handere ve Almanpınarı killerinin yüksek, rezidüel Kayapınarı kilinin ise çok yüksek şişme potansiyeline ve şişme basınçlarına sahip olduğunu göstermiştir.

### CORRELATION OF SWELLING PROPERTIES OF CLAYS WITH DISTINCT ORIGIN

**ABSTRACT :** Engineering behaviors of clayey soils are governed by factors including type, sedimentation environment, degree of weathering of clay. In this context, basic physical, compaction and swelling properties were determined through carrying out index, standard compaction and one-dimensional swell tests on the Handere clay (shallow marine), the Almanpınarı clay (terrestrial/alluvial) and the Kayapınarı clay (residual). Results indicate that the Hanedere clay and the Almapınarı clay have high and Kayapınarı clay has very high swelling potential and swelling pressure.

## 1. GİRİŞ

Killerin, mineralojik içerikleri ile fizikomekanik davranışları arasındaki ilişki çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Kilin türü; zeminin geçirimliliği, şişme-büzülme davranışı, sıkışabilirlik ve kayma direnci gibi temel mühendislik özelliklerini belirlemektedir. Kil minerallerinin cinsi, kökeni ve oluşum ortamlarına bağlıdır. Kayacın kile dönüşmesi ve kilin karakterini kazanmasında; ortam, sıcaklık, iklim, su içeriği, yeraltı su seviyesi, drenaj koşulları, pH ve tuzluluk, bitki örtüsü, eğim ve ana kayaç türü önemli rol oynar (1). Özellikle rezidüel (kalıntı) zeminlerin oluşumunu denetleyen etmenlerin başında iklim gelmekte ve belirli iklim koşulları belirli mineral gruplarının oluşumunu sağlamaktadır. Örneğin smektitler buharlaşmanın yağış düzeyini geçtiği ve yıkanmanın yetersiz olduğu yarı kurak ve kurak iklimlerin tipik mineralleri iken, lateritler ve podzolun hâkim mineralleri kaolinittir (2). Dolayısı ile killerin mineral yapılarını, oluşum koşulları ve kökenleri ile birlikte değerlendirmek; zemin yapısını daha gerçekçi tanımak, olası sorunları önceden kestirmek açısından önemlidir. Ayrıca, saha çalışmalarında, çalışmaya yön vermekte ve sahanın jeoteknik karakterini daha iyi değerlendirmeye olanak sağlamaktadır.

Ferromagnezyen mineraller içeren ultrabazik ve bazik (% 40–60 SiO<sub>2</sub>) magmatik kayalar ve volkan küllerinin, kaynaklık ettiği smektit ve smektitlerin içinde yer aldığı karışık tabakalı kil yapılarının hâkim olduğu kurak ve yarı kurak iklim koşullarının sürdüğü bölgeler, şişme özelliğine sahip killerin oluşması için uygun ortamlardır (3). Uygun iklim koşullarında, buharlaşma ve terlemenin yol açtığı su içeriği azalmaları sonucunda, kuruma ve zeminde rötire çatlakları oluşmaktadır. İlerleyen süreçte, düşen yağışlar ile zeminin su içeriği artar, geçirimsiz tabakaların altında nem birikir, insan faktörü (su borularından kaynaklanan sızıntılar, drenaj sistemlerinin tıkanması, su birikintileri v.s.) sonucunda zemin şişer ve yapısal hasarlar oluşturabilir. Hafif yapılar, yol, havaalanı ve kanal kaplamaları, park alanları ve su boruları şişen zeminlerin hasar verdiği yapıların başlıcalarıdır (4). Türkiye gibi kurak ve yarı kurak iklim bölgeleri, bu tip hasarların en yaygın olduğu yerlerdir.

Sahada oluşan gerçek şişme düzeyi birçok etkene bağlıdır (Çizelge 1). Zeminin şişme potansiyeli, şişebilir tabaka kalınlığı, zemin neminin beslenme kaynakları, başlangıç yoğunluk ve su içeriği, sürşarj yükleri, yeraltı su seviyesi ve aktif bölge derinliği bu etkenlerin en önemlileridir (5). Ancak, şişmenin oluşabilmesi için, zeminin şişme özelliğine sahip (potansiyel şişebilir) olması gerekmektedir. Bu nedenle, bu tip zeminlerin önceden belirlenmesi ve tanımlanmaları büyük önem taşır.

Şişme özelliği olan zeminlerin, şişme potansiyellerini ölçmede en yaygın olarak kullanılan yöntemler, temel zemin parametreleri ile şişme potansiyeli arasında karşılaştırma yapılması (Çizelge 2) ve ödometre kullanılarak zeminin şişme potansiyelini deneysel olarak doğrudan ölçmeye dayanır (6).

Bu çalışmada, farklı köken ve mineralojik özelliklere sahip killerin şişme davranışları belirlenerek birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, farklı mühendislik özellikler gösteren smektit ağırlıklı (7) sığ denizel ortam ürünü Handere kili, illit ağırlıklı (8) karasal (altüvyal yelpaze ürünü) Almanpınarı kili ve smektit-klorit ağırlıklı (9) rezidüel (kalıntı-karasal) Kayapınar (Diyarbakır) kili, kullanılmıştır. Bu bağlamda farklı ortamlarda oluşmuş ve farklı minereolojik/kimyasal içeriğe sahip killerin şişme



FARKLI KÖKENLERE SAHİP KİLLERİN ŞİŞME ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI

özellikleri ödometre yöntemiyle doğrudan ölçüm esasına dayanan veriler kullanılarak karşılaştırılmıştır.

**Çizelge 1. Şişmeye Etkiyen Faktörler (5)**

Faktörler	Tanımlama
<b>Zemin Özellikleri</b>	
Katı Madde İçeriği	Montmorillonit içeren aktif kil mineralleri ve montmorillonit ve diğer kil minerallerinin kombinasyonu ile oluşan karışık tabakalı killer
Boşluk Sıvısı, Tuz Konsantrasyonu	Boşluk sıvısındaki yüksek katyon yoğunluğu şişme özelliğini azaltma eğilimindedir. Osmoz yoluyla şişme uzun sürede önem kazanır.
Boşluk Sıvısı İçeriği	Tek değerlikli katyonların fazlalığı büzülme-şişme özelliğini artırır. İki ve üç değerlikli katyonlar büzülme/şişme özelliğini engeller.
Kuru Yoğunluk	Yüksek kuru yoğunluk, partiküllerin daha sıkı dizilmelerine ve şişmenin artmasına yol açar.
Yapı	Floküler yapı, dağınık yapıya oranla daha fazla, çimentolanmış partiküller ise daha az şişer. Ayrılmış dokular şişmenin artmasına yol açarlar.
<b>Çevresel faktörler</b>	
İklim	Kurak iklimler kurumayı artırırken, ılıman iklimler, zeminin nemli kalmasına neden olurlar.
Yeraltı Suyu	Yüzeysel ve değişken yeraltı suyu zemin nemine kaynak oluşturur ve şişmeye yol açar.
Drenaj	Yetersiz yüzey drenajı nem birikimi ve göllenmeye neden olur.
Bitki Örtüsü	Ağaçlar, çalılar, otlar zemin neminin azalmasına yol açarlar. Bitki örtüsünün alındığı yerlerde ise nem birikimi oluşur.
Yanal Basınç	Yüksek yanal basınç, şişmenin azalmasına yol açar. Kazı alanları daha fazla şişerler.
Arazi Permeabilitesi	Fisürler, permeabiliteye önemli ölçüde artırır ve daha çabuk şişmeye neden olurlar.

**Çizelge 2. Yaygın Zemin Deneyleri İle Korelasyon (7)**

Laboratuvar ve Saha Verileri			Şişme Derecesi			
200 no'lu elekten geçen	Likit Limit	SPT N	Olası Şişme (%)	Şişme basıncı		Şişme Potansiyeli
				(kg/ft <sup>2</sup> )	(kPa)	
<30	<30	<10	<1	1	50 (0.5 kg/cm <sup>2</sup> )	Düşük
30-60	30-40	10-20	1-5	3-5	150-250 (1.5-2.55 kg/cm <sup>2</sup> )	Orta
60-95	40-60	20-30	5-10	5-20	250-1000 (2.55-10.2 kg/cm <sup>2</sup> )	Yüksek
>95	>60	>30	>20	>20	>1000 (10.2 kg/cm <sup>2</sup> )	Çok Yüksek

## 2. ŞİŞME ÖZELLİĞİNİN TANIMLANMASI

Şişebilen, kısmen doygun kohezif zeminler, su ile karşılaştıklarında, hacim değiştirirler ve şişmelerine engel olunduğunda basınç uygularlar. Bu basınç “şişme basıncı” olarak tanımlanır. Şişen zeminlerin bu özelliklerini ölçmek amacıyla, uygulanan deneysel yöntemler; ya “şişme potansiyeli” olarak adlandırılan hacim artışını ya da “şişme basıncını”, suya doygun hale gelinceye kadar ölçmeye dayanırlar.

“Şişme potansiyeli” laboratuvarında belli koşullarda sıkıştırılmış veya doğal (örselenmemiş) bir zemin örneğinin belirli bir yük altında, sıfır yanıl deformasyon durumunda suya doygun hale gelinceye dek göstermiş olduğu düşey şişme miktarının, örneğin ilk yüksekliğine oranının yüzdesi olarak ifadesidir. Bu değer, sıfır yanıl deformasyon koşullarında aynı zamanda hacimsel artış yüzdesidir (4).

Şişme potansiyeli ölçülürken kullanılan ring çapları 50–112 mm, yükseklikleri ise 12–37 mm arasında değişmektedir. Örneğe uygulanan sürşarj yükleri ise 1 kPa -71,8 kPa arasında değişebilmektedir. Bu farklılıkların nedeni, örnek ile ring arasındaki sürtünmenin azaltılması ve zemin örneğine su girişini kolaylaştırmaktır. Sonuçta farklı deneysel süreçler ve şişme karakteristikleri bu farklılıklar göz önüne alınarak şişme davranışının tanımlanmasına yol açmıştır. Genelde, deney başlangıcında örneğe uygulanan basıncın 7 kPa ve daha az olması halinde, elde edilen şişme “serbest şişme” [free swell (SS)] olarak kabul edilir. Daha büyük yükler altında elde edilen şişme değerleri; uygulanan gerilmenin yerindeki gerilme dolayında olması halinde “sürşarj altında şişme” (swell under overburden), bundan farklı gerilmeler altında ise “yükli şişme (swell under load)” olarak kabul edilir (10).

Şişme basıncı [sabit hacimli şişme basıncı (SHŞ)] ise, zeminin serbest suyu olarak hacim değiştirmesini engellemek için uygulanması gereken karşı gerilme olarak tanımlanır. Şişme basıncı deneyleri de ödometre koşullarında gerçekleştirilir (11).

## 3. MALZEME VE YÖNTEM

Deneylerde farklı mühendislik özellikleri gösteren smektit ağırlıklı Handere kili (7), illit ağırlıklı Almanpınarı kili (8) ve smektit-klorit ağırlıklı Kayapınar (Diyarbakır) kili (9) (Şekil 1). Handere kili Adana Basen’indeki Pliyosen yaşlı, sığ deniz ortamında gelişmiş Handere formasyonuna (12) ait sedimanter bir kildir. Almanpınarı kili Osmaniye ilinin doğusundaki ofiyolitik kayalardan türeme alüvyal yelpaze türünde karasal bir çökel birimdir. Kayapınar kili ise Diyarbakır ili dolayında bulunan Kuvaterner yaşlı rezidüel nitelikli bir kildir (9). Almanpınarı kili kendine has mühendislik özellikleri nedeniyle seramik sanayisinde kullanılmaktadır.

Laboratuvarında öncelikle Handere, Almanpınarı ve Kayapınar killerinin indeks özelliklerinin belirlenmesi amacıyla elek analizi, özgül ağırlık ve Atterberg limit deneyleri yapılmıştır. Elek analizi için ASTM D 422–63 (13) standardına göre zeminlerin tane boyu dağılımı (Şekil 2), ASTM 5550–00 (14) standardında belirtilen yöntem kullanılarak da özgül ağırlık değerleri bulunmuştur. Kıvam limitlerinden, likit limit ve plastik limit için, ASTM D 4318–00 (15) standardı, Büzülme limitini belirlemek için de ASTM D 427–98 (16) standardı kullanılmış ve sonuçlar Çizelge 3’de toplu olarak verilmiştir.

Kil örneklerinin kaplama ve dolgu tipi uygulamalardaki şişme davranışının ortaya konması amacıyla malzemelere standart kompaksiyon deneyi uygulanmış ve özellikle

“optimum su içeriği ve en büyük kuru birim hacim ağırlıktaki” örnekler üzerinde tek boyutlu şişme deneyi (ödometre yöntemi ile) ve sabit hacimli şişme deneyi uygulanmıştır. Standart Proktor (kompaksiyon) deneyleri ASTM D 698-00a (17) standardı; şişme deneyleri ise ASTM D 4546-96 (6) standardına göre yapılmıştır.

Serbest şişme deneyinde (SŞ) kohezyonlu bir zeminin şişme miktarı, birincil ve ikincil şişme özellikleri ve serbest şişme basıncı saptanabilmektedir (10). Deneyde ödometre ringine yerleştirilen zemin örneği minimal bir yük (1-71.8 kPa) altında suya doyurulur ve şişme davranışı belirli bir zamanlama düzeninde ölçülür. Şişme bitinceye kadar, suya doymuş durumda okumalar alınır. Ardından 24 saat arayla konsolidasyon deneyindeki yöntem izlenerek yüklemeler yapılır. Böylece zeminin ilksel boşluk oranına getirebilecek yük; başka bir deyimle serbest şişme basıncı bulunmuş olur. Örnek, deney başındaki boşluk oranına (ilk hacmine) ulaşmaya kadar yüklemelere devam edilir. Bu yöntem belirli bir sürsaj yükü altında sabit bir gerilmeye maruz kalan zeminlerin şişme davranışını belirlemede önemli avantajlar sunmaktadır. Sabit hacimli şişme deneyinde (SHŞ) ise konsolidasyon ringine yerleştirilen zemin örneği suya doyurulduktan sonra hacim değişimini önlemek için sürekli küçük yüklemeler yapılır. Her yüklemeden sonra meydana gelen hacim artışıyla yeni bir yükleme yapılarak zeminin şişmesi sona erdirildiğinde yükleme durdurulur. Zeminin şişmesini tamamen durduran yük sabit hacimli şişme basıncını verir.

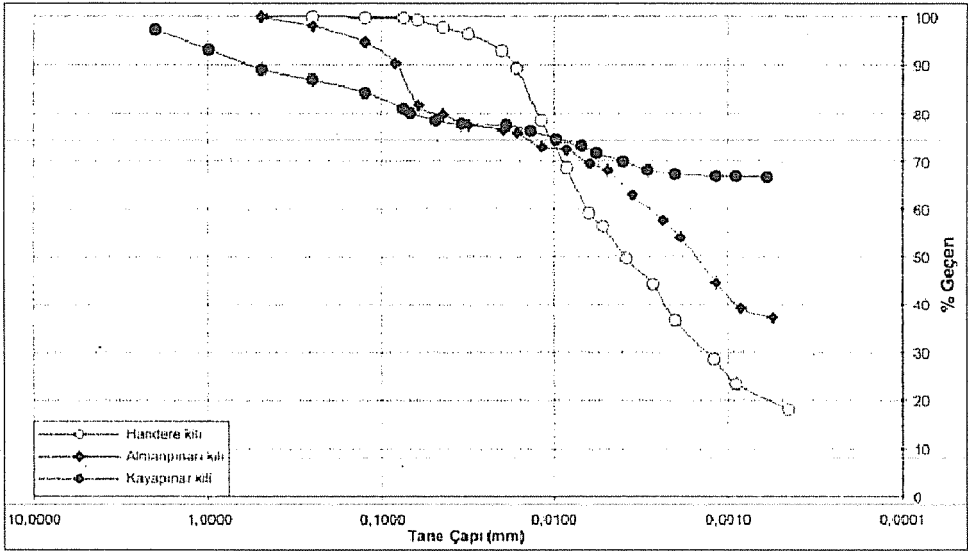
## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. İndeks Özellikleri

Handere, Almanpınarı ve Kayapınarı killerin indeks özellikleri Çizelge 3'de topluca verilmiştir. Birleştirilmiş zemin sınıflaması (USCS)'na göre, Handere ve Almanpınarı kili CL sınıfı; Kayapınarı kili ise CH tipi zemin sınıfındadır. Handere, Almanpınarı ve Kayapınarı killerinde ağırlıkça kil oranı sırasıyla %55.50, 68.50 ve 71.00, kolloid miktarları ise 25.65, 42.83 ve 66.97'dir (Şekil 1). Buna göre Kayapınarı kilinde kolloid oranı oldukça yüksektir. Handere ve Almanpınarı killerin plastisite indisleri ( $I_p$ ) birbirine yakinken (% 19.63 ve 22.63) Kayapınarı kilinin plastisite indisi % 35.07'dir. Handere ve Almanpınarı killerin büzülme limiti birbirine yakın (% 13.36 ve 8.46); Kayapınarı kilinin büzülme limiti % 2.95 oldukça düşüktür. Aktivite açısından, Handere ve Kayapınarı killeri orta aktiviteli; Almanpınarı kili ise düşük aktivitelidir. Özet olarak Kayapınarı kili Handere ve Almanpınarı killere göre oldukça küçük bir büzülme limitine, yüksek plastisiteye ve hacimsel büzülme oranına sahiptir.

### 4.2. Şişme Özellikleri

Handere, Almanpınarı ve Kayapınarı killeri üzerinde standart Proktor deneyi yapılmış ve bu zeminlere ait kompaksiyon parametreleri belirlenmiştir (Çizelge 4). Optimum su içeriği ( $w_{opt}$ ) ve en büyük kuru birim hacim ağırlık ( $\gamma_k$ )'ta hazırlanan zemin örnekleri üzerinde ödometre (konsolidasyon) aletinde tek boyutlu serbest şişme [Free Swell Test (SŞ)] ve sabit hacimli şişme deneyleri [Constant Volume Swell Test (SHŞ)] yapılmıştır.



Şekil 1. Handere kili, Almanpınarı kili Kayapınar kilini tane boyu dağılım eğrileri.

Çizelge 3. Kil örneklerinin indeks özellikleri

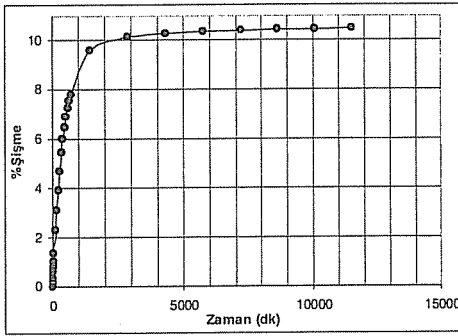
İndeks Özellikleri	Handere	Almanpınarı kili	Kayapınar kili
Likit limit, WL (%)	42.85	45.25	67.57
Plastik limit, PL (%)	23.22	22.62	32.50
Plantisite indisi, IP (%)	19.63	22.63	35.07
Büzülme limiti, $W_R$ (%)	10.20	12.36	2.95
Büzülme Oranı, $S_R$	1.93	1.99	2.04
Hacimsel Büzülme (%)	0.41	0.35	0.58
Özgül Ağırlık, $G_s$	2.74	2.74	2.69
Aktivite, A	0.53	0.41	0.53
Çakıl (%)	0.00	0.00	0.00
Kum (%)	0.22	13.00	19.21
Silt (%)	62.98	32.60	13.69
Kil (%)	36.80	55.40	67.30
Kolloid (%)	25.65	42.83	66,97
Zemin sınıfı	CL	CL	CH

Çizelge 4. Kil örneklerinin kompaksiyon özellikleri

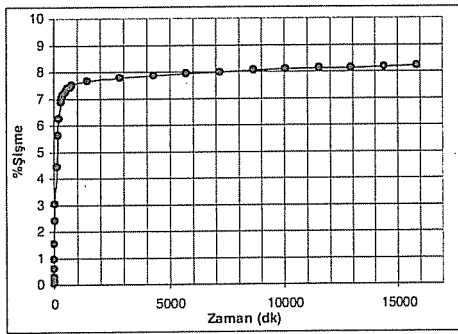
	En büyük Kuru Birim Hacim Ağırlık	Optimum Su içeriği (%)
Handere kili	1.62	19.11
Almanpınarı	1.67	19.57
Kayapınar kili	1.48	24.25

En büyük yoğunlukta ve optimum su içeriklerinde sıkıştırılan bu farklı kil örneklerinin şişme özellikleri birbirinde önemli ölçüde farklılıklar göstermektedir. Denizel kökenli Handere kilinde şişme 8 günde tamamlanarak %10.47 oranında gerçekleşirken, alüvyal Almanpınarı kilinde deformasyon 11 gün ve %8.18 ve rezidüel Kayapınar kilinde 6 günde ve %18.34 oranında gerçekleşmiştir (Şekil 2-3-4).

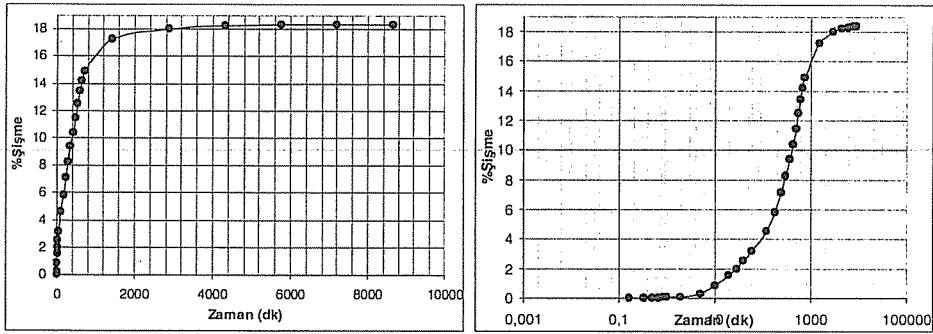
Birincil şişmenin tamamlanma zamanı irdelendiğinde Handere, Almanpınarı ve Kayapınar kilinde sırasıyla 1500, 360 ve 100 dakikalık zaman dilimlerinde sürecin tamamlandığı görülmektedir (Şekil 2-3-4). Serbest şişme deneyinden (SŞ) bulunan şişme basınçları da oldukça belirgin farklılıklar göstermektedir. Yine aynı sıralamaya göre 8.12, 4.45 ve 18.42 kg/cm<sup>2</sup>'lik şişme basınçları ortaya çıkmıştır. Aynı özellikte hazırlanan örnekler üzerinde sabit hacimli şişme deneyleri (SHŞ) yapılarak buradan da şişme basınçları bulunmuş ve bulunan değerler SŞ deneyinden bulunanlardan oldukça düşük çıkmıştır. SHŞ deneylerinden bulunan şişme basınçları SŞ deneylerinde bulunanlardakine benzer şekilde bir sıralanma göstermektedir; Handere, Almanpınarı ve Kayapınarı killeri sırasıyla 4.63, 3.14 ve 10.05 kg/cm<sup>2</sup> bulunmuştur (Çizelge 5).



Şekil 2. Handere kilinin % şişme-zaman ve % şişme-log zaman eğrisi



Şekil 3. Almanpınarı kilinin % şişme-zaman ve % şişme-log zaman eğrisi.



Şekil 4. Kayapınar kilinin % şişme-zaman ve % şişme-log zaman eğrisi.

Çizelge 5. Kil örneklerinin şişme özellikleri

	Handere	Almanpınarı	Kayapınar
Serbest Şişme Miktarı (%)	10.47	8.18	18.34
Serbest Şişme Basıncı-[SS]	8.12	4.45	18.42
Sabit Hacimli Basıncı-[SHŞ]	4.63	3.14	10.05
Birincil Şişme zamanı (dk)	1500	360	100

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Farklı köken ve mineralojiye sahip killere üzerinde yapılan şişme deneyleri sonucunda oldukça farklı şişme özellikleri ortaya çıkmıştır. Şişme deformasyonunun tamamlanması denizel kökenli, smektit ağırlıklı çökel bir kil olan Handere kilinde 8 gün; alüvyal (karasal) kökenli, illit ağırlıklı Almanpınarı kilinde 11 gün ve rezidüel nitelikli ve smektit-klorit ağırlıklı Kayapınar kilinde 6 günde gerçekleşmiştir.

Şişme miktarı değerlendirildiğinde Handere, Almanpınarı ve Kayapınar killerinde sırasıyla % 10.47, 8.18 ve 18.34'lük deformasyonlar oluşmuştur. Serbest şişme deneyi ile deformasyon oranları bulunduktan sonra serbest şişme basınçları sırasıyla 8.12, 4.45 ve 18.42 kg/cm<sup>2</sup> bulunmuştur. Aynı örnekler üzerinde sabit hacimli şişme basınç deneyleri yapılarak bulunan SHŞ değerleri daha küçüktür. Sırasıyla 4.63, 3.14 ve 10.05 kg/cm<sup>2</sup>'lik şişme basınçları ortaya çıkmıştır.

Şişme deformasyonunun önemli bölümünü oluşturan birincil şişme zamanlaması açısından da önemli farklılıklar belirlenmiştir. Birincil şişme sırasıyla 1500, 360 ve 100 dakikada tamamlanmıştır.

Bu bağlamda en büyük şişme basınçları ve deformasyon rezidüel Kayapınar kilinde gerçekleşirken şişmenin tamamlanması bu kilde diğerlerine oranla çok daha kısa zamanda olmuştur. Almanpınarı kili ise bu değişkenler açısından oldukça düşük deformasyon ve basınç özellikleri göstermektedir. Şişme deformasyonunun süresi açısından denizel Handere kili en uzun süreci göstermektedir.

Yaygın zemin mekaniği deneylerinden bulunan değişkenlerle şişme potansiyelinin korelasyonu yapıldığında Handere ve Almanpınarı killerinin yüksek; Kayapınar kilinin çok yüksek şişme potansiyeline sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 2).

Şişme açısından saptanan veriler, hafif mühendislik yapıları için çalışma konusu killerin uygun olmadığını, özellikle Kayapınar kilinin hem şişme deformasyon hem de

şişme basıncı açısından oldukça risk oluşturduğunu göstermektedir. Bununla birlikte eğer daha uygun zemin koşulları sağlanamıyorsa ve deformasyonun çabuk tamamlanması gereken ağır mühendislik yapıları söz konusuysa Kayapınar kili tercih edilebilir. Deformasyon süresinin sorun olmadığı ve ağır mühendislik yapılarında başka zemin seçeneklerinin olmaması durumunda Almanpınarı ve nispeten Handere kili uygun olabilir. Özellikle hafif mühendislik yapılarında bu çalışmaya konu olan killerin kullanılması önemli sorunlar yaratma potansiyeline sahiptir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Gerrard, A.J. "Rocks and Landforms", Unwin Hyman, London, 1988.
2. Mitchell, J.K., "Fundamentals of soil behavior", John Wiley and Sons, 422, New York, 1976.
3. Holtz, W.G., Gibbs, H.J., "Engineering Properties of Expansive Soils", ASCE, Transactions, Vol 121, 641-677, 1956.
4. Holtz, R.D. and Kovacs, W. D., "An introduction to geotechnical engineering", Prentice-Hall, Eaglewood Cliffs, 1981.
5. Johnson, L.D., Snethen, D.R., "Prediction of potential heave of swelling soils", Geotechnical Testing Journal, ASTM 1 (3), 117- 124, 1978.
6. Holtz, R.D. and Kovacs, W.D., "An introduction to geotechnical engineering", Prentice-Hall, Eaglewood Cliffs, 1981.
7. Gürbüz, K. ve Gökçen, S.L., "Karaömerli-Akkuyu-Balcalı bölgesi (Kuzey Adana) Neojen istifinin sedimanter jeolojik incelenmesi", Yerbilimleri, 12, 69-79, 1985.
8. Mirdallı, N., Halefoğlu, Y.Z. ve Sakarya, N., "Almanpınarı kırmızı kilinin seramikte boya olarak kullanılabilirliğinin araştırılması", Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 15 (1), 229-234, 2006.
9. Taşkıran, T., "Diyarbakır İli, Kayapınar-Yeniköy-Bağcılar Yöresi Kilinin Şişme Potansiyelinin İrdelenmesi", Yüksek Lisans tezi, G. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000.
10. ASTM D 4546 – 96, "Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils", Annual Book of ASTM Standards; 04.08, West Conshohocken, 1-7, 2003.
11. Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mesri, G., "Soil mechanics in engineering practice", John Wiley and Sons, New York, 549, 1996.
12. Schmidt, G.C., "XII. Adana petrol bölgesinin stratigrafik nomenklatürü", Petrol Dairesi yayını, 6, 1961.
13. ASTM D 422-63, "Standard test tethod for partical - size analysis", Annual Book of ASTM Standards; 04.08, West Conshohocken, pp. 10-17, 2003.
14. ASTM 5550-00, "Standard test method for specific gravity of soil solids by gas pycnometer" Annual Book of ASTM Standards; 04.08, West Conshohocken, pp. 1381-1384, 2003.
15. ASTM D 4318, "Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils", Annual Book of ASTM Standards; 04.08, West Conshohocken, pp. 582-595, 2003.
16. ASTM D 427-98, "Standard test method for shrinkage factors of soils by the mercury method", Annual Book of ASTM Standards; 04.08, West Conshohocken, pp. 22-25, 2003.

17. ASTM D 698-00a, "Standard test method for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort", Annual Book of ASTM Standards; 04.08, West Conshohocken, 78-87, 2003.



## KOMPAKSİYON PARAMETRELERİNİN YAPAY SINIR AĞLARI İLE TAHMİNİ

**Osman GÜNAYDIN**

*N.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Niğde*

**Bekir Sami TEZEKİCİ**

*N.Ü., Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Niğde*

**Burak YILDIRIM**

*N.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde*

**Ali ÖZVAN**

*Ç.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana*

**ÖZET :** *Bu çalışmada zemin sınıflandırma deney sonuçları kullanılarak yapay sinir ağları (YSA) ile kompaksiyon parametreleri (maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su içeriği) tahmin edilmiştir. Kompaksiyon parametreleri laboratuarda Proktor deneyleri ile belirlenmektedir. Sıkıştırılmış zeminler; yol dolgularında, katı atık depolama alanlarında, toprak dolgu barajların çekirdeklerinde, istinat yapılarında ve buna benzer önemli mühendislik projelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu tür zeminler geotekniğin uygulama alanlarında oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada kompaksiyon parametrelerinin tahmininde kullanılan veriler Türkiye genelinde yapılan yol çalışmalarından temin edilmiştir. Yapay sinir ağı modellerinde giriş olarak, ince tane oranı, kum oranı, çakıl oranı, likit limit, plastik limit değerleri kullanılarak maksimum kuru birim hacim ağırlık ile optimum su içeriği belirlenmeye çalışılmıştır. Yapay sinir ağları ve zemin sınıflandırma deneyleri ile kompaksiyon parametreleri arasında güçlü korelasyonlar ( $R^2=0.88-0.78-0.71$ ) elde edilmiştir. Yapay sinir ağları ile elde edilen bu korelasyonlar oldukça güvenilir sonuçlar vermektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** *Kompaksiyon parametreleri, Atterberg limitleri, zemin özellikleri, yapay sinir ağı.*

## ESTIMATION OF COMPACTION PARAMETERS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

**ABSTRACT :** *This study presents the application of artificial neural Networks (ANN) for the estimation of the compaction parameters (maximum dry unit weight and optimum moisture content) from classification properties of the soils. Compaction parameters can only be defined experimentally by Proctor tests. Compacted soils are used for many geotechnical applications such as engineered barriers for municipal solid waste, dams, embankment and roads; therefore they are important material for geotechnical purposes. The data collected from the road construction in some areas of Turkey were used for the*

*estimation of soil compaction parameters. Different parameters, fine-grained ratio, sand ratio, gravel ratio, liquid limit, plastic limit, and maximum dry density (MDD) and optimum moisture content (OMC) were presented to ANN model as inputs. Artificial neural network estimation indicated strong correlations ( $R^2=0.88-0.78-0.71$ ) between the compaction parameters and soil classification properties. It has been shown that the correlation equations obtained as a result of artificial neural network analyses are in satisfactory agreement with the test results.*

**Keywords:** *Compaction parameters, Atterberg limits, soil properties, artificial neural networks.*

## 1. GİRİŞ

Kompaksiyon, mekanik enerji uygulamak suretiyle zemin yoğunluğunun artırılması işlemidir (1). Kompaksiyon yol, havaalanı, toprak barajı, toprak dolgu inşaatı vb. gibi mühendislik projelerinde oldukça önemlidir. Kompaksiyon ile zeminlerin; sabit ve dinamik yükler altında yapacağı oturmalar azaltılır, taşıma gücü artırılır, aşınabilirliği azaltılır veya geciktirilebilir, sıvılaşma özelliği ortadan kaldırılabilir, geçirimsizliği azaltılarak don etkisi, şişme, büzülme gibi etkilerden kaynaklanacak hacim değişimleri kontrol edilebilir ve zeminlere daha kararlı bir yapı kazandırılabilir.

Laboratuarda standart kompaksiyon deneyi ile iki önemli kompaksiyon parametresi olan maksimum kuru birim hacim ağırlık ( $\gamma_{kmax}$ ) ve optimum su içeriği ( $w_{opt}$ ) değerleri elde edilmektedir. Kompaksiyon parametrelerinin tahmin edilebilmesi amacıyla çok farklı çalışmalar farklı araştırmacılar tarafından yapılmıştır. Kompaksiyon parametrelerinin tahmin ile belirlenmesine yönelik ilk çalışma Jumikis (2) tarafından yapılmıştır. Jumikis, yapmış olduğu ilk çalışmada optimum su içeriği, likit limit ve plastisite indeksi arasında korelasyonlar geliştirmiştir (2). Jumikis, sonraki yıllarda ise ince taneli zeminlerde kuru birim hacim ağırlık ( $\gamma_{kmax}$ ) ve optimum su içeriğini ( $w_{opt}$ ) belirlemek amacıyla farklı yöntemler geliştirmiştir (3). McRae, farklı zeminlere ait kompaksiyon değerleri ile yaklaşık kompaksiyon enerjisini tahmin etmek için kompaksiyon sınıflandırma indeksi geliştirmiştir (4). Joslin ise Ohio kompaksiyon eğrileri ismini verdiği kompaksiyon eğrilerini geliştirmiştir (5). Bu kompaksiyon eğrileri yardımıyla her hangi bir zemine ait kompaksiyon değerlerinin hesaplanılabileceğini söylemiştir. Johnson ve Salberg, plastik limit ve likit limit değerlerini içeren bir abak yardımıyla standart kompaksiyon deneyi için yaklaşık optimum su içeriğini belirlemeye çalışmışlardır (6). Sonraki yıllarda çeşitli araştırmacılar Atterberg limit değerleri ile optimum su içeriğinin tahmin edilebilirliği ile ilgili çeşitli araştırmalar yapmışlardır (7-10 vb gibi). Al-Khafaji, ince taneli zeminlerde Atterberg limit değerleri ile kil içeriğinin kompaksiyon parametreleri üzerindeki etkisini araştırmıştır (11). Hausmann, zemin kompaksiyon parametreleri ve zemin sınıflandırma deneyleri arasında ampirik ilişkiyi değerlendirmiştir (12). Ayrıca, bazı araştırmacılar zeminlerin sıkışmasında kompaksiyon enerjisinin etkisini araştırmışlardır (13, 14).

Yapay sinir ağları (YSA) geoteknik mühendisliği ve diğer disiplinlerde tahminler geliştirmede yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda giderek artan bir şekilde araştırmacılar geoteknikde YSA kullanarak farklı çalışmalar yapmışlardır (15-23).

Bu çalışmada YSA kullanılarak laboratuvar deneyi yapmadan kompaksiyon parametrelerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için Türkiye genelinde farklı

zeminlerden (CH, GC, GM, MH, MI, ML SC) toplanan 237 adet kompaksiyon ve zemin sınıflandırma deneyleri kullanılmıştır. Matlab bilgisayar programında YSA modelleri oluşturulurken 237 adet verinin 200'ü öğrenme aşamasında 37 adet veri ise test aşamasında kullanılmış ve modellerden elde edilen sonuçlar yardımıyla korelasyonlar yapılarak korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) elde edilmiştir.

## 2. ÇALIŞMADA KULLANILAN VERİLER

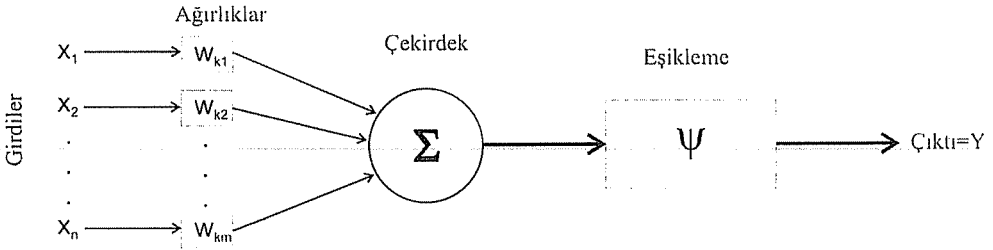
Yapay sinir ağları (YSA) denemelerinde, Türkiye'nin farklı bölgelerinde yapılmış zemin deneylerinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan verilere ait istatistiksel değerler Tablo 1'de görülmektedir. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine (USCS) göre zeminler CH, CI, CL, GC, GM, MH, MI ve ML olarak sınıflandırılmaktadır. 237 adet veri seti YSA'na tabi tutularak regresyon modelleri geliştirilmiştir.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan verilere ait istatistiksel değerler

	Çakıl (%)	Kum (%)	İnce Tane (%)	$W_L$ (%)	$W_P$ (%)	$I_P$ (%)	$\gamma_{kmax}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$W_{opt}$ (%)
<b>Maksimum</b>	82,00	88,00	99,10	89,00	43,00	53,00	2,21	40,20
<b>Minimum</b>	0,00	0,90	0,00	17,00	6,00	2,00	1,24	4,60
<b>Ortalama</b>	22,50	26,30	51,28	38,11	20,23	17,88	1,75	16,21
<b>Ortanca</b>	9,00	23,00	51,50	36,70	19,00	17,00	1,72	16,00
<b>Çarpıklık</b>	0,61	0,95	0,06	0,99	0,91	0,78	0,18	0,68
<b>Basıklık</b>	-1,11	0,83	-1,39	1,92	1,39	1,23	-0,55	0,50
<b>Varyasyon</b>	635,91	302,01	862,08	119,83	32,88	74,43	0,04	32,88
<b>Standart sapma</b>	25,21	17,42	29,47	11,12	5,74	8,76	0,21	5,82

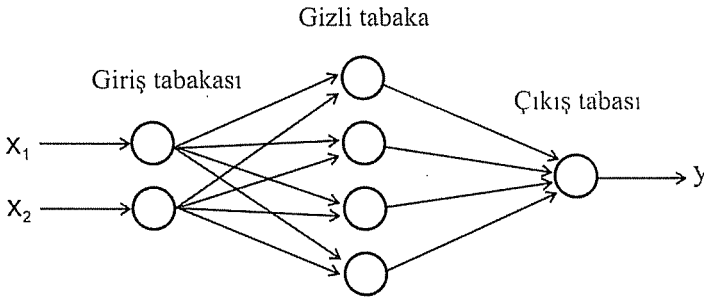
## 3. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri, herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirebilmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir (24). Sinir ağları insan beynindeki nöronlara benzer olarak çalışan karmaşık sistemlerdir. Bu ağlar insan beyninin biyolojik fonksiyonlarının basit bir modellenmesinden ibarettir. YSA kendisine sunulan veriler arasında bağlantılar kurup, problemi öğrenmekte ve deneysel sonuçları depolayarak bunları kullanıma hazırlamaktadır. YSA, katmanlar şeklinde düzenlenerek, yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile farklı şekillerde bağlanmasından oluşur. YSA'nın basit hücre yapısı Şekil 1 de gösterilmektedir. Burada girdiler  $x_1, x_2, \dots, x_n$  ve her bir girdinin ağırlık katsayıları  $W_{k1}, W_{k2}, \dots, W_{kn}$  ile gösterilmiştir. Böylece  $x_n$  girdi sinyallerini,  $w_{kn}$  ise o sinyallerin ağırlık katsayılarının değerlerini belirtmektedir. Çekirdek ise tüm girdi sinyallerinin ağırlıklı toplamının elde etmektedir. Ağ üzerindeki eşikleme fonksiyonundan çıkan sonuç sinyali Y ile belirtilmiştir.



Şekil 1. Yapay sinir ağı (YSA) hücre yapısı.

Yapay sinir hücresinin görevi kısaca;  $x_n$  girdi örüntüsüne karşılık  $Y$  çıktısı sinyalini oluşturmak ve bu sinyali diğer hücrelere iletmektir. Her  $x_n$  ile  $Y$  arasındaki korelasyonu temsil eden  $W_{kn}$  ağırlıkları, her yeni girdi örüntüsü ve çıktı sinyaline göre tekrar ayarlanır. Bu ayarlama süreci öğrenme olarak adlandırılır. Öğrenmenin tamamlandığının belirtilebilmesi için; girdi örüntüleri,  $W_{kn}$  ağırlıklarındaki değişim stabilize olana kadar sistemi beslemektedir. Stabilizasyon (durağanlık) sağlandığı zaman hücre öğrenmesini tamamlamış olarak kabul edilmektedir.



Şekil 2. YSA'da geri yayılma algoritmasının basit mimarisi.

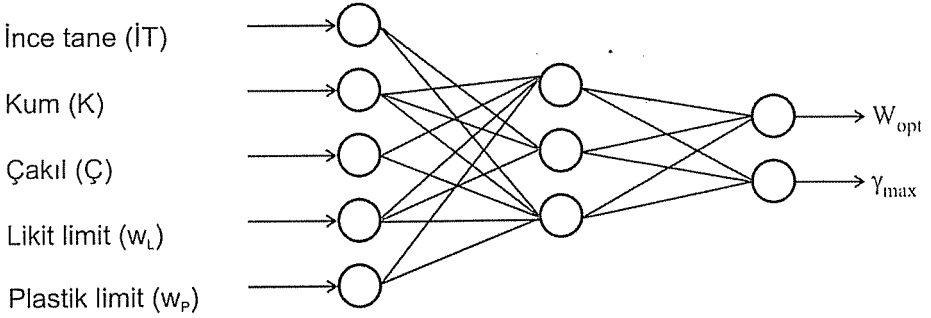
Geriye yayılma algoritması ise, günümüzde pek çok disiplinde ve özellikle mühendislik uygulamalarında çok kullanılan bir öğrenme algoritmasıdır. Bu yöntemin yaygın kullanımı, öğrenme kapasitesinin yüksek ve algoritmasının basit olmasından kaynaklanmaktadır. Bir geriye yayımlı ağ algoritması modelinde giriş, gizli ve çıkış olmak üzere üç tabaka bulunmaktadır (Şekil 2). YSA'da problemin özelliklerine göre gizli katman sayısını artırabilmek mümkündür.

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, Türkiye'nin farklı bölgelerinden toplanan deney verileri kullanılarak kompaksiyon parametreleri ( $\gamma_{kmax}$ ,  $W_{opt}$ ) YSA yöntemi ile belirlenmiştir. Zemin sınıflandırma deneyleri kullanılarak üç farklı model oluşturulmuştur (Tablo 2). Model I'de çakıl (Ç), kum (K), ince tane (İT), likit limit ( $w_L$ ), plastik limit ( $w_P$ ), plastisite indeksi ( $I_P$ ), girdi olarak kullanılmış ve  $\gamma_{kmax}$ ,  $W_{opt}$  değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır (Şekil 3).

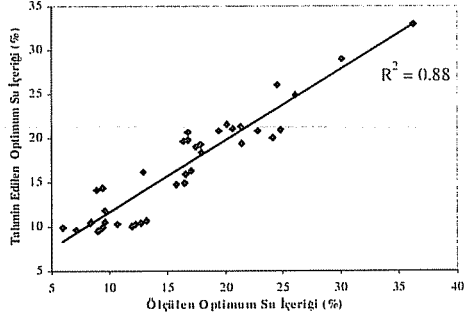
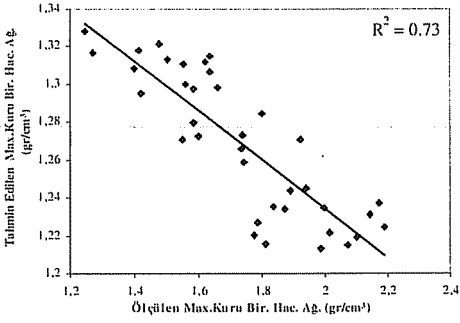
**Tablo 2.** Kompaksiyon parametrelerini belirlemede geliştirilen modeller

Modeller	Girdiler	Yapı	Transfer fonksiyonu
Model I	$\Ç, K, İT, W_L, W_P, I_P$	6-10-2	tan sig-tan sig
Model II	$\Ç, K, İT$	3-3-2	log sig-tan sig
Model III	$W_L, W_P, I_P$	3-3-2	log sig-tan sig

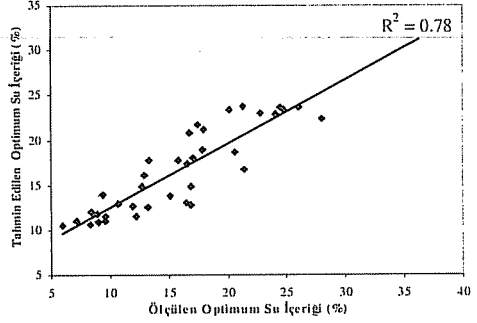
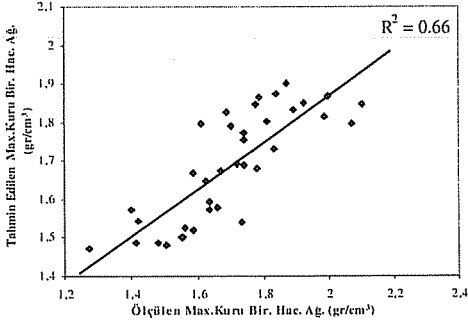


**Şekil 3.** Model I de kullanılan YSA'nın yapısı.

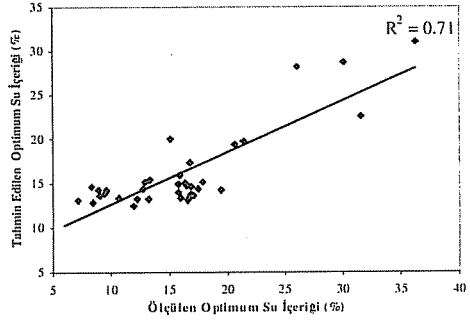
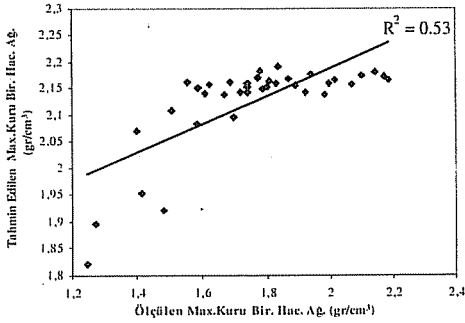
Model I de zeminlerin altı farklı temel fiziksel özellikleri ( $\Ç, K, İT, W_L, W_P, I_P$ ) girdi olarak kullanılmıştır. Şekil 4'de görüldüğü gibi, herhangi bir korelasyonun performansının bir ölçüsü olarak kabul edilen korelasyon katsayıları ( $R^2$ )  $\gamma_{kmax}$  ve  $W_{opt}$  için sırasıyla 0.73 ve 0.88 olarak bulunmuştur. Smith'e göre, önerilen bir model 0.70'den büyük bir  $R^2$  değeri veriyorsa, ölçülen veriler ile tahmin edilen veriler arasında kuvvetli bir korelasyonun olduğu kabul edilmektedir (25). Şekil 5'de ise  $\Ç, K, İT$  değerleri girdi olarak kullanılmıştır. Şekilden görüldüğü gibi bu analizde de  $R^2$  değerleri  $\gamma_{kmax}$  için 0.66 ve  $W_{opt}$  için 0.78 olarak bulunmuştur. Bu modelde  $W_{opt}$  için tatmin edici bir sonucun elde edilmesine karşılık  $\gamma_{kmax}$  için bu değer biraz düşük çıkmıştır. Son olarak Şekil 6'daki karşılaştırmada  $W_L, W_P, I_P$  değerleri kullanılarak bir model denenmiş ve  $R^2$  değerleri  $\gamma_{kmax}$  için 0.53 ve  $w_{opt}$  için 0.71 olarak bulunmuştur. Yapılan tüm karşılaştırmalara bakıldığında, YSA analizlerinden elde edilen modellerden Model I ve Model II için iyi korelasyonlar verdiği, Model III'te ise sadece  $W_{opt}$ 'un tahmininde iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.



Şekil 4. Model I' den elde edilen sonuçların deneysel değerler ile karşılaştırılması.



Şekil 5. Model II' den elde edilen sonuçların deneysel değerler ile karşılaştırılması.



Şekil 6. Model III' den elde edilen sonuçların deneysel değerler ile karşılaştırılması.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında zeminlerin fiziksel özellikleri ile kompaksiyon parametreleri ( $\gamma_{kmax}$ ,  $W_{opt}$ ) arasındaki ilişki, 237 adet farklı zemin üzerinde gerçekleştirilen kompaksiyon deneyinden elde edilen veriler kullanılarak incelenmiştir. Kompaksiyon parametrelerinin ( $\gamma_{kmax}$ ,  $W_{opt}$ ) deney yapmadan tahminini sağlamak amacı ile yapay sinir ağı (YSA) kullanılarak üç farklı model elde edilmiştir. Oluşturulan modellerde yüksek  $R^2$  değerleri elde edilmiştir. Elde edilen korelasyon katsayılarına göre, Model I'in kompaksiyon parametrelerinin ( $\gamma_{kmax}$ ,  $W_{opt}$ ) tahmininde kullanılabilineceği buna karşılık Model II ve III'de ise  $W_{opt}$ 'un tahmininde daha iyi sonuçlar vereceği görülmüştür. Modellerin hepsinde  $W_{opt}$  için elde edilen korelasyon katsayısı değerleri (0.88, 0.78 ve 0.71)  $\gamma_{kmax}$  için elde edilen korelasyon katsayısı değerlerinden (0.73, 0.66 ve 0.53) yüksek çıkmasından dolayı  $W_{opt}$  değerleri için tahmin modellerinin daha iyi sonuçlar vereceği sonucuna varılmıştır. Yine de bu modellerin kullanılması ile laboratuvar da kompaksiyon deneylerinin kesin olarak elimine edildiği söylenemez. Ancak hızlı ve pratik olarak herhangi bir zeminin kompaksiyon parametreleri hakkında fikir sahibi olunması istendiğinde, bu modellerin kullanılması faydalı olacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

1. Holtz, R.D., Kovacs, W.D., "An Introduction to Geotechnical Engineering", Prentice-Hall, Eaglewood Cliffs, 1981.
2. Jumikis, A.R., "Geology and soils of the Newark (NJ) metropolitan area", J Soil Mech Found ASCE 93(SM2): 71-95, 1946.
3. Jumikis, A.R., "Geology and soils of the Newark (NJ) metropolitan area", ASCE J Soil Mech Found Div 94(2), 1958.
4. McRae, J.L., "Index of compaction characteristics", In: Symposium on application of soil testing in highway design and construction, ASTM Special Technical Publication No. 239, pp 119-127, 1958.
5. Joslin, J.G., "Ohio's typical moisture-density curve", ASTM STP 239:111-118, 1959.
6. Johnson, A.W. and Sallberg, J.R., "Factors Influencing Compaction Results", Highway Research Board Bulletin, No. 319, 125, 1962.
7. Foreman, E.D. and Daniel, D.E., "Permeation of Compacted Clay With Organic Chemicals", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 112, No. 7, 669-681, 1986.
8. Sridharan, A., Rao, S.M. and Joshi, S., "Classification of Expansive Soils by Sediment Volume Method", Geotechnical Testing Journal, 13, No. 4, 375-380, 1990.
9. Benson, C.H. and Trast, J.M., "Hydraulic Conductivity of Thirteen Compacted Clays", Clays and Clay Minerals, 43, No. 6, 669-68, 1995.
10. Sridharan, A., Nagaraj, H.B., "Plastic Limit and Compaction Characteristics of Finegrained Soils", Ground Improvement, 9, No. 1, 17-22, 2005.
11. Al-Khafaji, A.N., "A Simple Approach to the Estimation of Soil Compaction Parameters", Quarterly Journal of Engineering Geology, 20, 15-30, 1987.
12. Hausmann, M.R., "Engineering Principles of Ground Modification", McGraw-Hill Book Co., Singapore, 1990.

13. Nagaraj, H.B., "Prediction of engineering properties of finegrained soils from their index properties", PhD Thesis, Indian Institute of Science, Banalore, 2000.
14. Sridharan, A., Gurtug, Y., "Compressibility characteristics of soils", *Geotechn Geol Eng* 23:615-634, 2005.
15. Najjar, Y.M., Basheer, I.A., Naouss, W.A., "On the identification of compaction characteristics by neuronets", *Comput Geotech* 18(3):167-187, 1996.
16. Lee, I.M., Lee, J.H., "Prediction of pile bearing capacity using artificial neural Networks" *Comput Geotech* 18(3):189-200, 1996.
17. Yuanyou, X., Yanming, X., Ruigeng, Z., "An engineering geology evaluation method based on an artificial neural network and its application", *Eng Geol* 47:149-156, 1997.
18. Yang, Y., Zhang, Q., "The applications of neural networks to rock engineering systems (RES)", *Int J Rock Mech Min Sci* 35(6):727-745, 1998.
19. Hurtado, J.E., Londono, J.M., Meza, M.A., "On the applicability of neural networks for soil dynamic amplification analysis", *Soil Dyn Earthquake Eng* 21:579-91, 2001.
20. Rafiq, M.Y., Bugmann, G., Easterbrook, D.J., "Neural network design for engineering applications", *Comput Struct* 79:1541-1552, 2001.
21. Lee, S.J., Lee, S.R., Kim, Y.S., "An approach to estimate unsaturated shear strength using artificial neural network and hyperbolic, formulation", *Comput Geotech* 30:489-503, 2003.
22. Basma, A.A., Kalas, N., "Modeling soil collapse by artificial neural Networks", *Geotech Geol Eng.* 22:427-438, 2004.
23. Günaydin, O., "Estimation of soil compaction parameters by using statistical analyses and artificial neural Networks", *Environ. Geol.*, DOI 10.1007/s00254-008-1300-6.
24. Öztemel, E., "Yapay Sinir Ağları", sf 29, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 2003.
25. Smith, G.N., "Probability and statistics in civil engineering", London, Collins, 1986.



## CEYHAN KİREÇTAŞLARINDAN ÜRETİLEN VE YAPI MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN KİREÇLERİN RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMLERİ

Ahmet Ş. AYKAMIŞ

M.T.A., Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü, Adana/Türkiye

Ahmet Mahmut KILIÇ

Ç.Ü., Maden Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** Bu çalışmada, Türkiye'nin Doğu Akdeniz Bölgesinde bulunan ve civar yerleşim birimlerine, yapı malzemesi açısından önemli katkı sağlayan, Ceyhan yöresi kireçtaşlarından üretilen, sönmemiş ve sönmüş kireçlerde, gamma spektrometrik ölçümler yapılmıştır.  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  doğal radyonüklitlerinin konsantrasyon ölçümleri hem Ceyhan yöresi sönmemiş kireçlerinde, hem de sönmüş kireçlerinde gerçekleştirilmiştir. Sönmemiş kireçlerde, ölçülen ortalama  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonları sırasıyla, 23.26, 3.78 ve 17.05 Bq kg<sup>-1</sup>'dir. Sönmüş kireçlerde ise ölçülen ortalama  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonları sırasıyla, 33.26, 3.18 ve 23.44 Bq kg<sup>-1</sup>'dir. Ortalama  $R_{\text{eq}}$  ölçümleri ise, Ceyhan yöresi sönmemiş ve sönmüş kireçleri için sırasıyla, 29.99 ve 39.62 Bq kg<sup>-1</sup>'dir. Sonuç olarak, Ceyhan yöresi sönmüş kireçlerinde radyoaktif konsantrasyon değerleri, sönmemiş kireçlerden daha yüksek olmakla beraber, her iki kireç gurubundan elde edilen verilerin, riskli seviyelerin altında olduğu tespit edilmiştir.

### NATURAL RADIOACTIVITY MEASUREMENTS OF LIMES USED AS BUILDING MATERIALS (CEYHAN -ADANA) IN EAST MEDITERRANEAN REGION

**ABSTRACT :** In this study, the gamma-ray spectrometry measurements of quicklimes and slaked limes used as building materials (Ceyhan Region-Adana) in East Mediterranean Region (Turkey) were performed. The detailed  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  natural radioactivity values of the study area were determined for quicklimes and slaked limes in Ceyhan region. In addition, the mean radioactivity concentrations of the natural nuclides in quicklimes,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  were calculated to be 23.26, 3.78 and 17.05 Bq kg<sup>-1</sup>. Also the mean radioactivity concentrations of the natural nuclides in slaked limes,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  were calculated to be 33.26, 3.18 and 23.44 Bq kg<sup>-1</sup>, respectively. However, the mean activity concentrations,  $R_{\text{eq}}$  for quicklimes and slaked limes in Ceyhan region were 29.99 ve 39.62 Bq kg<sup>-1</sup>. As a result, the radioactivity concentrations of slaked limes have higher values than quicklimes in Ceyhan region. But in general, these results indicate that the radioactivity concentrations in two building materials are found to be under the risk levels.

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlu var oluşundan bu yana sürekli olarak radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiiatta yerini alan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır.

Geçtiğimiz yüzyılda bu doğal düzey, nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımı ile bir hayli artış göstermiştir. Maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirleyen birçok neden vardır. Yaşanılan yer, bu yerin toprak yapısı, barınılan binalarda kullanılan malzemeler, mevsimler, kutuplara olan uzaklık ve hava şartları bu nedenlerden bazılarıdır. Yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgâr yönü gibi etkenler de doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirler [1].

Özellikle önemi yeni yeni anlaşılan ve sadece nükleer bilim alanında zararları olduğu yaygın kanı olarak bilinen radyasyonun, aslında doğal ve kapalı çalışma ortamlarında, insan ve işçi sağlığını, sınırsız, ne derece tehdit ettiği, yapılan çalışmalarla henüz anlaşılabilir.

Radyasyon insan ve çevreye açısından görünmez bir tehdittir. Onun zararlarını ancak daha sonradan ölümcül tecrübeler yaşayarak öğrenebiliriz. Toplumlarda ortaya çıkan çevre bilinciyle beraber, bu tip olumsuz etkilerin bertaraf edilmesi ile ilgili hassas çalışmalar son 10 yılda daha da artmıştır.

Yer kabuğu orijinli ham yapı malzemelerinde veya işlemde geçirilmiş yapı ürünlerinde,  $^{238}\text{U}$  (yer kabuğundaki derişimi; yaklaşık 2-4 ppm) ile başlayan uranyum-radyum ve  $^{232}\text{Th}$  (yer kabuğundaki derişimi; yaklaşık olarak 10-12 ppm) ile başlayan toryum serilerine ait radyonüklitler ve  $^{40}\text{K}$  radyoizotopu (doğal potasyumdaki bolluk oranı % 0,0118) mevcuttur.

Çoğu alfa yayınlayıcısı olarak da bilinen bu radyonüklitlerin miktarları veya derişimleri, alındıkları bölgeye ve jeolojik şartlara göre değişebilmektedir.

Radyonüklitlerden yayımlanan gamma radyasyonu, tüm vücut dozuna, bazı durumlarda da beta radyasyonu, deri dozuna katkıda bulunur. Ayrıca uranyum ve radyumun zehirli olmasının yanında özellikle  $^{226}\text{Ra}$  (radyum)'nın ürün çekirdeği  $^{222}\text{Rn}$  (radon) asal gazı, serbest kalması sonucunda solunum yoluyla vücuda girerek zarar verebilir.

Dolayısıyla bireylerin maruz kaldıkları radyasyon dozları, radyoaktivitesi normal düzeyin üzerinde olan yapı malzemelerinin kullanıldığı meskenlerde ve iş yerlerinde yaşamaları halinde artabilir.

Bu yüzden yapıtaşlarında, bu doğal radyoaktif serilere ait radyonüklitlerin ve  $^{40}\text{K}$  (potasyum) radyoizotopunun özgül aktivite derişimlerinin belirlenmesi,

- Bu tür malzemelerin kullanımı sonucunda bireyler için mümkün radyolojik riskin ve biyolojik zararın değerlendirilmesi,
- Çalışma yerlerinde ve meskenlerde yaşayan bireylerin yıllık alması gereken doza, yapı malzemelerinden gelen katkının hesaplanması,
- Yapı malzemeleri endüstrisinde kullanılması zorunlu olan malzemeler ile ilgili standartların oluşturulması, geliştirmesi ve bu malzemelerin kullanımı ve yönetimi için yol gösterici bilgilerin hazırlanması açısından çok önemlidir [1].

Yukarıda bahsedilen bilgilerden yola çıkarak, bu çalışmada, Ceyhan yöresi kireçtaşlarından elde edilen ve yapı malzemesi olarak kullanılan sönmemiş ve sönmüş

kireçlerin radyoaktivite ölçümlerinin yapılmasına yönelik elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

Kireçtaşı kimyasal ve organik etkilerle akarsularda çöken maddelerin oluşturduğu bir kayadır. Bütün jeologlar kireçtaşının safsızlıklar hariç, kalsit, aragonit, dolomit ve manyezit gibi dört ana mineralden oluştuğunu belirtmektedir [2,3].

Hidrotermal etki ile oluşan kireçtaşı genellikle kristal yapıdadır. Değişik granit türlerindeki kalsiyum karbonat hidrotermal etkilerle oluşmaktadır. Genel olarak pek çok maden yatağında sülfür içeren maden yataklarında kalsiyum karbonat kristallenmektedir. Maden yatağını oluşturan tüm mineraller kristallendikten sonra kalsiyum karbonat kristallenmektedir. Kireç tüfü içeren maden yatakları, bileşiminde ayrıca aragonit ve kalsiyum karbonat da bulundurmaktadır [4,5].

Karbonik ve diğer mineral asitleri içeren çözeltilerin ve aşınmanın etkisi ile yapısında kalsiyum bulunduran kayalar parçalanmaktadır. Bu şekilde serbest kalan kalsiyum akarsularla denize taşınmaktadır. Çözünmüş halde bulunan kalsiyum karbonatın bir kısmı deniz suyundaki düşük çözünürlük nedeni ile tortullaşmaktadır [6].

Kireçtaşı içeren mağaralardaki dikitler, kireç içeren tuzlu çözeltilerden yapısında karbondioksit bulunan kireçlerin çökmesi ile oluşmaktadır. Tuzlu çözelti oyuklara sızmakta ve su, ısı etkisi ile buharlaşmaktadır. Çözelti bu şekilde fazlası ile doymun hale geldiğinden, çok iyi dağılmış olan tortular ayrılmakta, yavaş yavaş sertleşmekte ve süregelen dehidrasyon sonucunda da kristalleşmektedir.

Özellikle geniş deniz dibi bölgelerinde, kalsiyum karbonat içeren çok büyük bölgeler oluşmaktadır. Bu kütleler, ilk önce kireç çamuru halinde olmaktadır. Kurumuş deniz bitkileri ve omurgasız hayvanlar, bu kireç çamuru içindeki kirecin iskeletini oluşturmaktadır. Bütün bu maddeler daha sonra kireçtaşı haline dönüşmektedir [5].

Dünyada kireç ürünleri kadar çok çeşitli kullanım amacı olan bir başka ürün mevcut değildir. İnsanın kireçtaşını ne zaman fırınlarda yakıp sönmemiş kirece dönüştürdüğü ve daha sonra suyla söndürüp harç yapımında kullandığı tam olarak bilinmemekle beraber, Türkiye'nin doğusunda bulunan kireç harçlı kalıntıların tarih öncesi dönemlere ait olduğu yapılan arkeolojik çalışmalar ile belirlenmiştir [7].

Kireç ürünleri, sanayide belli boyutlarda veya öğütülmüş olarak doğrudan kireçtaşı şeklinde kullanıldığı gibi, örneğin beton ve çimento yapımı, baca gazı desülfürizasyonu gibi alanlarda sönmüş ve/veya sönmemiş kireç formunda da tüketilmektedir [8].

Dünyada toplam yıllık üretimi yaklaşık 300 milyon ton olduğu tahmin edilen kireç, en çok demir-çelik sektöründe kullanılmaktadır (Toplam üretimin yaklaşık %40'ı). Bunu kimya sanayi ve diğer sanayi dalları (%17) ile çevresel uygulamalar (%15) izlemektedir [9].

## **2. MATERYAL VE METOD**

Bu çalışma kapsamında, öncelikli olarak, Ceyhan yöresi kireçtaşlarından üretilen ve yapı malzemesi olarak kullanılan sönmemiş ve sönmüş kireçlerin radyoaktivite ölçümlerinin yapılmasına yönelik, işletilen ocaklardan örnekler alınmıştır. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, SANAEM (Sarayköy Nükleer Araştırma Merkezi) ile yapılan görüşmeler neticesinde, örnekler, ocağı genel olarak temsil edecek ve kot farkları gözetilerek sistematik olarak toparlanmıştır. Toplanan örnekler, plastik saklama poşetlerinde ve karton kutularda, Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği, Kırmı

ve Öğütme Laboratuvar'larına getirilmiştir. Burada, örnekler, ilk olarak çeneli ve konili kırıcılar vasıtasıyla, öğütülmek için uygun boyutlara getirilmiş ve daha sonra ise merdaneli kırıcı ve pulverizatör vasıtasıyla  $50\mu$  ve altındaki tane boyutlarına elenmiştir. Sonraki aşamada ise, uygun boyutlara getirilerek etiketlenmiştir.

Örnekler, burada içlerinde bulunan taş, ot ve odun gibi yabancı maddelerden ayıklandıktan sonra karton üzerine serilerek 10 gün süreyle oda sıcaklığında kurutulmuştur. Örnekleri kurutmanın amacı, örneklerde bulunan nemi buharlaştırma ile azaltmak ve çok küçük parçacıklar haline gelecek şekilde öğütebilmektir. Kurutma işlemi esnasında buharlaşma ile kaybolacak radyoaktivite miktarı ise ihmal edilebilecek düzeyde kalmaktadır.

## 2.1. Örneklerin Radyoaktivite Seviyesinin Tayin Edilmesi

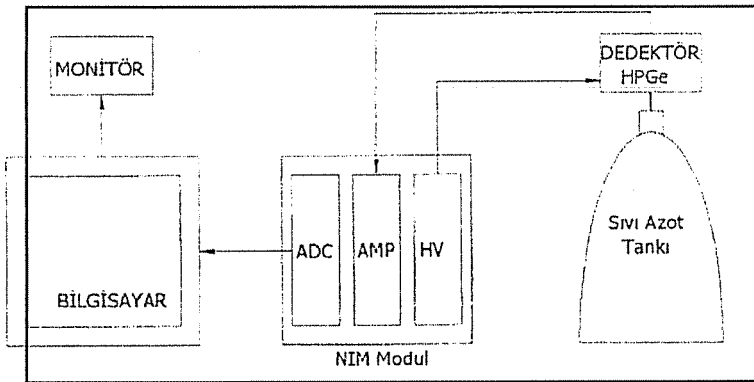
### 2.1.1. Analiz Düzeneginin Tanıtılması

Bu bölümde, gamma spektrometrik analiz değerlendirmelerinde ve dış gamma radyasyon ölçümlerinde kullanılan cihazlar ve detektörler hakkında aşağıda detaylı bilgiler verilmektedir.

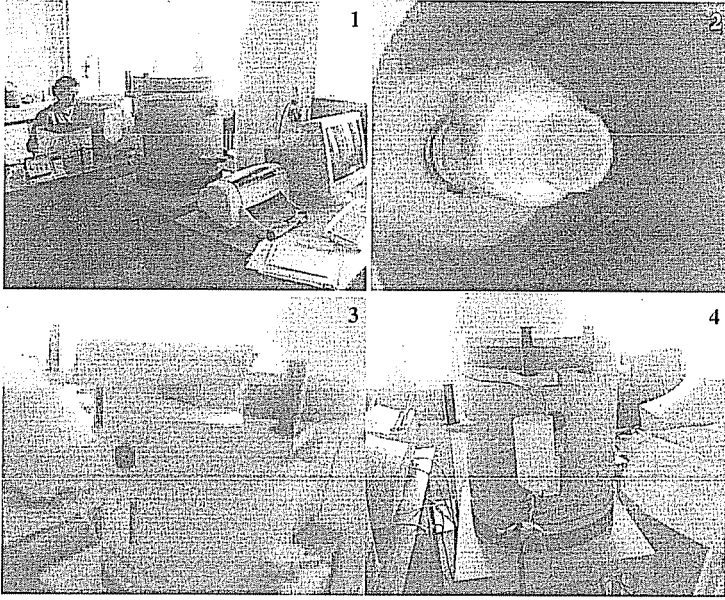
### 2.1.2. Gamma Spektrometrik Sistem

Gamma spektrometresi çevre örneklerinin analizinde yaygın kullanımı olan bir tekniktir. Deneysel çalışmamızda, Ceyhan yöresi kireçtaşlarından üretilen kireç örneklerinin gamma spektrometrik analizleri, yüksek saflıkta germanyum detektörü kullanılarak yapılmıştır.

Çok kanallı analizör 4096 kanallı olarak kullanılan Canberra Model 767 Gamma spektrometre cihazı, 0.33 MeV de %15-16' lık bir relatif verime sahiptir. Gamma spektrometresi; yüksek saflıkta Ge detektörü (HPGe), analog sayımları elektronik sinyallere dönüştüren ADC (Analog to Digital Converter) sistemi ve çok kanallı analizörden oluşmaktadır [10]. Deney düzenegi Şekil 1' de ve Canberra Model 767 gamma spektrometre cihazı ise Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 1. Gamma spektroskopi sisteminin çalışma düzenegi



Şekil 2. Canberra Model 767 gamma spektrometre cihazı [1-2-3-4]

Detektörle iyi bir enerji rezolüsyonu elde edebilmek için detektör sıvı azot kullanılarak soğutulmaktadır, Kozmik ışınlardan ve ortamdan kaynaklanan backgroundun detektöre ulaşmasını engellemek için detektör, 10 cm kalınlığında kurşun zırh içinde bulunmaktadır. Uzun süreli ölçümlerde sapma olmaması için laboratuvar ortamı periyodik ölçümlerle 19-22 °C sıcaklık ve % 42-48 nem aralıklarında tutulmaktadır.

Örneklerde bulunan,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  ye ait radyoaktivite konsantrasyonları, bu radyonüklitlerin bozunum ürünleri olan doğal radyonüklitlerin gamma piklerinden hareketle tayin edilebilmektedir.

$^{238}\text{U}$ 'e ilişkin radyoaktivite konsantrasyonu belirlenirken bozunum serisi içinde yer alan  $^{214}\text{Pb}$ 'nin 351 keV ve  $^{214}\text{Bi}$ 'nin 609 keV enerjili piklerinden yararlanılmıştır. Her iki bozunum ürünü radyonüklide ait aktivite konsantrasyon değerlerinin ortalaması alınarak  $^{238}\text{U}$ 'in aktivite konsantrasyonu bulunmuştur.

$^{232}\text{Th}$ 'in radyoaktivite konsantrasyonu bulunurken ise bu serideki  $^{208}\text{Tl}$  (583 keV) ve  $^{228}\text{Ac}$ 'in (911 keV) aktivite konsantrasyonlarının ortalaması alınmıştır.

Ayrıca, örneklerde,  $^{226}\text{Ra}$ 'nın 186 keV ve  $^{40}\text{K}$ 'ın 1460 keV enerjilerdeki piklerinden yararlanılarak bu radyonüklitlere ilişkin radyoaktivite konsantrasyon değerleri de belirlenmiştir [10].

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bütün yapı malzemeleri değişik miktarlarda doğal radyonüklitler içermektedir. Kayalardan ve topraktan elde edilen malzemeler genellikle Uranyum(<sup>238</sup>U) ve Toryum (<sup>232</sup>Th) serilerinin doğal radyonüklitleri ile Potasyum (<sup>40</sup>K) radyoaktif izotopunu içermektedir. Uranyum serilerinde <sup>226</sup>Ra ile başlayan bozunma serisi önem arz ettiğinden, referanslar genellikle Uranyum yerine Radyuma yapılmaktadır.

Dünya genelinde, toprak katmanlarındaki Radium, Toryum ve Potasyum konsantrasyonları sırasıyla 40 Bqkg<sup>-1</sup>, 40 Bqkg<sup>-1</sup> ve 400 Bqkg<sup>-1</sup>'dir. Eşdeğer aktivite konsantrasyon limit değeri ise 370 Bqkg<sup>-1</sup> olarak kabul edilir [11].

Bu bölümde, Ceyhan yöresi kireçtaşlarından üretilen ve yapı malzemesi olarak kullanılan, sönmemiş kireç (kalsinasyona uğramamış) ve sönmüş kireç türlerinin (yani ocaktan alındıktan sonra fırınlarda işlenmiş-kalsinasyona uğramış) radyoaktivite ölçümlerinin doğal radyasyon aktivite değerleri ve eşdeğer radyum aktiviteleri verilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1'de her iki tür kireç örneklerinden oluşan, 15 numune üzerinde yapılan ölçümlerde, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K konsantrasyonları ölçülmüştür.

15 kireç örneğinde tespit edilen, <sup>226</sup>Ra değerleri, Ceyhan yöresi sönmemiş kireç türünde, 19.56'dan 25,31 Bq kg<sup>-1</sup>'a değişirken, Ceyhan yöresi sönmüş kireç örneklerinde ise bu değerler, 27.95 ila 37.87 Bq kg<sup>-1</sup> arasında gerçekleşmiştir (Şekil 3).

<sup>232</sup>Th için ise sönmemiş kireç örneklerinde ölçülen değerler, 2.53 den 7,62 Bq kg<sup>-1</sup>'a, sönmüş kireçlerde ise 2.75 den 3.65 Bq kg<sup>-1</sup>'a değişen değerlerde olmuştur. Son olarak, <sup>40</sup>K konsantrasyon değerleri, sönmemiş kireç türünde 11.09 ila 26.57 Bq kg<sup>-1</sup>, sönmüş kireç örneklerinde ise 21.43 ila 25.72 Bq kg<sup>-1</sup> olmuştur.

Ayrıca, Ceyhan yöresi sönmemiş kireç örnekleri için ortalama <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K değerleri, sırasıyla, 23.36, 3.78 ve 17.05 Bq kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır.

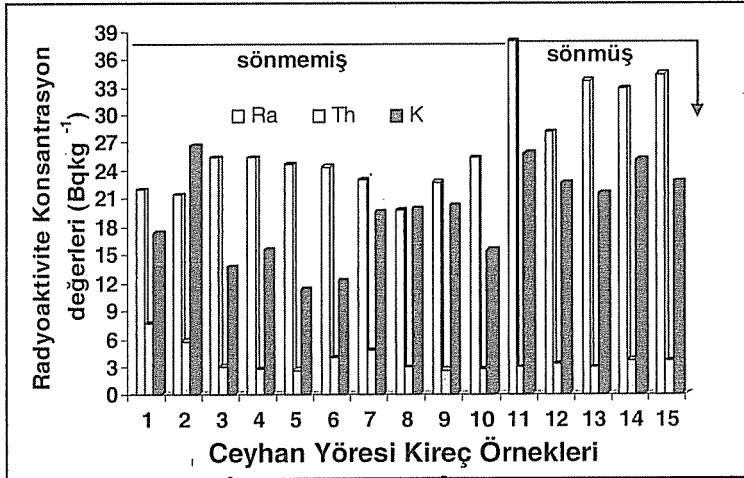
Ceyhan yöresi sönmüş kireç türündeki örneklerde ise ortalama <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K, değerleri sırasıyla, 33.26, 3.18 ve 23.44 Bq kg<sup>-1</sup> olmuştur.

Toplam 15 örnekte hesaplanan, eşdeğer radyum aktivite değerleri (Ra<sub>eq</sub>), sönmemiş kireçlerde, 25.13 den 34.02 Bq kg<sup>-1</sup>, sönmüş kireç örneklerinde ise, 34.16 ila 43.78 Bq kg<sup>-1</sup> arasındadır.

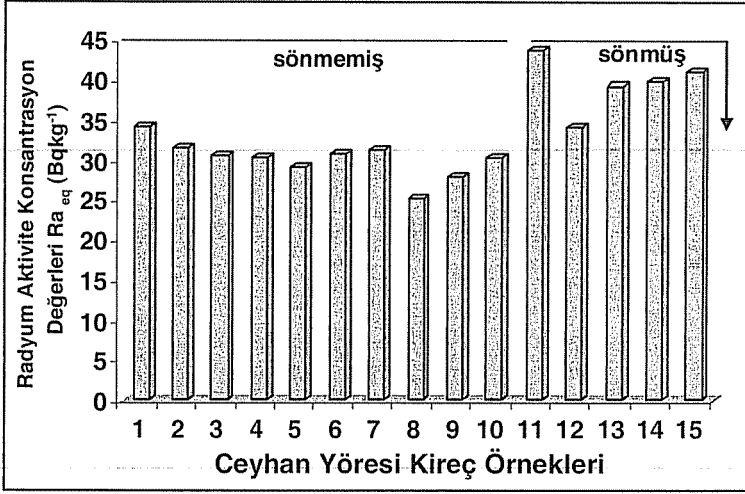
Ortalama eşdeğer radyum değerleri ise, Ceyhan yöresi sönmemiş kireç türünde 29.99, sönmüş kireç türünde ise 39.62 Bq kg<sup>-1</sup>'dir (Şekil 4). Şekil 5'de yapılan regresyon analizi sonucunda, sönmemiş ve sönmüş kireç türlerinde, Ra<sub>eq</sub> değerleri ile <sup>226</sup>Ra değerleri arasında lineer ve kuvvetli bir orantının olduğu görülmüştür (Ra<sub>eq</sub>-<sup>226</sup>Ra için R<sup>2</sup>=0.83).

**Çizelge 1.** Ceyhan yöresi kireçtaşlarından elde edilen kireçlerin radyoaktivite ölçümlerinin doğal radyasyon aktivite değerleri ve eşdeğer radyum aktivitetleri

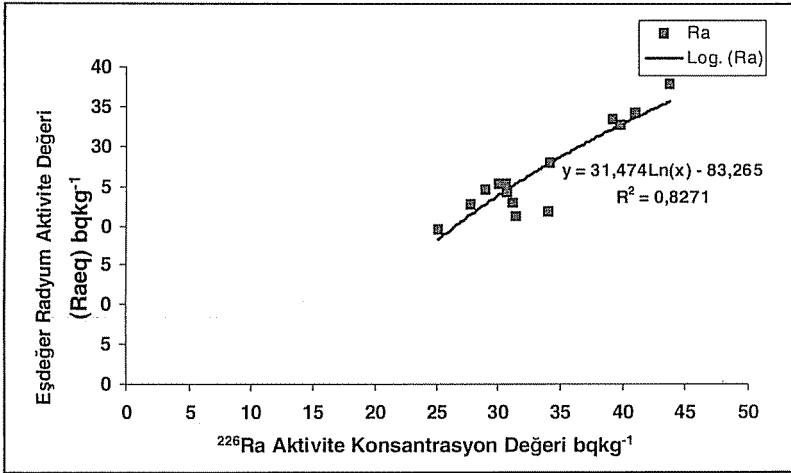
Lokasyon	Örnek No	Aktivite Konsantrasyon ( $Bq/kg^{-1}$ )			$Ra_{eq}(Bq/kg^{-1})$
		$^{226}Ra$	$^{232}Th$	$^{40}K$	
Ceyhan Yöresi Kireç (sönmemiş)	1	21.81	7.62	17.12	34.02
	2	21.28	5.62	26.57	31.36
	3	25.31	2.92	13.64	30.53
	4	25.22	2.63	15.37	30.16
	5	24.47	2.55	11.09	28.97
	6	24.26	3.86	12.11	30.71
	7	22.93	4.70	19.41	31.14
	8	19.56	2.83	19.79	25.13
	9	22.62	2.53	20.15	27.78
	10	25.23	2.60	15.32	30.12
	<b>Ortalama</b>	<b>23.26</b>	<b>3.78</b>	<b>17.05</b>	<b>29.99</b>
Ceyhan Yöresi Kireç (sönmüş)	11	37.87	2.75	25.72	43.78
	12	27.95	3.14	22.46	34.16
	13	33.54	2.85	21.43	39.26
	14	32.69	3.65	24.95	39.83
	15	34.25	3.54	22.67	41.05
	<b>Ortalama</b>	<b>33.26</b>	<b>3.18</b>	<b>23.44</b>	<b>39.62</b>



**Şekil 3.** Ceyhan yöresi, sönmemiş ve sönmüş kireç türlerine ait,  $^{226}Ra$ ,  $^{232}Th$  ve  $^{40}K$  konsantrasyonları



Şekil 4. Ceyhan yöresi, sönmemiş ve sönmüş kireç örneklerine ait,  $Ra_{eq}$  konsantrasyonları



Şekil 5. Sönmemiş ve sönmüş kireçlerde  $Ra_{eq}$  değeri ile  $^{226}\text{Ra}$  değerleri arasındaki regresyon

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Her iki kireç türünden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, Ceyhan yöresi sönmüş kireç türünde ölçülen,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  değerleri, sönmemiş kireç türüne nazaran daha yüksek çıkmıştır. Bu durum eşdeğer radyum aktivite değerlerinde ( $Ra_{eq}$ )



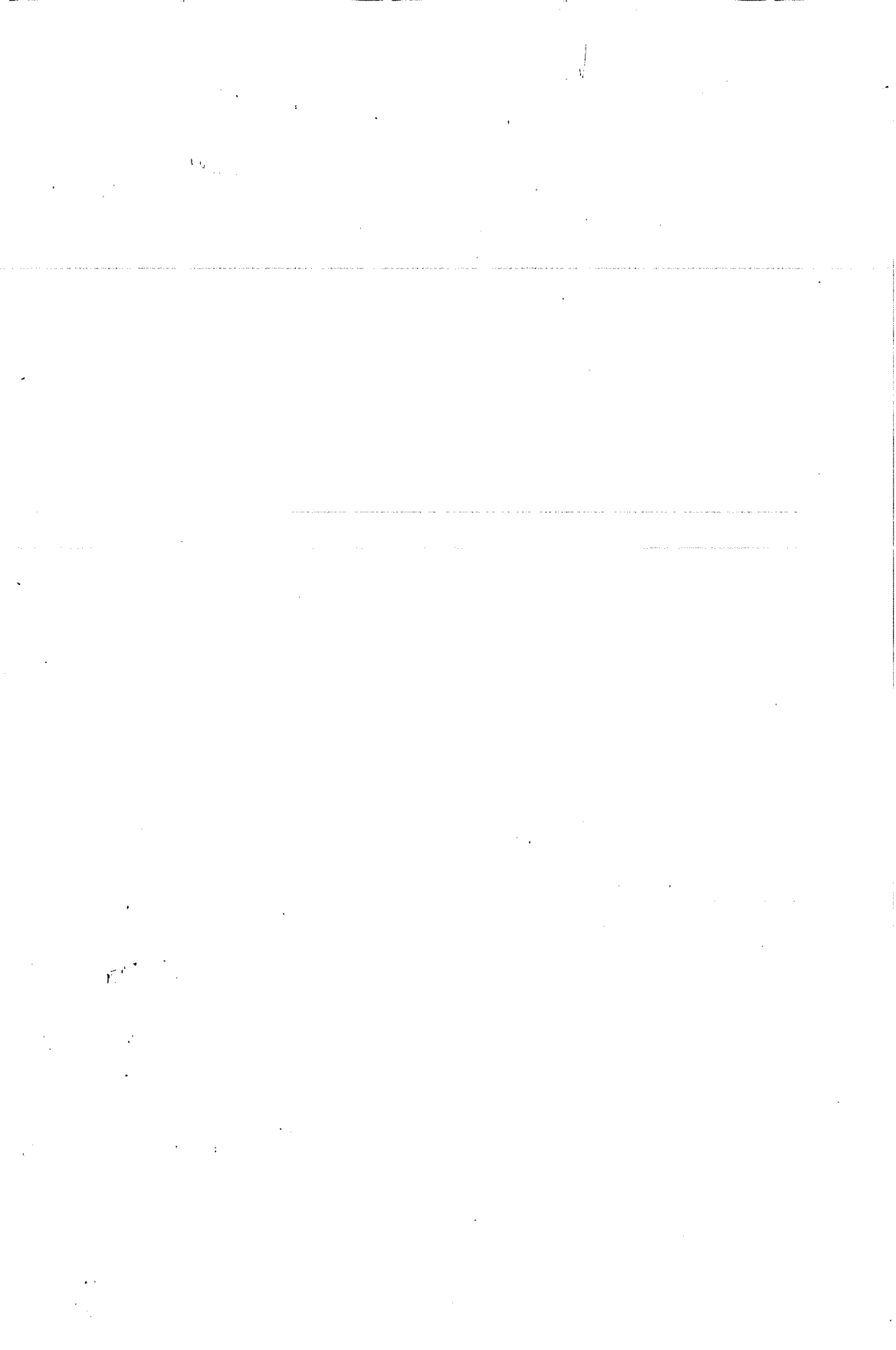
de aynı doğrultuda olmuştur. Ölçülen 15 örnekte de eşdeğer radyum aktiviteleri, uluslararası limit değer olan,  $370 \text{ Bq kg}^{-1}$ 'in altında olmakla beraber, sönmüş kireçlerde daha fazladır. Şekil 3 ve Şekil 4'den de görüldüğü üzere, 11. ve 15. sönmüş kireç örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$  konsantrasyon değerleri ve buna bağlı olarak  $\text{Ra}_{\text{eq}}$  aktivite konsantrasyonları diğer sönmemiş ve sönmüş kireç örneklerinden daha yüksek değerlerde olup, yapı malzemelerinde uluslararası limit değerler olarak kabul edilen  $^{226}\text{Ra}$  için  $40 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve  $\text{Ra}_{\text{eq}}$  için  $370 \text{ Bq kg}^{-1}$ 'den düşük çıkmıştır. Bu nedenle, Ceyhan yöresi kireçtaşlarından elde edilen, sönmemiş ve sönmüş kireç türlerinden alınan örneklerden elde edilen ölçümler sonucunda, bu yapıtaşının, yapı malzemesi olarak kullanılmasında, çevre ve insan sağlığı açısından tehdit edici radyasyon seviyelerine rastlanmamıştır.

## 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın, yürütülmesi esnasında, radyoaktivite ölçümlerinde yardımcı olan Türkiye Atom Enerjisi Kurumu-SANAEM'e teşekkür ederiz.

## 6. KAYNAKLAR

1. TAEK, "Radyasyon ve Biz", Bilgi Dökümanları, 8 Bölüm, 2007.
2. Boynton, R.S., "Chemistry and Technology of Lime and Limestone", 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1980.
3. Önem, Y., "Sanayi Madenleri", Ankara, 1997.
4. Grout, F.F., "Petrography and Petrology", Mc Graww Hill Company, New York, 286-292, 1932.
5. Betechin, A.G., Deutsche Redaction: Leutwein, H. F. Sommer M., Prescher, H., Tölle, H., Lehibuch der Speziellen Mineralogie, Porta Verlag, München, 346-356, 1957.
6. Othmer, K., "Encyclopedia of Chemical Technology", Vol. 14, 3rd Edition, John Wiley and Sons, New York, 343-381, 1978.
7. Kılıç, Ö., "Klasik Eberhart Tipi Kireç Fırınları ile Paralel Akışlı Maerz Fırınlarındaki Kalsinasyon Parametrelerinin Karşılaştırılması ve Çukurova Bölgesi Kireçtaşları Üzerine Uygulamalar", Doktora Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2005.
8. Çiçek, T., "Kireç ve Kullanımı", 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 1999.
9. ILA (International Lime Association), Lime and Limestone Statistics, Arlington, U.S.A., 2002.
10. TAEK, Endüstriyel Radyasyon ve Radyografi Kaynakları, 2008.
11. EUROPEAN COMMISSION REPORT, Avrupa Komisyonu'nun "Radiation Protection 112 (Radiological Protection Principles Concerning the Natural Radioactivity of Building Materials)", 1999.



## KÜÇÜK ÖLÇEKLİ İNSANSIZ HELİKOPTER KONTROL DENEY SETİ TASARIMI VE SİMULASYONU

**Ercan KÖSE, Serhan YAMAÇLI, Y.Gürcan ÜLTANIR**  
*ME.Ü.Tarsus Teknik Eğitim Fakültesi, Tarsus/Türkiye*

**Bekir ÖZÇELİK**  
*Ç.Ü., Fizik Bölümü, Adana/Türkiye*

**Murat AKSOY**  
*Ç.Ü., Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*

**ÖZET :** *Bu çalışmada PIC 16F84A mikrodenetleyici kullanılarak küçük ölçekli insansız helikopter deney seti gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deney seti sayesinde helikopter üzerindeki tork etkisi ve anti tork etkisi gözlemlenebilmektedir. Sistemin matematiksel modellenmesi oluşturularak MATLAB/Şimulink programıyla simülasyon sonuçları elde edilmiş ve deneylerde elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.*  
**Anahtar kelimeler:** *Mikro denetleyici, Helikopter, Simülasyon, Tork*

### DESING OF A SMALL SCALE UNMANNED HELICOPTER CONTROL EXPERIMENT SET AND ITS SIMULATION

**ABSTRACT :** *In this paper, we have prototyped an experiment set which is a design of a small-scale unmanned helicopter system using PIC 16F84A microcontroller. The effect of torque and anti torque power at the helicopter could be observed by means of the experimental test unit. A mathematical model are formed at the system. Simulation results were obtained with MATLAB/Simulink programs and compared with the experiments result.*

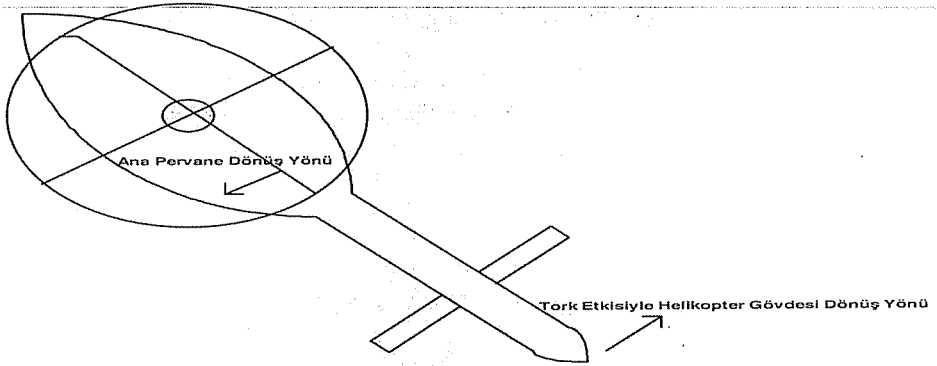
**Keywords:** *Microcontroller, Helicopter, Simulation, Torque*

## 1. GİRİŞ

Küçük ölçekli insansız helikopterler, acil durumların üstesinden gelmekte, insanlara kapalı olan tehlikeli bölgelerde, örneğin depremlerde, sellerde, aktif volkanlarda veya nükleer felaketlerde kullanılmaktadır (1).

Çok yüksek devir sayılarına ulaşabilen helikopter ana pervanesi helikopterin dikey iniş-kalkışını, ileri-geri uçuşunu ve sağa sola hareket etmesini sağlamaktadır (2). Kuyruk kısmında bulunan küçük pervane ise helikopterin kendi gövdesi etrafındaki dönüşünün kontrol edilmesi için kullanılmaktadır.

Bir birine paralel ve zıt yönde bulunan ve cisme iki eşit dönme etkisi yapan kuvvete tork denir. Tork cisimlerin ya dönmesine neden olur ya da dönmeye engel olur. Şekil-1'de görüldüğü gibi tork helikopterlerde ana pervanenin dönmesiyle ortaya çıkan bir kuvvet olup, Newton'un 3.yasası olan etki-tepki prensibine göre pervane palelerini döndüren milin bağlı olduğu dişli kutusu üzerinden, helikopterin gövdesi üzerine bir kuvvet oluşturur. Bu kuvvet helikopterin gövdesini pervanenin dönüş yönünün tersi istikamete doğru döndürmek ister (3).



Şekil 1. Helikopter üzerindeki tork etkisi

Tork etkisi uçaklarda da görülür. Örneğin bir uçağın burnunda saat yönünde dönen bir pervaneye karşılık, uçağın gövdesi de saatin tersi yönde dönmek isteyecektir. Bu tork etkisini yok etmek için pervaneleri saat yönünde dönen uçaklarda, sol kanadın gövdeye takılma açısı sağ kanada göre daha yüksek bir açıda tutulur. Bu da sol kanat da daha fazla kaldırma kuvveti yaratarak, uçağın sola doğru döndürme eğilimini ortadan kaldırır.

Helikopter havalanmak için ana pervanenin havayı kesmesinden faydalanır. Aşağı doğru yüksek hızla itilen hava, helikopterin havalanmasını sağlar. Fakat havanın pervaneye karşı gösterdiği direnç helikopter gövdesinde bir tork etkisi oluşturur ve ana pervane saat yönünde dönerken gövde de saat yönünün tersi yönde döner. Gövdenin saat yönünün tersine dönüşünü engellemek için helikopterin kuyruk kısmına konulan pervane veya fan anti-tork etkisi yaratarak (havayı keserek) gövdenin sabit durmasını sağlar.

Diğer taraftan, DC motorlar kolay kullanılmaları nedeniyle birçok uygulama da tercih edilmektedir. DC motor hız kontrolü, alan direnç kontrolü, armatür gerilim kontrolü veya armatür direnç kontrolü ile yapılabilir (4). Bu çalışmada, DC motorun hız kontrolü armatür gerilim kontrolü değiştirilerek yapılmaktadır.

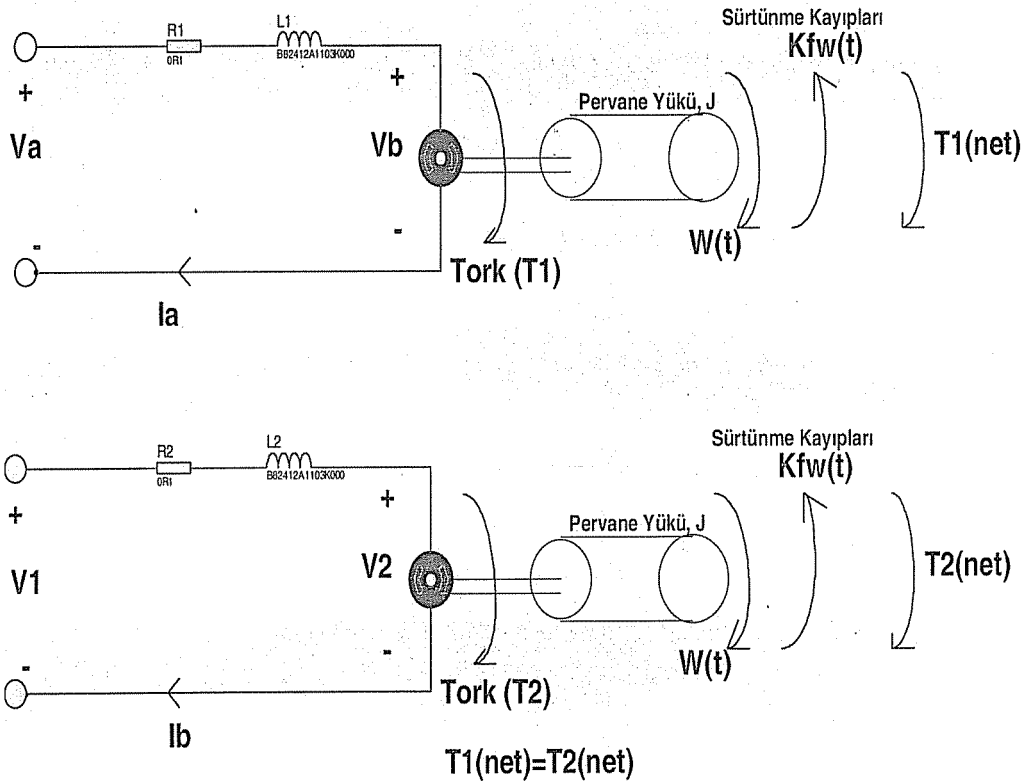
Gerçekleştirilen bu küçük ölçekli insansız helikopter modeliyle tork ve anti-tork kuvvetlerinin gözlemlenebilmesi ve daha anlaşılır olması hedeflenmiştir.

MATLAB/Simulink programı birçok mühendislik alanında sistemlerin davranışlarının incelenmesinde sanal bir ortam sağlaması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (5). Örneğin güç sistemlerinde, güç sistemlerinin kararlı hal davranışları, geçici durumlarda yeterlilikler gibi birçok durum analiz edilebilmektedir.

Bu çalışma da, MATLAB/Simulink programı yardımıyla matematiksel modellemesi oluşturulan sistemin, simülasyon analizleri yapılmış ve DC motorun dinamik davranışları incelenmiştir.

## 2. SİSTEMİN MODELLENMESİ

Helikopter üzerinde helikopter ana pervanesi ve kuyruk pervanesinde kullanılan toplam iki adet DC motor bulunmaktadır.



Şekil 2. DC Motorların matematiksel modellemesi

Şekil 2’de görüldüğü gibi ana pervaneyi döndüren DC motorun oluşturduğu motor torku  $T_1$ , armatür akımı  $I_a$  ve tork sabiti  $K_a$  ise

$$T_1 = K_a I_a \quad (1)$$

Üretilen gerilim  $V_b$  ise açısal hız,

$$V_b = K_a \omega_m = K_a \left( \frac{d\theta}{dt} \right) \quad (2)$$

Newton yasası ve Kirchoff yasası birleştirilirse,

$$J \left( \frac{d^2\theta}{dt^2} \right) + b \left( \frac{d\theta}{dt} \right) = K_a I_a \quad (3)$$

$$L \left( \frac{dI_a}{dt} \right) + R I_a = V_a - K \left( \frac{d\theta}{dt} \right) \quad (4)$$

Sistemin transfer fonksiyonu, Laplace dönüşümünün (3) ve (4) denklemlerine uygulanmasıyla

$$J s^2 \theta(s) + b s \theta(s) = K_a I_a(s) \quad (5)$$

$$L s I_a(s) + R I_a(s) = V_a(s) - K s \theta(s) \quad (6)$$

(6)’dan  $I_a(s)$  bulunursa,

$$I_a(s) = \frac{V_a(s) - K s \theta(s)}{R + sL} \quad (7)$$

elde edilen bu denklem (5)’de yerine konulursa,

$$J s^2 \theta(s) + b s \theta(s) = K_a \frac{V(s) K s \theta(s)}{R + L s} \quad (8)$$

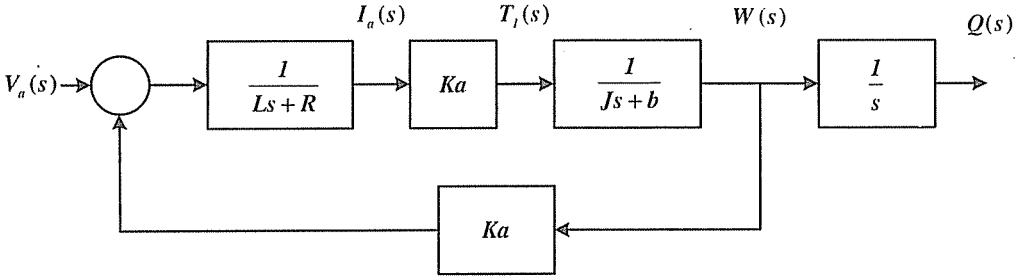
Giriş gerilimi  $V_a(s)$ , çıkışta açısal hız  $\omega(s)$  ise transfer fonksiyonu

$$G_1(s) = \frac{W(s)}{V_s(s)} = \frac{K_a}{(R_1 + L_1 s)(J s + b) + K_a^2} \quad (9)$$

İkinci DC motor için parametreler,  $K_b$ ,  $R_2$  ve  $L_2$  şeklinde olduğu için transfer fonksiyonu,

$$G_2(s) = \frac{W(s)}{V_s(s)} = \frac{K_b}{(R_2 + L_2s)(Js + b) + K_b^2} \quad (10)$$

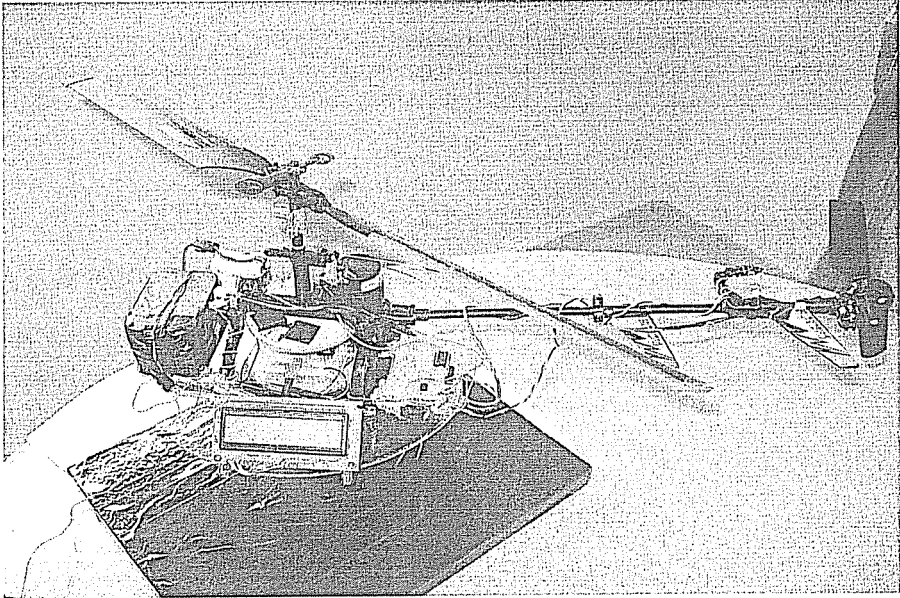
olarak verilir.



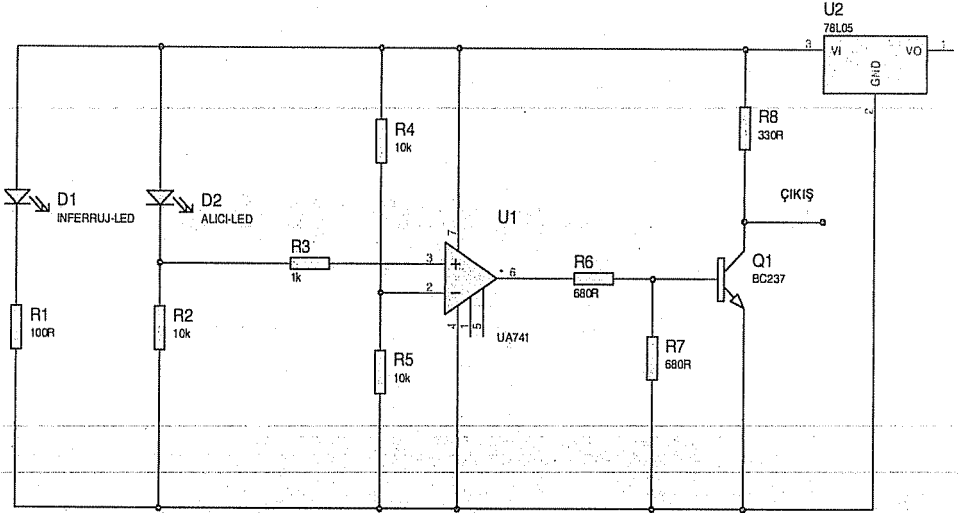
Şekil 3. DC motor kapalı döngü kontrol sistemi

### 3. SİSTEMİN TASARIMI

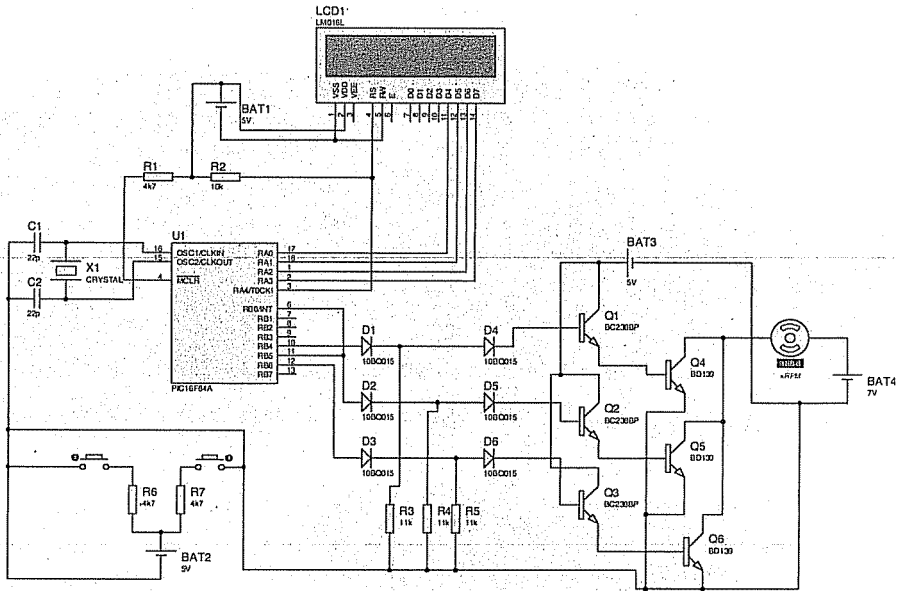
Deney seti üzerinde, ana pervane ve kuyruk pervanesinin dönmesinde kullanılan iki adet DC motor, pervanelerin dönüş devir sayıları ve hızlarını ölçmek için tasarlanan iki adet lazerli sensör sayıcı devresi, pervane devir sayıları ve hızlarını göstermek için bir adet LCD ekran, DC motor sürücü devreleri, PIC 16F84A mikrodenetleyici ve kontrol kartı ile şarj edilebilir güç kaynağı kullanılmıştır. Şekil 4'de deney setinin görünüşü, Şekil 5 ve Şekil 6'da ise elektronik devre şemaları görülmektedir.



Şekil 4. Helikopter deney setinin görünüşü.



Şekil 5. Devir sayıcı sensör devresi



Şekil 6. Motor sürücü ve LCD devresi



Tasarlanan sistem pervanelerin dönüş hızı, dönüş zamanları ve helikopterin denge durumu için dönüş yönleri görülebilmektedir Yazılım için Basic dili kullanılmıştır. Daha sonra bu program .hex kodlara çevrilerek 16F84A'nın hafızasına yüklenmiştir.

Sistemde ilk önce ana pervane saat yönünde döndürülmektedir. Kuyruk pervanesi durduğu için tork etkisine bağlı olarak helikopter gövdesi saat yönün tersine dönmektedir. Yazılan programa göre bu durum iki saniye sürmektedir. Bu iki saniyenin sonunda ana pervane dönerken, kuyruk pervanesi yirmi saniyelik süre boyunca yüksek hızla devreye girmektedir. Arkasında kuyruk pervanesinin hızı yavaş yavaş azaltılarak denge durumuna getirilmektedir. Yani, gövdenin tork etkisiyle dönüşü, anti-tork kuvvetiyle engellenmektedir. Daha sonra kuyruk pervanesinin hızı düşürülerek tekrar tork etkisi gösterilmektedir.

Sistemde ana pervane hızı sabit alınmış ve sadece kuyruk pervanesi hızı değiştirilerek sistem kontrol edilmiştir.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deneyssel olarak elde edilen ve LCD ekranda gözüken, ana pervane ve kuyruk pervanesinin devir sayıları Tablo-1 'de görülmektedir.

**Tablo 1.** LCD ekranda okunan devir sayıları

Durum	Ana pervane devir sayısı (saniye)	Kuyruk pervanesi devir sayısı (saniye)
Tork Etkisi	13	0-27
	14	0-24
	13	0-25
Denge Durumu	13	31
	14	30
	13	29

Ana pervane yarıçapı 25 cm ve kuyruk pervanesi yarıçapı ise 7,5 cm'dir.

$$Yol = Hız \times Zaman \quad (11)$$

Zaman 1 saniye alındığında,

$$Yol = Hız \times 1 = Hız \quad (12)$$

olur. Alınan yol dairesel olduğundan,

$$Yol = (2\pi r) \times Devir Sayısı \quad (13)$$

Örneğin tabloda denge durumu için ana pervane 14 ve kuyruk pervanesi ise 30 devir için alınıp (11), (12), (13) formüllerine göre hızlar hesaplanırsa, ana pervane hızı  $Yol = Hız = 2.3, 14.0, 25.14 = 21,98$  m/sn olur. Kuyruk pervane hızı ve kuyruk pervanesi

için diğer hesaplamalar yapılırsa,  $Y_{ol}=\text{Hız}=2.3,14.0.75.30=14,13$  m/sn olarak elde edilir. Devir sayısı  $N=30.60=1800$  rpm olarak hesaplandı. Besleme gerilimi  $V_1=7$  V olarak aldığımızdan dolayı da, Tork sabiti  $K$  ve açısal hız  $\omega_m$  hesaplanırsa (6),

$$\omega_m = (V_1/K) = (2\pi N/60) = (2\pi 1800/60) = 188,4 \text{ rad/s}$$

$$K = 7 \times 60 / (2\pi \times 1800) = 0,0371$$

$$K \cdot i = (d\omega/dt) + b\omega, \quad \omega_m \text{ sabit sayı çıktığından, } (d\omega/dt) = 0 \text{ olur.}$$

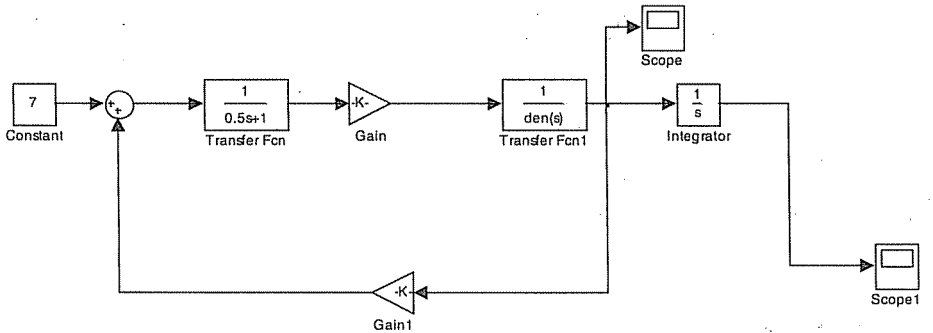
$$P = 1 \text{ watt, } T = P/W = 1/0,1884 = 5,307 \text{ mN.m}$$

$$J = 0.01 \text{ kabul edersek, } i = P/V = 1/7 = 0,14285 \text{ A}$$

$K \cdot i = (d\omega/dt) + b\omega$  ifadesinden de  $b = K \cdot i / \omega = 0,0371 \cdot 0,14285 = 0,0000281$  bulunur. Ayrıca

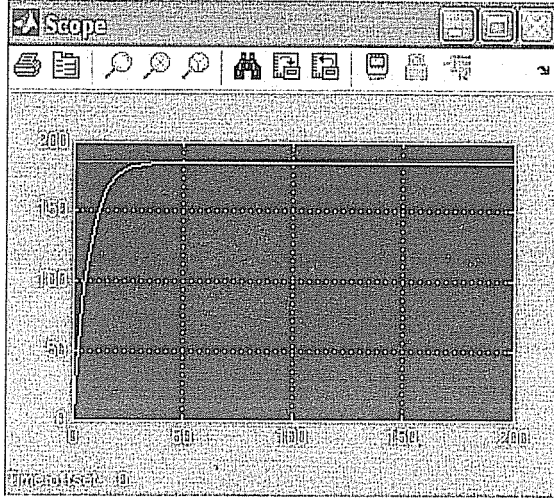
$R = 1\Omega$  ve  $L = 0,5H$  ölçülen değerlerdir.

Helikopter sisteminin MATLAB/Simulink ortamında hazırlanan benzetimi Şekil 7'de



Şekil 7. Benzetimi yapılan sistemin Simulink modeli

ve MATLAB/Simulink'ten elde edilen simülasyon sonuçları da Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8.  $V_a=7V$  için elde açılal hızın zamanla değışimi

Simülasyon sonucu incelendiğinde, açılal hızın kararlı hale geldiği noktanın değeri 180 rad/s' dir. Bu değeri  $2\pi$  ye bölündüğünde yaklaşık 29 devir sayısı elde edilir ki bu da Tablo-1'de verdiğimiz sonuçlarla uyum içerisindedir.

Sonuç olarak, deneysel olarak elde edilen değeriilerle, simülasyon değeriiler çok yakındır. Ayrıca, yapılan deneysel çalışmaları kapalı laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. İleri bir çalışmaları olarak, gerçekleştirilen bu deney düzeneği ile doğal ortamlarda yani rüzgâra açık alanlarda ölçümler yapılması önerilebilir. Ayrıca düzeneğe eklenecek titreşim analiz sistemi yardımıyla da sistemin titreşim analiz sonuçları elde edilebilir.

## 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmaları Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırması Projeleri Komisyonunca, BAP-TTEF EB (YGÜ) 2006-1 kodlu "MATLAB paket programı kullanarak elektronik devrelerin, kontrol sistemlerinin ve takım tezgahlarının simülasyonlarının gerçekleştirilmesi ve Kontrol ve Elektronik Bölümü öğrencilerinin, MATLAB ve simülasyon konularında eğitilmesi." isimli proje çerçevesinde desteklenmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Shin,J., Nonami,K., Fujiwara,D., Hazawa,K., "Model Based Optimal Attitude and Positioning Control of Small-Scale Unmanned Helicopter" *Robotica* (2005) Volume 23,pp.51-63.
2. Yinze,D., Liang,L., Zhenbang,G., "Modeling Analysis of Vibration for Subminiature Unmanned Helicopter" *IEEE international Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, Kobe-Japan, June 2005.*
3. Köse,E., "Helikopter ve Pervane Teknolojisi" *Eskişehir, 2003.*

4. Ayasun,S., Karbeyaz,G., "DC Motor Speed Control Methods Using MATLAB/Simulink and Their İntegration into Undergraduate Electric Machinery Courses"2007 Wiley Periodicals Appl. Eng.Educ. 15:347-354.

5. Sakaguchi,A., Mori,S., Yamamoto,T., "Data-Driven Skill-Based PID Control of a Pilot-Scale Helicopter Model" 0-7695-2882-1/07, 2007 IEEE.

6. Aung,P.W., "Analysis-on-Modeling-and-Simulink-of-DC-Motor and its Driving System Used for Wheeled Mobile Robot" PWASET Volume 26 December 2007, ISSN 1307-6884.

**DESTEK VEKTÖR MOTORLARI İLE PROTEİN YAPISINDAKİ DÜZENSİZ BÖLGELERİN TAHMİNİ****İrem ERSÖZ KAYA***M.Ü., Tarsus Teknik Eğitim Fakültesi, Tarsus/Türkiye***Turgay İBRİKÇİ***Ç.Ü., Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye***Okan ERSOY***Purdue University, Electrical-Computer Eng., ABD*

**ÖZET :** Protein yapısındaki düzensizlikler hastalıklara ve işlevsel bozukluklara neden olabildikleri gibi bazı durumlarda proteinin çok önemli fonksiyonları yerine getirmesinde ön koşul olabilmektedirler. Bu nedenle proteinlerin yapılarındaki düzensizliklerin tespit edilmesi oldukça önem taşımaktadır. Klinik ve laboratuvar çalışmalarındaki zaman ve maliyeti düşürmek amacı ile bu çalışmada, deneysel yaklaşımlara alternatif olarak veri madenciliğinin önemli yöntemlerinden olan Yapay Sinir Ağlarından radyal tabanlı fonksiyonlar, ve Destek Motor Vektörleri kullanılmıştır. Düzenli ve düzensiz protein yapılarının incelenmesinde kullanılmak üzere, Su ve ark. tarafından 2006 yılında hazırlanmış bir veri seti kullanılmıştır. Üç metotdan en başarılısı Yakımsal Destek Vektörleri Motorları olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Düzenli/Düzensiz Proteinler, Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör Motorları, Radyal Tabanlı Foksiyonlar

**PREDICTION OF PROTEIN DISORDER REGIONS WITH SUPPORT VECTOR MACHINES**

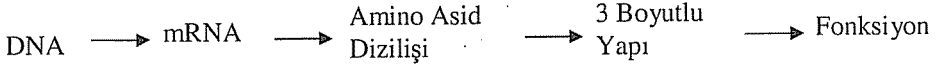
**ABSTRACT :** As disorders in protein structure can cause diseases and the functional disorders, in some cases this can be a pre-condition for a protein to carry-out the vital functions. Hence, the determination of the disorders in structures has vital importance. Clinical and experimental studies on these fields are quite expensive and time-consuming, In this study, as an alternative for the experimental approaches, the most common data mining tools, Artificial Neural Networks-radial basis functions, and Support Vector Machines, have been used to reduce the time and the cost. To be used at the examination of the structures of the order and disorder proteins, Su et al. in 2006 has been used for the purpose of the comparisons. Proximal Support Vector machines gives better results when compared with three of them.

**Keywords:** Order/Disorder Proteins, Neural Networks, Support Vector Machine, Radial Basis Functions

## 1. GİRİŞ

Proteinler, hayati önem taşıyan görevleri nedeniyle organizmaların en önemli kısımlarıdır. Organizmaların neredeyse tüm biyokimyasal aktivitelerini gerçekleştirirler. Bu bakımdan, bir organizmanın yaşam sürecini anlayabilmek için ilk olarak, fonksiyonuyla yakından ilgili olan yapısının bilinmesi gerekmektedir. Proteinlerin yapılarının incelenmesinde direk biyolojik teknikler kullanılması güvenilir sonuçlar getirirse de uygulamada uzun zaman isteyen çok pahalı ve uzman gerektiren çalışmalardır.

Proteinin yapısıyla fonksiyonu arasındaki ilişkiyi ifade eden en etkin görüş;

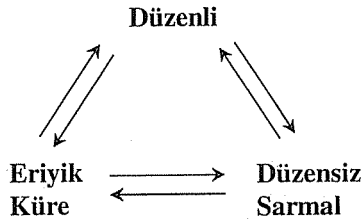


şeklinde verilmektedir (1). Bu modele göre 3B yapı, protein fonksiyonu için ön koşul olarak kabul edilmektedir.

Bir protein, fonksiyonel formundaysa doğal (native), fonksiyonunu kaybetmiş ise denatüre olarak adlandırılır. Doğal formunda, protein özel bir 3B yapıya sahiptir; denatüre formunda ise katlanmamış durumdadır. Burada amino asid (aa) sekansı çok önemlidir ve genetik kodlamanın ikinci yarısı olarak kabul edilir (2). Protein katlanma problemi olarak da adlandırılan 3B yapının bulunması problemi üzerine sayısız çalışmalar yapılmıştır. Devam eden bu çalışmalar arasında X-ışını Kristalografi, Nükleer Manyetik Rezonans Spektroskopisi (NMR) gibi deneysel olanların yanı sıra diziliş-3B yapı ilişkisinin bilinenle karşılaştırılması şeklinde bilgisayar ortamında yapılanları da bulunmaktadır.

Verilen modelde 3B yapı, proteinin fonksiyonu için ön koşul olarak kabul edilse de birçok protein veya protein parçasının (domain), 3 Boyutlu yapıya sahip olmadıkları halde bir veya birden fazla fonksiyona sahip oldukları bulunmuştur (3).

Düzensiz yapıdaki proteinlerin çok önemli fonksiyonlarda görev almalarının bulunması, katlanmayan bu proteinlerle ilgili çalışmaların başlamasına sebep olmuştur. Dunker ve ark. yaptıkları bir çalışmada düzensizliğin fonksiyonel önemini vurgulamışlardır (4). Wright ve Dyson'ın, yapı-fonksiyon modelinin yeniden düzenlenmesinin gerekliliğini sorgulamasına sebep olmuştur (5). Dunker vd., maddenin katı, sıvı, gaz olmak üzere üç halde bulunabilmesi durumuna benzettikleri, "proteinin 3 hali" fikrini ortaya koymuşlardır (6). Düzenli (katı), Eriyik Küre (sıvı), Düzensiz Sarmal (gaz) olarak isimlendirilen durumların üçlü şeması aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Şekil 1). Buna göre protein her üç formunda ve bu formların geçişlerinde fonksiyona sahip olabilmektedir.



Şekil 1. Proteinin üç hali.

Böylece, “Doğasında/özünde Düzensiz Proteinler” (DDP) kavramı ortaya çıkmıştır (7). Buradaki düzensiz terimi, her iki akışkan fazı (eriyik küre ve düzensiz sarmal) da kapsamaktadır. DDP’ler düzensiz bölgelerin boyutlarına göre üç farklı grupta toplanabilir. Düzensiz bölge 7-21 arası amino aside sahip ise Kısa Düzensiz Bölge (KDB), 22-44 arası amino asit Orta Düzensiz Bölge (ODB), 45 ve daha fazla amino aside sahip olanlar da Uzun Düzensiz Bölge olarak isimlendirilir (8).

3B yapısı olmaması nedeni ile DÜP’lerin deneysel yöntemlerle tespit edilmesi oldukça zordur. Örneğin x-ray kristalografi ile yapılan incelemede görünmeyen bölgeler, muhtemel düzensiz yapı olarak kabul edilir. Ancak bunun kesinleştirilmesi için bir diğer yöntemle desteklenmesi gerekmektedir. Zira o bölgelerin teknik aksaklıklar sebebiyle görünmemesi ihtimali de vardır (9). Bu sebeple düzensiz yapılı bölgelerin ve bunların fonksiyonlara etkisinin bilgisayar ortamında tespiti oldukça önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, veri grubu olarak Su ve ark. çalışmasından alınan 80 proteinlik veri seti kullanılmıştır. Düzensiz yapıya sahip olduğu muhtemel rezidü ve rezidü gruplarının seti oluşturulmuştur.

## 2. MATERYAL VE METOTLAR

### 2.1. Veri Setinin Hazırlanması

Bu çalışmada, Yang ve ark.’nın geliştirdikleri Bölgesel Düzenli Sinir Ağı (Regional Order Neural Network / RONN) öğrenmesini test etmek amacıyla kullandıkları, 80 protein içeren veri seti seçilmiştir (10). Bu veri seti Moleküler Yapı Veritabanı’ndaki (Molecular Structure Database / MSD), NMR ve X-ışını yöntemiyle elde edilmiş tüm girişlerin, analizi sonucunda oluşturulmuştur (11). Her bir MSD girişi için; PDB girişlerinin ATOM koordinatları kayıtlarından oluşturulan görünen rezidüler dizisi (düzenli bölgeler), SEQRES kayıtlarındaki tüm protein sekansı ve ilgili UniProt sekansı ile karşılıklı hizalanır. Böylece görünmeyen bölgeler tespit edilmiş olur. En az beş ardışık rezidü içeren görünmeyen bölgeler göz önünde bulundurularak 7327 giriş tespit edilmiştir. Bu girişlerden 20’den fazla ardışık görünmeyen rezidüye sahip olanlar (uzun set; 1573) ve diğerleri (kısa set; 5754) şeklinde iki gruba ayrılmıştır. Kompleks oluşturmayan proteinlerin, 3 harfli PDB kimlik numarası aynı olanlardan sadece büyük olanlarının ve birden fazla zincire sahip proteinlerden birbiriyle özdeş olanlarının sadece birinin seçilmesi gibi bazı filtreleme uygulamalarından sonra uzun set, 872 girişe sahip olmuştur. Daha sonra uygulanan CD-Hit programı kullanılarak proteinler arasında %70 den fazla dizi benzerliği (homolog olanlar) olanlar elenmiştir (12). Sonuçta Yang ve ark., elde kalan bu girişlerden rasgele seçilen 80 proteini (PDB girişi) temel test seti olarak belirlemişlerdir. Seçilen 80 proteinin kompozisyonu Tablo 1’de verilmektedir. Çalışmamızda, R80 veri setinin üçte ikisi eğitim veri setini, üçte biri test veri setini, oluşturmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Buna göre hazırlanan veri setinin yeni kombinasyonu Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 1.** R80 veri seti dağılımı

Zincir Sayısı	80
Düzenli Bölge Sayısı	151
Düzensiz Bölge Sayısı	183
Düzenli Bölgedeki Rezidü Sayısı	29909
Düzensiz Bölgedeki Rezidü Sayısı	3649
Veri Setindeki Toplam Rezidü Sayısı	33558

**Tablo 2.** Oluşturulan eğitim ve test setinin istatistikleri

	Eğitim Verisi	Test Verisi
Örnek Sayısı	22372	11186
Düzenli Bölgedeki Rezidü Sayısı	19925	9984
Düzensiz Bölgedeki Rezidü Sayısı	2447	1202
Veri Setindeki Rezidü Sayısı	22372	11186

## 2.2. Değerlendirme Ölçütleri

Verilen protein sekansındaki bir rezidünün düzenli veya düzensiz olmasının tahmini, ikili sınıflandırma problemi ve değerlendirme için birçok ölçüt belirlenmiştir (13). Bunlardan başlıcaları Duyarlılık, Belirlilik, Matthew Korelasyon Katsayısı, Olasılık Fazlası değerleridir ve değerlendirmede tercih edilen ölçütlerdir (10,13,14). Bu çalışmada kullanılan değerlendirme ölçütleri aşağıdaki Tablo 3 'de verilmiştir.

Duyarlılık (Sensitivity), doğru belirlenen düzensiz rezidü oranını gösterirken; Belirlilik (Specificity), doğru belirlenen düzenli rezidü oranını vermektedir. Matthew Korelasyon Katsayısı, bioinformatik problemlerde sıklıkla kullanılan bir ölçüttür (15). Bununla beraber bu üç ölçüt, bağlı frekans etkisinde kaldıklarından hedef sınıfın izole performans değerlendirmesi için uygun değildir. Bu durumda performans değerlendirmesi için Olasılık Fazlası ölçütleri önerilmiştir (10,16).

**Tablo 3.** Değerlendirme ölçütlerinin denklemleri

Ölçüt	Denklem
Duyarlılık	$DP / (DP+YN)$
Belirlilik	$DN / (DN+YP)$
Doğruluk	$(DP+DN) / (DP+YP+DN+YN)$
Matthew korelasyon katsayısı	$(DP \times DN - YP \times YN) / \sqrt{\text{karekök}((DP+YP) \times (DN+YN) \times (DP+YN) \times (DN+YP))}$
Olasılık Fazlası	$(DP \times DN - YP \times YN) / ((DP+YN) \times (DN+YP))$



**Tablo 4.** Tablo 3’de verilen ölçütlerde kullanılan sembollerin anlamı

İsim	Kısaltma	Tanım
Doğru pozitif	DP	Doğru sınıflandırılan düzensiz rezidü sayısı
Yanlış pozitif	YP	Düzensiz olarak sınıflandırılan düzenli rezidü sayısı
Doğru negatif	DN	Doğru sınıflandırılan düzenli rezidü sayısı
Yanlış negatif	YN	Düzenli olarak sınıflandırılan düzensiz rezidü sayısı
DP ağırlığı	$A_{DP}$	Düzenli rezidü sayısının toplam rezidü sayısına oranı
YP ağırlığı	$A_{YP}$	- $A_{DN}$
DN ağırlığı	$A_{DN}$	Düzensiz rezidü sayısının toplam rezidü sayısına oranı
YN ağırlığı	$A_{YN}$	- $A_{DP}$

## 2.2 Kullanılan Metotlar

Düzensiz (disorder) proteinlerin yapılarındaki düzensiz bölgelerinin tanımlanması üzerine yapılan çalışmalar da farklı kabuk yaklaşımlara sahip 3 farklı metot denenmiştir.

### 2.2.1. Radyal Tabanlı Fonksiyon Metodu (RTF)

Yapay sinir ağlarından kabuk esaslı olan radyal tabanlı fonksiyon (RTF) çok katmanlı yapay sinir ağları gibi üç katmandan oluşmaktadır (17). Her bir gizli katman düğümü bir çekirdeği temsil etmekte olup, giriş vektörünün radyal fonksiyonlarla bulunan merkezlere olan uzaklığı hesaplanmaktadır. Bu uzaklığın hesaplanmasında genel olarak Formül 1. ‘deki Gaussian uzaklık ölçümü kullanılmaktadır.

$$r_j(x) = \exp\left(-\frac{1}{2\alpha^2} \|x - \mu_j\|^2\right) \quad (1)$$

Burada  $\mu$  yarıçap vektörü,  $\alpha$  ise şekil faktörüdür. Veri vektörü  $x$ , en yakın olan merkez  $\mu$ ’ye doğru yönelir. İkinci kısımda ise gizli katman ile çıkış katmanı arasında hatayı geriye yayma metodu kullanılarak ağırlıkların bulunmasına çalışılmaktadır.

### 2.2.2. Destek Vektör Motorları (DVM)

Temel olarak, istatistiksel öğrenme algoritmalarından biri olan ve Vapnik tarafından tanımlanan DVM, birçok gerçek problemde başarılı sonuçlar vermiştir. DVM’nin dayandığı teori, Vapnik ve Chervonenkis tarafından 1960’lı yıllarda başlatılıp 1970’li yıllarda gelişen başarılı bir çalışmanın ürünüdür (18). DVM, istatistiksel öğrenme teorisine dayanan bir çeşit yapay öğrenme yöntemidir. DVM, sınıflandırıcı doğrusal ayırma düzlemini oluşturmak ve en uygun ayırma düzlemini öğrenme veri setinde bulunan verilere dayanarak hesaplayabilmek için geometrik özellikleri kullanan bir yöntemdir. Bazı problemler asıl giriş uzayında doğrusal olarak ayıramazlar. DVM ile doğrusal olmayan problemlerde asıl giriş uzayını bir üst en uygun ayırma düzlemine dönüştürülmektedir (19-21).

Ayırma düzlemi, öğrenme veri setini hatasız bir şekilde iki sınıfa ayıran doğrusal bir fonksiyondur. Öğrenme veri seti  $n$  tane örnek

$$X = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n) : x_i \in P^n, y_i \in \{-1, +1\}\} \quad (2)$$

içerecek olursa, bu öğrenme veri seti karar fonksiyonu  $f$  ile

$$f(x) = \langle w, x \rangle + b \quad (3)$$

bir düzlem aracılığıyla ayrılmaktadır. Kullanılan  $y_i$ , sınıfların tanımını vermektedir.  $H$  olarak tanımlanan bu düzlem de

$$H : y = \langle w, x \rangle + b = 0 \quad (4)$$

$$H_1 : y = \langle w, x \rangle + b = \pm 1 \quad (5)$$

şeklinde ifade edebilir ve sınıflar

$$\langle w, x_i \rangle + b > +1 \quad \text{için} \quad y_i = +1 \quad (6)$$

$$\langle w, x_i \rangle + b < -1 \quad \text{için} \quad y_i = -1 \quad (7)$$

ifadeleriyle birbirinden ayrılmaktadır. Yukarıda 5 ve 6'da verilen iki ifade

$$y_i (\langle w, x_i \rangle + b) - 1 \geq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (8)$$

şeklinde birleştirilerek tek bir ifade elde edilmektedir.

En uygun ayırma düzleminden, gri olarak belirtilen her iki sınıfa ait en yakın verilere olan uzaklık sınırı olarak ifade edilir ve bu sınır en büyük değerine sahip olduğunda (maksimum uzunluk) sınıfları ayıran bu düzlem, en uygun ayırma düzlemidir (Şekil 2). DVM başarılı olarak iki-sınıflı problemlere uygulanabilmektedir. Ancak bu yöntemi çok-sınıflı problemlere de uygulamak mümkündür (22).



### 2.2.2.2. Yakınsal Destek Vektörleri Motorları (YDVM)

Fung ve Mangasarian tarafından 2001 yılında kullanılan bir DVM 'de doğrusal olarak uygulanan PDVM metodu, standart DVM'dan da doğrusal fonksiyon  $\gamma > 0$  olarak kuadratik programda hesaplama yapması ile ayrılır (24).

$$\min_{(w, \gamma, y) \in R^{n+m}} \gamma e' y + \frac{1}{2} w' w \quad (12)$$

$$D(Aw - e\gamma) + y \geq e \quad (13)$$

$y \geq 0$  iken

$$\min_{(w, \gamma, y) \in R^{n+m}} \gamma \frac{1}{2} \|y\|^2 + \frac{1}{2} (w' w + \gamma^2) \quad (14)$$

$D(Aw - e\gamma) + y \geq e$  şeklindeki bir optimizasyon problemi daha kolay hale getirebilmek için büyük veya eşit durumu  $D(Aw - e\gamma) + y = e$  olarak yazılmıştır. Bu işlem çok basit bir işlem olarak görünse de optimizasyon probleminin başarılı bir şekilde çözümü sağlamaktadır. Böylece bir önceki formülde ortaya çıkan kombinasyonellerin olumsuzluklar ortadan kalkmış olmaktadır. Yani geometrik olarak X düzleminde  $x'w - \gamma = \pm 1$  ifadesi sınırlama yapmamaktadır. Açıkcası, daha yakınsal değer ile optimizasyon probleminin çözümüne yardımcı olmaktadır.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Son yıllarda destek vektör motor öğrenme metotları oldukça yaygın bir şekilde bioinformatik ve biyoloji hesaplarında kullanılmaya başlanmıştır. Bu kullanımın iki temel sebebi vardır; birincisi, birçok biyolojik problemlerde bulunan geniş boyutlardaki veri setlerinde bulunan istenmeyen etkilerle oluşan verileri işleyebilmesi, ikinci genel neden ise de, destek vektör motor sistemlerinin farklı boyutlardaki vektör verilerini rahatlıkla kullanabilmesidir. Böylece, biyoloji verilerini çeşitli farklı kabuk (kernel) fonksiyonları ile hesaplanma olanağını ortaya koymuştur.

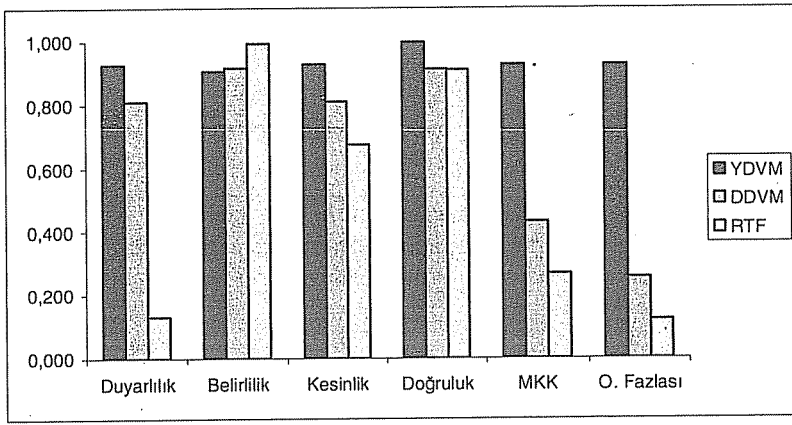
Bu çalışmada, düzenli ve düzensiz rezidüleri içeren bir veri setinin özelliklerinden elde edilen vektörler üzerinden 4 farklı kernel metodun başarısı test edilmiştir. Burada yapılmak istenen farklı yaklaşımlardaki metodların, proteinlerin düzenli ve düzensiz bölgelerinin tespitindeki tahmin performanslarının araştırılmasıdır. Metodların eğitiminde, seçilen 4 farklı amino asit özelliği taşıyan PSSMP matrisi profillerinden (33558 öznitelik vektörü) 2/3'ü kullanılmıştır. Kalan vektörlerle, eğitim başarısı test edilmiştir. Tahmin için düzensiz ve düzenli olmak üzere ikili sınıflandırma analizi yapılmıştır.

Kullanılan metodlar, Radyal Tabanlı Fonksiyon Metodu, Düzgün Destek Vektör Motorları ve Yakınsal Destek Vektörleri Motorlarıdır. Metodların test sonuçlarının 6

farklı değerlendirme kriterine göre performans değerlendirmeleri Tablo 5'de verilmektedir.

**Tablo 5.** 3 metot sonucunda hesaplanan düzensiz bölge tahmini performansları

Metotlar	Duyarlılık	Belirlilik	Kesinlik	Doğruluk	MKK	Olasılık Fazlası
YDVM	0.927	0.906	0.928	0.997	0.926	0.926
DDVM	0.812	0.916	0.812	0.913	0.431	0.255
RTF	0.130	0.993	0.676	0.909	0.267	0.121



**Şekil 3.** 3 metodun sonuçlarının grafiksel olarak gösterilmesi

Tablo 3'de verilen ölçütlerden duyarlılık, belirlilik ve kesinlik değerlendirme ölçütleri izole değerlendirmede yeterli değildir. Örneğin tüm rezidülerin düzensiz olarak tahmin edilmesi durumunda duyarlılık = 1 değerini alırken belirlilik = 0 olmaktadır ve bu durumda duyarlılık, test setindeki düzensiz rezidülerin oranını vermektedir. Doğruluk, iki sınıfın bağıl frekanslarından oldukça etkilenmektedir. %90'ı düzenli rezidülerden oluşan bir veri setinde, düzensiz rezidülerin sadece %10'unun doğru tahmin edilebilmişken rezidülerin %90'ının düzenli olarak tahmin edilmesi, 0.82 doğruluğu göstermektedir. Mathew korelasyon katsayısı (MKK), önceliklere göre daha iyi olmasına rağmen bağıl frekanslardan benzer şekilde etkilenmektedir. Katsayının 1 olması mükemmel algoritma durumunu gösterir. Olasılık fazlası değerlendirmesi de 0 ve 1 (mükemmel tahmin) aralığında yapılmaktadır. Bu değer, 0.5'in üzerinde olduğunda yöntemin başarılı olduğu kabul edilmektedir. Bu değerlendirme test setindeki Bağıl frekansından bağımsız olan bu değerlendirme duyarlılığın belirliliğe karşı çizilen grafiğinden de ölçülebilir. Değerlendirme ölçütlerinin özellikleri göz önünde bulundurulduğunda olasılık fazlası ölçütünün daha etkili bir değerlendirme şekli olduğu söylenebilir ve bu nedenle en çok tercih edilen değerlendirme ölçütüdür.

Tablo 5'deki kayıtlara göre düzenli/düzensiz rezidüleri sınıflandırmadaki en başarılı olasılık fazlası değeri, en iyi performans, Yakınsal Destek Vektör Motorları

sonucunda elde edilmiştir. DVM, doğrusal bir metot olmasına rağmen sınıf sınırlarından yaklaşım yaptığından diğer lineer yöntemlerden farklı olarak doğrusal olmayan veri setlerinde de başarılı sonuçlar verebilmektedir. Burada sınıf dağılımının geometrisi, sınıflandırmada etkisizdir. YDVM için de kriterler arası tutarlılık söz konusudur. Tüm performans sonuçları %90'ın üzerindedir.

Diğer yöntemlerin olasılık fazlası değerleri incelendiğinde 0.3'e yakın veya daha düşük olduğu gözlenmektedir. Ayrıca performans değerlendirmeleri birbirine göre incelendiğinde uyumsuz sonuçlar vermektedir. Tümünde belirlilik değerleri yüksek iken duyarlılık değerleri düşüktür. Çok yüksek belirlilik değerine (%95'den fazla) karşılık çok düşük duyarlılık değeri (%50'den az) elde edilmesi eksik tahmin (underprediction) olarak adlandırılır, başka bir deyişle düzenli tahmin eğiliminin düzensizden fazla olması anlamına gelmektedir. Bu duruma örnek RTF'nin performans sonuçları gösterilebilir. Ayrıca doğruluk değeri de oldukça başarılıdır (0.905). YDVM, olasılık fazlası değerlendirmesine göre ikinci başarılı performans (0.926) sahip olsa da süre ve kullanılan bilgisayar kaynakları göz önünde bulundurulduğunda daha başarılı bir yöntem olduğu söylenebilir.

#### 4. KATKI BELİRTME

Bu çalışma, TÜBİTAK TBAG grubu tarafından desteklenen, 104T505 nolu projesi ve MMF2006D12 nolu proje ile Ç.Ü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Ayrıca, yazarlar sayın Prof. Dr. Seyhan TÜKEL'e bu çalışmaya verdiği katkılardan dolayı teşekkür ederler.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Romero,P., Obradovic,Z., Dunker,A.K., "Intelligent Data Analysis for Protein Disorder Prediction", *Artificial Intelligence Review*, 14, 447-484, 2000.
2. Kolata,G., "Trying to Crack the Second Half of the Genetic Code". *Science* 233: 1037-1039, 1986.
3. Klee,C., Draetta,G., Hubbard,M., "Calcineurin, In Meister, A. (ed.) *Advances in Enzymology*", Vol. 61, 149-200, 1988.
4. Dunker,A.K., Obradovic,Z., Romero,P., Kissinger,C., Villafranca,E., "On The Importance of Being Disordered", *PDB Newsletter*, 81, 3-5, 1997.
5. Wright,P.E. and Dyson,H.J., "Intrinsically Unstructured Proteins: Re-assessing The Protein Structure-Function Paradigm", *J. Mol. Biol.*, 293, 321-331, 1999.
6. Dunker,A.K. and Obradovic,Z., *The Protein Trinity – Linking Function and Disorder*, *Nature Biotechnology*, 19, 805-806, 2001.
7. Dunker,A.K., Lawson,J.D., Brown,C. J., Willams,R.M., Romero,P., Oh, J.S., Oldfield, C.S., Campen,A.M., Ratliff,C.M., Hipps,K.W., Ausio,J., Nissen,M.S., Reeves,R., Kang,C., Kissinger,C.R., Bailey,R.W., Griswold,M.D., Chiu,W., Garner,E.C., Obradovic,Z., "Intrinsically Disordered Protein. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*", 19, 26-59, 2001.
8. Romero,P., Obradovic,Z., Kissinger,C., Villafranca,E., Dunker,A.K., "Identifying Disordered Regions in Proteins from Amino Acid Sequence", *In Proc. IEEE Int. Conf. On Neural Networks*, 1, 90-95, 1997.

9. Vucetic,S., Obrodovic,Z., Vacic,V., Radivojac,P., Peng,K., Lakoucheva,L.M., Cortese,M.S., Lawson, J.D., Brown, C. J., Sikes, J. G., Newton, C. D., Dunker, A. K., *DisProt: A Database of Protein Disorder*, *Bioinformatics*, 21, 137-140, 2005.
10. Yang,R.Z., Thomson,R., Mcneil,P., Esnouf,R.M., "RONN: The Bio-basis Function Neural Network Technique Applied To The Detection of Natively Disordered Regions in Proteins", *Bioinformatics*, 21, 3369-3376, 2005.
11. Boutselakis,H., Dimitropoulos,D., Fillon,J., Golovina,A., Henrick,K., Hussain,A., Ionides,J., John,M., Keller,P.A., KRissinel,E., Mcneil,P., Naim,A., Newman,R., Oldfield,T., Pineda,J., Rachedi,A., Copeland,J., Sitnov,A., Sobhany,S., Suarez-Uruena,A., Swaminathan,J., Tagari,M., Tate,J., Tromm,S., Velankar,S., Vranken,W., "E-MSD: The European Bioinformatics Institute Macromolecular Structure Database", *Nucleic Acids Res.*, 31, 458-462, 2003.
12. Li,W., Jarozewski,L., Godzik,A., "Clustering of Highly Homologous Sequences To Reduce The Size of Large Protein Databases", *Bioinformatics*, 17, 282-283, 2001.
13. Melamud,E. and Moul,J., "Evaluation of Disorder Predictions in CASP5", *Proteins*, 53, 561-565, 2003.
14. Shimizu,K., Hirose,S., Noguchi,T., Muraoka,Y., "Predicting The Protein Disordered Region Using Modified Position Specific Scoring Matrix", *The 15th International Conference on Genome Informatics*, P150, 2004.
15. Chen,Y.C., Lin,Y.S., Line,C.J., Hwang,J.K., "Prediction of The Bonding States of Cysteines Using The Support Vector Machines Based on Multiple Feature Vectors and Cysteine State Sequences", *Proteins*, 55, 1036-1042, 2004.
16. Jin,Y. and Dunbrack,R.L., "Assessment of Disorder Predictions in CASP6", *Proteins*, Early View, 2005.
17. Broomhead,D.S., Lowe,D., "Multivariable functional interpolation and adaptive networks", *Complex Systems*, 2:321-355, 1988.
18. Vapnik, V., "Statistical Learning Theory", Wiley, 1998.
19. Stittson,M.O., Weston,J.A.E., Gammernan,A., Vovk,V., Vapnik,V., "Theory of Support Vector Machine", *Technical Report CSD-TR-96-17*, Royal Holloway University of London, Department of Computer Science,1996.
20. Gunn,S., "Support Vector Machines for Classification and Regression", *ISIS Technical Report*, University of Southampton, Image Speech & Intelligent System Group 1998.
21. Cristianini,N., Shawe-Taylor,J., "An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-Based Learning Methods", Cambridge University Press, 2000.
22. Mayayoranz,E., Alpaydu, E., "Support Vector Machines For Multi-Class Classification", *IDIAP Research Report*, 98-06, 1998.
23. Lee,Y., Mangasarian,O.L., "A smooth Support Vector Machine", *Technical Report 99-03* University of Wisconsin, 1999.
24. Fung,K. ve Mangasarian,O.L., "Proximal Support Vector Machine Classifiers", *Proceedings KDD-2001*, Knowledge Discovery and Data Mining, San Francisco, CA, 2001.





## YATAY GÖLGE ELEMANI TASARIMINA BİR YAKLAŞIM VE ADANA ÖRNEĞİ

Nilgün Sultan YÜCEER

Ç.Ü., Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** Bu çalışmada gölge elemanı tasarımı için bir yaklaşım önerilmiştir. Bu doğrultuda Adana'da gölge elemanı uygulaması gerektiren tarih ve saatler yönlerine bağlı olarak araştırılmıştır. Gölge elemanı tasarımında yön, tarih ve saatin nasıl seçileceğini belirlemek amacı ile saatlik güneş ışınımı çizelgeleri çıkarılmıştır. 37° Kuzey enleminde yaz aylarında iç mekandaki ısı artışı ve parlamayı önlemek için yatay gölge elemanın bütün yönlerde etkili olduğu bu çizelgeler ile tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda; güney, batı ve doğu yönlerine yatay dış gölge elemanı önerilmiştir. Böylece elde edilen bilgiler, gölge elemanlarının tasarımcı ve kullanıcılar tarafından binaya doğru ve verimli bir şekilde uygulamasını sağlayacaktır.  
**Anahtar kelimeler:** Gölge elemanı, güneş denetimi, enerji verimliliği, bilgisayar destekli tasarım

### AN APPORACH OF OVERHANG DESIGN AND ADANA EXAMPLE

**ABSTRACT :** In this paper, an apporach is suggested for shading device design. In this aspect, the dates and hours in Adana which should be applicated shading device are investigated according to orientations. For this purpose, hourly solar exposure tables are gererated to determine how to select orientations, dates and hours for shading device design. With this tables, it is found that, horizontal shading device is effective in all orientation in latitude 37° North to prevent undesirable increase of indoor temperature and glare in summertime. In the result of the analyses, overhang is suggested according to south, west, and east directions. Therefore, the findings provide information for shading devices are applicated correctly and efficiently in the buildings by designers and users.

**Key Words:** Shading device, Sun control, Energy efficiency, Computer aided design.

## 1. GİRİŞ

Yapı ve çevresinde alınacak önlemler ile iç ortam konforunun sağlanması, doğrudan güneş ışınımının kontrol altına alınması ile olanaklıdır. Yapı kabuğunun malzemesi ve boyutuna bağlı olarak kazanılan ısının büyük bir bölümü saydam yüzeylerde gerçekleşir. Güneş ışınımının saydam yüzeylerde oluşturduğu "sera" etkisi, iç mekandaki sıcaklığı yükselten en önemli faktördür (1). Yapı düzeyinde çok yönlü çözümü olan saydam yüzeylerdeki ısı kazancının denetimi bitki veya yalıtılmış cam yüzey ile sağlandığı gibi, bir yapı bileşeni olarak tasarlanan dış gölge elemanları ile de sağlanır. Binalardaki gölgeleme donanımı, pencerenin konumuna göre, iç mekandaki güneş ışınımını istenen zamana bağlı kontrol eden bir yapı bileşenidir. Diğer bir deyişle, soğuk dönemlerde güneş ışınımının iç ortama alınması, sıcak dönemlerde ise gölgeleme yapılması gölge elemanı tasarımının temel mantığıdır (2). Bu açıdan binaya doğru uygulanmış bir gölge elemanı, iklimlendirme sistemlerinin yükünü %50-79 oranında indirebilmektedir (3). Bu ise, gölge elemanı uygulanacak dönemlerin doğru seçilmesiyle mümkün olabilir. Dış gölge elemanları, pencerenin konumu ve ölçüleri ile güneşin geliş açıları arasında kurulan bağlantılar değerlendirilerek tasarlanır (4).

Güneş ışını (solar radyasyon), elektromanyetik ışınımın bir biçimi olan ışığın yaydığı ısıdır. Güneş ışınımı, enerji değerleri ve dalga boyları farklı bir dizi dalga şeklinde uzaya yayılır. Yeryüzüne ulaşan güneş ışınları aşağıdaki gibidir (5).

IT: Yüzeyle ulaşan toplam güneş ışınımı yeğlinliği Kcal/m<sup>2</sup>.h.

ID: Yüzeyledeki doğrudan güneş ışınımı yeğlinliği Kcal/m<sup>2</sup>.h.

Id: Yüzeyledeki yaygın gök ışınımı yeğlinliği Kcal/m<sup>2</sup>.h.

Ir: Yüzeyle çevresindeki yüzeylerden yansarak gelen kısa dalga güneş ışınımı Kcal/m<sup>2</sup>.h.

Yeryüzünde herhangi bir yönde ve eğimdeki bir alana ulaşan toplam kısa dalga güneş ışınımı IT, aşağıdaki gibi üç bileşenden oluşur.

$$IT = ID + Id + Ir$$

Atmosferde yaygın duruma geçen yaygın gök ışınımı, gök kubbenin tümünden gelir. Berrak atmosfer koşullarında, yaygın ışınımın yeğlinliği, doğrudan ışınım yeğlinğine oranla daha düşük değerlerdedir. Tamamen bulutlu günlerde ise yeryüzüne yaygın gök ışınımı ulaşmaktadır. Yapı yüzeylerinin ısı kazancında az etkili olan yaygın gök ışınımı Id, göğün ışıklık derecesinde etkilidir. Doğrudan gök ışınımı ID, yüzeylerin ısı kazanmasında en etkin ışınım olduğundan dolayı, binada yönlenmenin ve iklimlendirme sistemlerinin belirlenmesinde değerlendirilir. Bu açıdan doğrudan güneş ışınımı gölge elemanı tasarımının önemli bir ögesidir. Birim yüzeydeki toplam kısa dalga güneş ışınımı yeğlinliği, güneş ışınlarının yer düzlemi ile yaptığı açılarla ilgilidir. Temel güneş açılarının güneş ışınlarının yeğlinliği ile bağlantısı, diğer bir deyişle, alıcı yüzeyin m<sup>2</sup>'si başına toplam güneş ışınımı (Kcal/ m<sup>2</sup>.saat) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$It = Id \times \cos Z + Id$$

Z: Zenit açısı, güneş ışını ile düşey doğrultu arasındaki açıdır ve enlem derecesine bağlıdır.

Yukarıdaki bağlantılardan anlaşılacağı gibi, Seçilen bölgenin enlemine göre güneşin geliş açısı, etkisi ve etkin olduğu süreler güneş ışınımının yeğlinliğinde önemli rol oynar. Dolayısı ile güneş ışınımının yeğlinliğini iklimi de etkiler. Yeryüzünde seçilmiş olan herhangi bir eğim ve yöndeki düzlem yüzey ile, doğrudan güneş

ışınlarının geliş açıları arasındaki geometrik ilişkiler; gölge elemanının biçimini ve uygulanması gereken tarihlerin tespitinde kullanılır. Bu açıdan gölge elemanlarının pencereye uygulanmış biçimleri enlem derecelerine, mevsimlere ve yönler göre farklılık gösterir. Bundan dolayı tasarıma başlamadan önce yerleşimde gölgeleme yapılması gereken tarih ve saatler yönler göre belirlenmelidir (6). Belli bir enlem derecesinde gölgeleme yapılması gereken saatler ve yönler, güneşin 1 günlük devinimi sonucu, yüzeylerin kazandığı güneş ışınımı dikkate alınarak tespit edilir (7). Herhangi bir yerleşimde güneş ışınımının etkisinin bulunması yukarıdaki gibi geleneksel hesaplamalar ile yapılabileceği gibi, güneşin 1 yıllık devinimine bağlı olarak çıkarılan çizelgeler üzerinden de tespit edilebilir (8). Yönler göre yüzeylerin aldığı ışınım ile tarihlerin değişimi gösteren çizelgeler üzerinden gölgeleme yapılması gereken dönemler saptanır. Bunun yanı sıra güneşin geliş açılarına bağlı olarak gölge elemanın biçim ve boyutu belirlenir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma alanı olan Adana'nın bulunduğu Akdeniz iklim kuşağında, yapının biçim ve yönelmesinin; güneş ışınımından korunmada ve yararlanmada temel planlama öğelerinden birisi olduğu saptanmıştır (9). Bu doğrultuda, Adana'nın yer aldığı 37° Kuzey enleminde yazın güneş denetimi önerilmiştir. Kışın ise güneş ışınımının iç ortamda önemli ölçüde ısı kazancı sağlayabileceği tespit edilmiştir (10).

Bu araştırmada gölge elemanı tasarımı için bir yaklaşım önerilmiştir. Bu doğrultuda Adana'da gölge elemanı uygulaması gerektiren tarih ve saatler yönler göre belirlenmiştir. Çıkarılmıştır. Çalışmada önerilen yaklaşımda, Adana'nın yıllık doğrudan güneş ışınımı değerleri üzerinden en sıcak ve en soğuk dönemler tespit edilerek gölgeleme yapılması gereken aylar belirlenmiştir. Tespit edilen yaz aylarında en uygun gölge elemanın biçimini belirlemek için, Adana iklimi ve enlem derecesine bağlı olarak güneş ışınım çizelgeleri çıkarılmıştır. Böylece, yönler göre yüzeylerin aldığı ışınım ile tarihlerin değişimi gösteren çizelgeler üzerinden gölgeleme yapılması gereken saatler saptanmıştır. Bu doğrultuda güneşin saatlik geliş açılarına bağlı olarak gölge elemanın uygulanmış biçimi belirlenmiştir. Güneş ışınımı değerlerini içeren çizelgeler Ekotect v5 programında hazırlanmıştır. Çizelge 1'de bu programının çalışma sistemi görülmektedir (11).

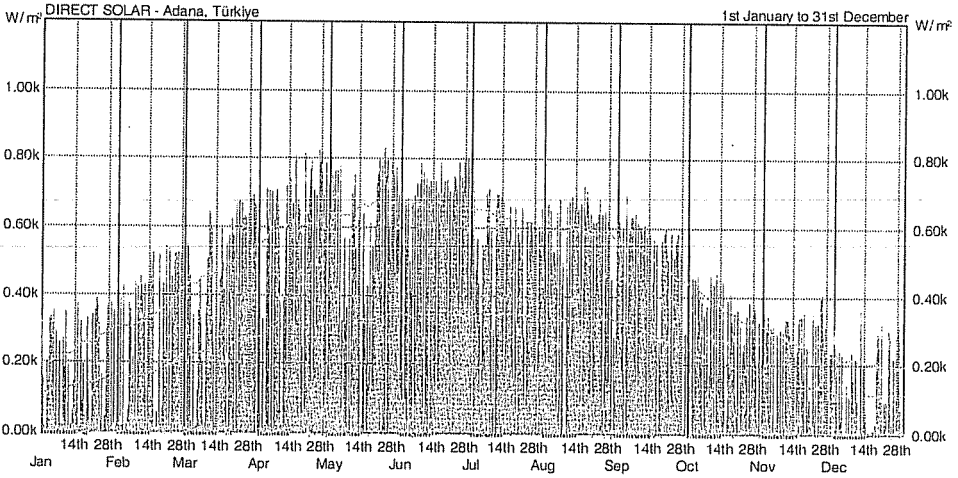
Çizelge 1. EKOTECTv5 programının çalışma sistemi.

PROGRAM	İŞLEV	VERİLER	ÇIKTILAR	BİLGİSAYAR ORTAMI
EKOTECTv5	3 boyutlu model ile fiziksel çevre kriterlerinin değerlendirilmesi	Enlem, boylam, iklimsel veriler, bina çizimleri	3 boyutlu gün ışığı, akustik, termal performans modelleri, iklim ve güneş grafikleri	Win. 95, 98, NT, 2000&XP, MAC

### 3. ADANA'DA GÖLGELEME GEREKTİREN DÖNEMLERİN YÖNLERE GÖRE TESPİTİ

Adana iklimi ve enlemi doğrultusunda hazırlanan yıllık ortalama doğrudan güneş ışınımı değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre Adana'da 6., 7. ve 8. aylarda güneşlenme süreleri, oldukça yüksektir. Bu doğrultuda gölge elemanı uygulaması bu aylarda gereklidir. Bunun yanı sıra 1., 2., 3., 11. ve 12. aylarda ise gölgeleme yapılmaması ve güneş ışınımından yararlanılması gerekir.

**Çizelge 2.** Adana'da yıllık ortalama doğrudan güneş ışınımı değerleri



Gölge elemanlarının Çizelge 3'deki gibi uygulanması, iç ortam konforunu artıracaktır. Özellikle Adana gibi, 37. enlemden bulunan yerleşimlerde yaz aylarında (6., 7. ve 8. aylar) doğru yönde ve biçimde uygulanmış gölge elemanları iklimlendirme yükünü azaltarak enerji verimliliğine katkı sağlar.

**Çizelge 3.** Adana'da gölge elemanı uygulaması

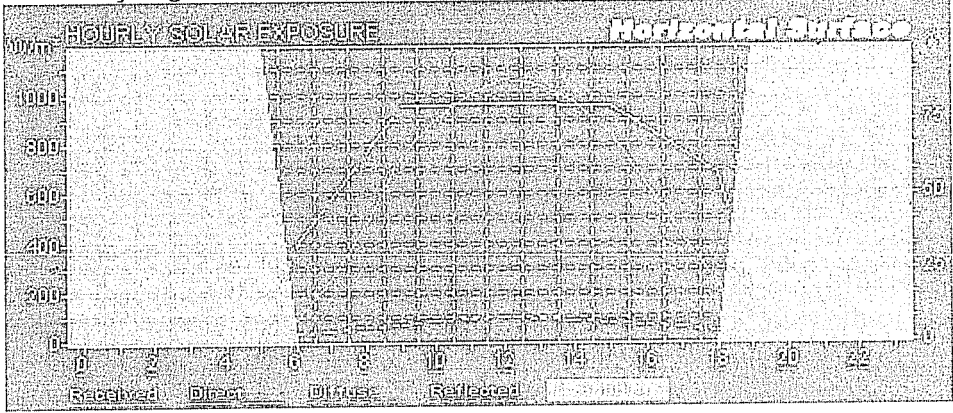
Gölgeleme yapılması gereken aylar	Gölge elemanı gerektirmeyen aylar	Gölgeleme yapılmaması gereken aylar
Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül	Nisan, Mayıs ve ekim	Kasım, Aralık, Ocak Şubat, Mart

Çizelge 3'de verilmiş yaz ayları temel alınarak; yönlere ve saatlere bağlı olarak, yüzeylerin kazandığı güneş ışınım düzeyleri çizelgeler üzerinde gösterilmiştir. Temmuz ayı maksimum güneş ışınımı değerleri esas alınarak çıkarılan bu çizelgeler gölgeleme yapılması gereken saatlerin ve yönlerin tespiti için kullanılmıştır.

Çizelgelerde; doğrudan, ulaşan ve yansıyan güneş ışınımının saatlik değerleri  $W/m^2$  cinsinden belirlenmiştir. Saatlik güneş ışınımı çizelgelerinde, 1 m<sup>3</sup> lük bir hacmin 4 ana yönde, saatlere bağlı olarak kazandığı solar ısı ve 1m<sup>2</sup>'lik yatay bir yüzeyin Watt cinsinden kazandığı ısı miktarları yer almaktadır. Çizelgelerde gri ton ile belirtilmiş

kısımlar, güneşin 1 günlük deviniminde gölgede kalan saatleri ifade etmektedir. Çizelgelerde koyu gri ton ise güneşlenme sürelerini ifade etmektedir. Gri çizgi ise yüzeylere ulaşan solar ısı kazancını (received, IT) ifade etmektedir. Beyaz kesikli çizgi doğrudan solar ısı kazancını (direct, ID), noktalı beyaz çizgi ise yansıyan ve dağılan toplam güneş ışınımını (diffuse, Id; reflected, Ir) göstermektedir. Çizelgeler aşağıdaki gibi incelenmiştir.

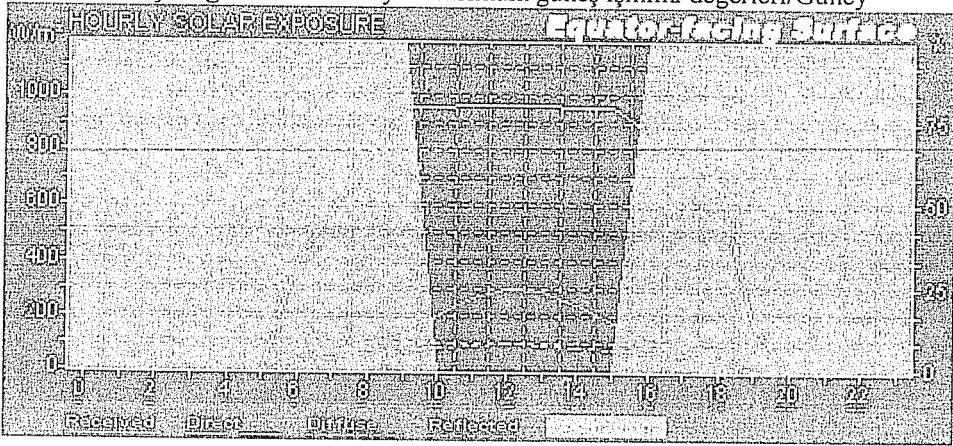
Çizelge 4. Temmuz ayı maksimum güneş ışınımı değerleri/Yatay yüzey



Çizelge 4. Yatay yüzey (horizontal suface): Yaz aylarında güneşin yükseklik açısı 90 dereceye yakın olduğu için, güney cepheye (düşey yüzey) ulaşan güneş ışınları, yer düzlemi ile dike yakın açılar yapar. Bundan dolayı yüzeylere ulaşan ve gri çizgi ile ifade edilen güneş ışınları yatay yüzeylerde, 1050 W/m<sup>2</sup> iken, güney cephede bu değer 300 W/m<sup>2</sup>'e düşmektedir. Bu açıdan yatay yüzeylerdeki gölgeleme için yatay eleman (çardak) faydalı olmaktadır. Bunun yanı sıra doğu ve batı cephelerinde, yani güneş doğarken ve batarken, güneş ışınları eğildiği için, doğu ve batı cephelerinde kalan düşey yüzeylere 800 W/m<sup>2</sup> lik bir değer ile, düşeydeki güney cepheye göre daha fazla güneş ışığı ulaşmaktadır. Kuzey cepheye ise güneşin doğuşu ve batışı esnasında kısa bir süre, 300 W/m<sup>2</sup> civarında güneş ışığı ulaşmaktadır. Ancak beyaz kesikli çizgi ile ifade edilen ve doğrudan kazanılan solar ısının gün içindeki dağılım süreleri ve değerleri yatay yüzeylerde ve güney cephede diğer yönlere göre daha yüksektir. Buna göre, yatay yüzeylerde 9.00-15.00 saatleri arasında 950 W/m<sup>2</sup>, güney cephesinde 10.00-15.00 saatleri arasında 950 W/m<sup>2</sup>, doğu cephesinde 9.00-12.00 saatleri arasında 950 W/m<sup>2</sup>, batı cephesinde 13.00-15.00 saatleri arasında 950 W/m<sup>2</sup>, kuzey cephede saat 9.00 da 950 W/m<sup>2</sup> değerinde solar ısı kazancı olmaktadır.

Gri ve beyaz kesikli çizgi ile ifade edilen solar ısı kazancı, Saat 4.30'da başlamakta, 13.00 civarında en yüksek düzeye, 1100 W/m<sup>2</sup>'e ulaşmakta ve saat 20.00'ye kadar düşerek devam etmektedir. Bu durumda doğrudan kazanılan ısının 950 W/m<sup>2</sup>'e çıkarak (beyaz kesikli çizgi) düzleştiği 09 ve 15 saatleri arasında, yatay yüzeylerde, yatay gölgeleme elemanı uygulamak gerekmektedir.

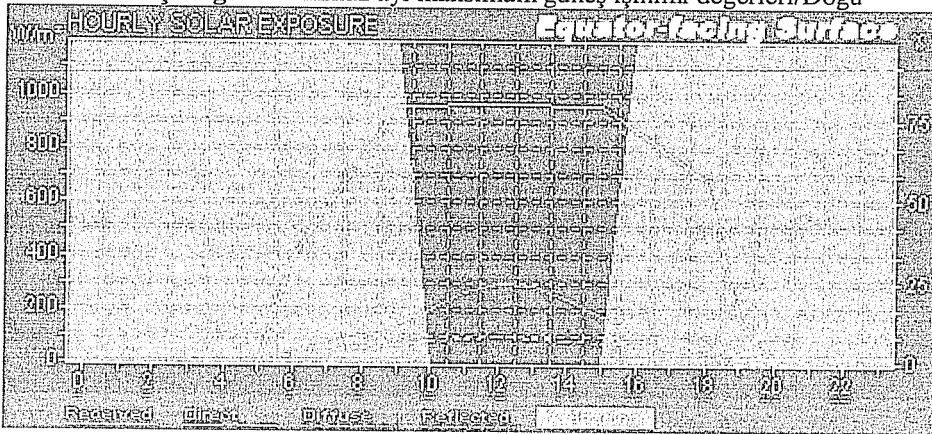
**Çizelge 5. Temmuz ayı maksimum güneş ışıını değeri/Güney**



**Çizelge 5. Güney cephe (equator-facing surface) :** Güney cephede Saat 4.30'da güneş yükselerek, saat 9.30'da en yüksek duruma gelmekte ve solar ısı kazancı saat 15.00'e kadar devam etmektedir. Saat 13.00 de ise gri çizgi ile ifade edilen dikey yüzeye ulaşan solar ısı  $300 \text{ W/m}^2$  ile en yüksek düzeydedir. Çizelgede gri çizgideki en yüksek değerin  $300 \text{ W/m}^2$  ve beyaz kesikli çizgideki değerin ise  $950 \text{ W/m}^2$  olması, güneş ışınlarının dikey durumda yatay yüzeylerde etkili olduğu anlamına gelmektedir. Bu ise güney yönünden gelen güneş ışınlarını kesmek için yatay bir elemana gerek olduğunu göstermektedir.

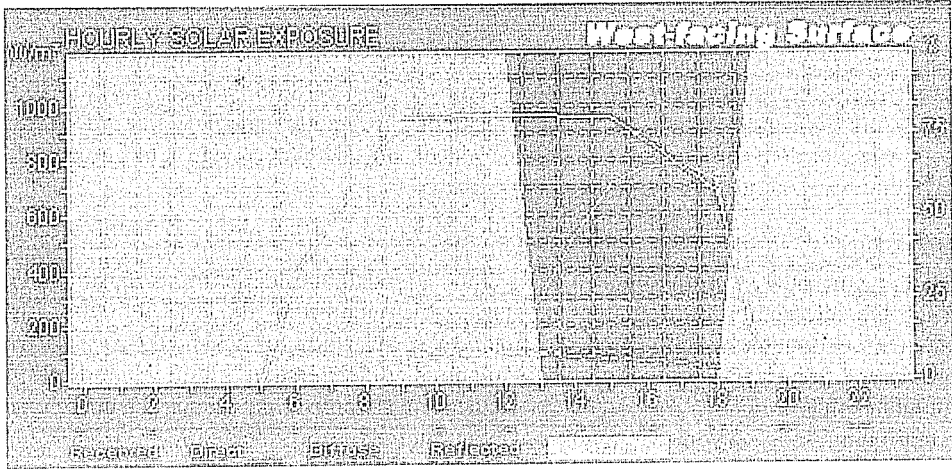
Saat 9.30 ile 15.00 arasında, beyaz çizgi ile ifade edilen doğrudan solar ısı kazancı  $950 \text{ W/m}^2$  düzeyinde olmaktadır. Bu durumda, 9.30-15.00 saatleri arasında ve özellikle saat 13.00'da, güneyde kalan düşey yüzeylere yatay gölge elemanı ile gölgeleme yapmak uygun olacaktır.

**Çizelge 6. Temmuz ayı maksimum güneş ışıını değeri/Doğu**



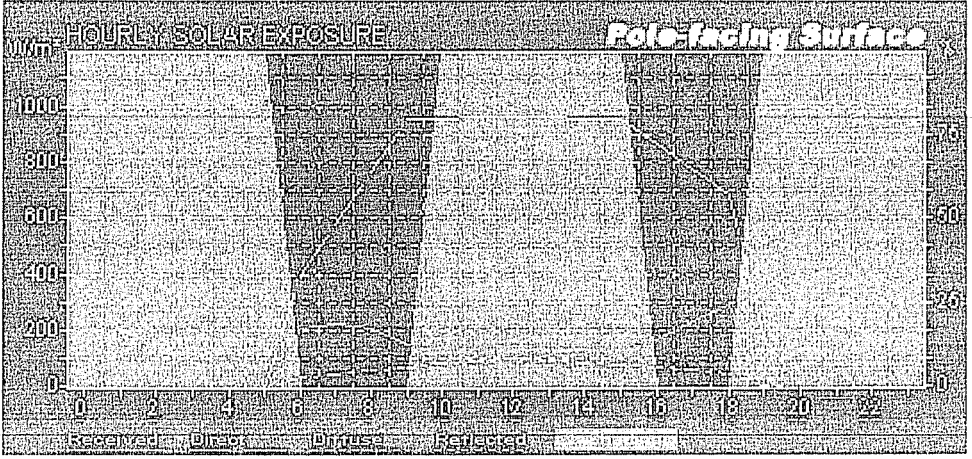
**Çizelge 6. doğu cephesi (east-facing surface):** Doğu cephesinde saat 4.30'da güneş doğarak, 9.00'da 800 W/m<sup>2</sup> ulaşan doğrudan solar ısı kazancı saat 15.00'e kadar aynı düzeyde devam etmektedir. Ancak saat 12.30'da güneşin yönü güneye döndüğü için, doğu cephesinde kalan düşey yüzeylere bu saatten sonra gölge düşmektedir. Güneş güneye dönerken, gri çizgi ile ifade edilmiş doğuda kalan düşey yüzeylere ulaşan güneş ışınları saat 9.00'da en yüksek düzeye, 800 W/m<sup>2</sup>'e ulaşmaktadır. Özellikle saat 9.00'da toplam solar ısı kazancı en yüksek düzeydedir. Bu durumda güneş ışınlarının güneye döndüğü, yani yükselerek doğuda kalan yatay yüzeyleri değdiği 9.00 ile 12.30 saatleri arasında yatay gölge elemanı ile gölgeleme yapmak uygun olacaktır.

**Çizelge 7. Temmuz ayı maksimum güneş ışınımı değerleri/Batı**



**Çizelge 7. Batı cephesi (west-facing surface):** Batı cephesinde 12.30'da, güneş güney yönünden batıya dönerek düşey yüzeylere değmektedir. gri çizgi ile ifade edilen ve batıda kalan düşey yüzeylerdeki solar ısı kazancı saat 17.00'da en yüksek düzeyde, 800 W/m<sup>2</sup> dir. Beyaz kesikli çizgi ile ifade edilen doğrudan solar ısı kazancı ise, 12.30 ile 18.00 saatleri arasında, en fazla düzeyde, 950 W/m<sup>2</sup> olmaktadır. Özellikle saat 15.00'de toplam solar ısı kazancı en yüksek düzeydedir. Bu durumda güneş ışınlarının batıya döndüğü, yani yükselerek batıda kalan yatay yüzeylere ulaştığı 12.30 ile 15.00 saatleri arasında yatay gölge elemanı ile gölgeleme yapmak uygun olacaktır. Saat 15.00'den sonra eğilerek düşey yüzeylere ulaşan güneş ışınlarını kesmek için ise düşey eleman uygundur.

Çizelge 8. Temmuz ayı maksimum güneş ışınımı değerleri/Kuzey



Çizelge 8. kuzey cephesi (pole-facing surface): Kuzey cephesindeki düşey yüzeylerde, sabah 6.00 ile 9.00, öğleden sonra 16 .00 ile 18. 00 saatleri arasında 200-250 W/m2 civarında solar ısı kazancı olmaktadır. Bu saatler arasında kuzeyde kalan düşey yüzeylerdeki toplam solar ısı kazancı düşük bir düzeyde olduğu için bu cephede gölgeleme yapmak gerekli değildir.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, kapsamı oldukça geniş olan “Yapıda güneş denetimi” konusu içinde, dış gölge elemanı tasarımına esas olacak biçimlendirme ilkeleri belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, 37° Kuzey enleminde yaz aylarında iç mekandaki ısı artışı ve parlamayı önlemek için yatay biçimde uygulanmış gölge elemanın bütün yönlerde etkili olduğu tespit edilmiştir. Bu çerçevede hazırlanan Çizelge 9’da Adana’da gölgeleme gerektiren ay, saat ve yönler için gölge elemanı biçimleri görülmektedir.

Çizelge 9. Adana’da gölgeleme gerektiren ay, saat ve yönler için gölge elemanı biçimleri

AYLAR	GÖLGELEME SÜRESİ	YÖN	BİÇİM
HAZİRAN	Gerekli değil	Kuzey	Gerekli değil
TEMMUZ	9.00-15.00 saatleri arasında	Güney	Yatay
AĞUSTOS	Güneşin doğuşundan- 12.00’a kadar	Doğu	Yatay
EYLÜL	Saat 12.00’dan güneşin batışına kadar	Batı	Yatay+Düşey

Bu çalışmada elde edilen bilgiler, gölge elemanlarının tasarımcılar tarafından binaya doğru ve verimli bir şekilde uygulamasını sağlayacaktır. Bunun yanı sıra, ticari olarak piyasaya sunulan, panjur ve tente gibi her türlü gölge elemanın, kullanıcı tarafından seçiminde ve binaya ısıl konfor sağlamasında, bu çalışma bir alt yapı oluşturmuştur.



## 5. KAYNAKLAR

1. Olgyay, V., "Solar Control & Shading Devices", ISBN 0-691-02358 ISBN0691-0818686-7, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1957.
2. Ralegaonkar, R.V. and Gupta, R., "Design development of static sunshade using small scale modelling technique", *Renewable Energy*, 30 (6):867-880, 2005.
3. Sciuto, S., "Solar Control: an integrate approach to solar control techniques", *Renewable Energy* 15 368-376, 1998.
4. Szokolay, S.V., "World Solar Architecture", The Architectural Press, London, 1980.
5. MC Mullan, R., "Environmental Science in Building", Macmillan, ISBN 0-333-49117-3, Hong Kong, 1990.
6. Yener, A.K., "A method of obtaining visual comfort using fixed shading devices in rooms", *Building and Environment*, 34: 285-291, 1999.
7. Miguel, A.F., "Constructal design of solar energy-based systems for buildings", *Energy and Buildings*, 40; 6, 1020-1030, 2008.
8. Shaviv, E., "Design tools for Bio-climatic and passive solar buildings", 189-204, *Solar Energy*, 2000.
9. Cardinale, N., Micucci, M., Ruggiero, F., "Analysis of energy saving using natural ventilation in a traditional Italian building", *Energy and Buildings*, 35, 153-159, 2003.
10. Yüceer, N.S., "Binalarda Güneş Kontrolü Sağlanması Adana Örneği", Doktora Tezi, ÇÜ. FBE, Adana, 2004.
11. Marsh, A.J., "Ecotekt", Cardiff University, Cardiff, U.K., 2007.



**ENERJİ ETKİN BİNA TASARIM TEKNİKLERİ, ADANA ÖRNEĞİ****Nilgün Sultan YÜCEER**

Ç.Ü., Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** Enerji etkin bina tasarımı, binadaki yapı bileşenlerinin “edilgen sistemler” olarak iklimlendirmenin çözümünde kullanılmasıdır. Bu çalışmada, enerji etkin bina tasarım öğeleri Adana iklimi çerçevesinde incelenmiştir. Bu amaçla, tasarım tekniklerinin olası etkileri psikometrik çizelge üzerine işlenmiştir. Böylece enerji etkin bina tasarımının iç mekan konforuna olası faydaları araştırılmıştır. Çalışmanın sonunda enerji etkin bina tasarım teknikleri uygulamasının, Adana’da konfor kuşağı süresini genişletebileceği belirlenmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Enerji etkin bina tasarımı, ısısal konfor, gölge elemanı, edilgen sistemler, bilgisayar destekli tasarım

**ENERGY EFFICIENT BUILDING DESIGN TECHNIQUES,  
ADANA EXAMPLE**

**ABSTRACT :** Energy efficient building design concepts are being used in building structures as “passive tools” for HVAC solution. In this paper, the elements of energy efficient building design have been analyzed according to Adana climate. For this purpose the potential effects of design techniques show on a psychrometric chart. Therefore, the potential benefit of energy efficient building design is investigated for interior comfort. At the end of the study, the time of comfort zone in Adana can be extended by the application of energy efficient building design techniques which have been determined.

**Keywords:** Energy efficient building design, thermal comfort, shading device, passive solar control, computer aided design.

## 1. GİRİŞ

Bir yapının fiziksel çevre koşullarına ve içindeki yaşama uygun bir şekilde planlanmasında, iklim en önemli öğelerden birisidir. Tasarımda iklim değerlendirme, ısı, gün ışığı, rüzgar ve nem kontrolü gibi çok amaçlı çözümleri içinde barındıran bir ana başlıktır. İklimlendirme çalışmalarında, iç mekandaki ısı ve nem değerleri mekanik veya edilgen sistemler aracılığıyla psikometrik çizelge üzerinde tanımlanan konfor kuşağına getirilir (1). İklimlendirme sistematiği içinde, güneş enerjisinden kaynaklanan ısının yapı elemanlarından geçişleri, taşınması ve depolanması edilgen sistemlerin temel mantığını oluşturur (2). Edilgen sistemlerde, binanın yapı elemanları, güneşin sıcaklık etkisinden korunmak veya yararlanmak üzere birer araç olarak değerlendirilir (3). Binadaki pencere, duvar, çatı ve döşeme gibi yapı bileşenlerinin edilgen sistemler olarak iklimlendirmenin çözümünde kullanılması ise enerji etkin bina tasarımı olarak ele alınmaktadır (4). Adana'nın da bulunduğu ılıman iklim kuşağında yer alan yerleşimler için uygulanabilecek enerji etkin bina tasarım öğeleri aşağıdaki gibidir (5).

- Edilgen ısıtma sistemi
- Isı kütlesi etkisi
- Gece-gündüz sıcaklık farkından doğan havalanma
- Doğal havalandırma
- Doğrudan ve dolaylı su buharı serinliği.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma alanı olan Adana kentinde, rüzgar, ısı ve nem etkileri, binalarda konforun sağlanması açısından çok önemli olmasına rağmen, kent ve bina planlamasında yeteri kadar dikkate alınmamaktadır. Bu açıdan Adana'nın sıcak ve nemli ikliminden olumsuz yönde etkilenen geniş yerleşim alanları oluşmuştur. Hatalı olarak tasarlanmış olan bu binalarda, yaz aylarında iç konforu sağlamak amacı ile uygulanan mekanik iklimlendirme sistemleri, önemli ölçüde enerji tüketimine neden olmaktadır. Bunun yanı sıra, kış ayları ılıman geçmesine rağmen ısıtma için tüketilen enerjiden verim alınmamaktadır. Binalarda konforu ve enerji verimliliğini birlikte sağlayabilen tasarım öğelerini konu alan bilimsel çalışmalarda, Adana kentinde iklimsel öğelerin bina planlamasına ne şekilde yansıdığı araştırılarak; enerji etkin bina tasarımı yapılması önerilmiştir (6).

Bu çalışmada, enerji etkin bina tasarım tekniklerinin olası etkileri psikometrik çizelge üzerine işlenmiştir. Böylece enerji etkin bina tasarımının iç mekan konforuna olası faydaları araştırılmıştır. Adana iklim verileri doğrultusunda ele alınan enerji etkin bina tasarım teknikleri Ekotect programı ile analiz edilmiştir. Çizelge 1'de ekotect programının çalışma sistemi görülmektedir (7).

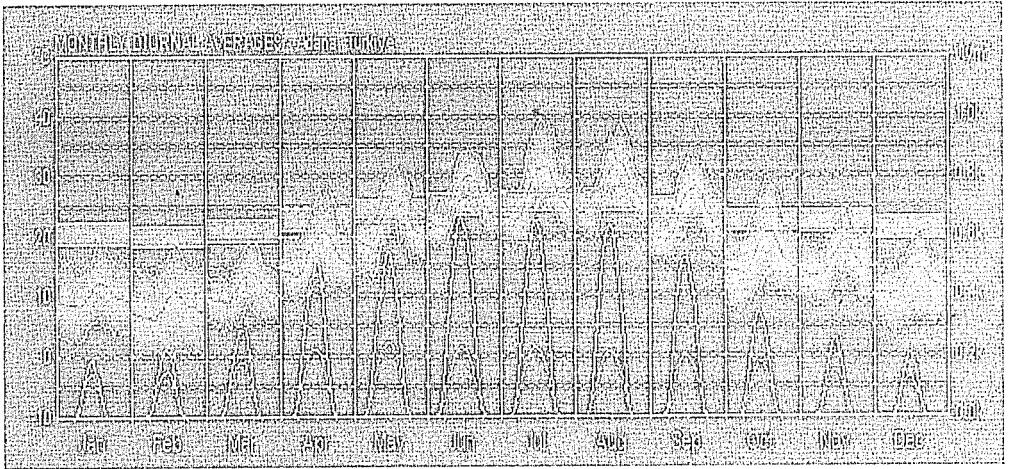
## 3. ADANA İKLİM VERİLERİ VE ENERJİ ETKİN BİNA TASARIM TEKNİKLERİ

Adana iklim verileri doğrultusunda hazırlanmış olan iklim çizelgesi Şekil 1'de verilmiştir. Yıllık ortalama sıcaklık çizelgesinde, koyu gri ile ifade edilmiş eğrisel bant 1 yıllık ortalama sıcaklığı göstermektedir. Gri ile ifade edilmiş düz bant ise, "konfor ortamı" sıcaklığını ifade etmektedir. Dış sıcaklığın, düz bant ile tanımlanan iç konfor sıcaklığı düzeyine getirilmesi; binalarda ısıtma soğutma ve havalandırma çalışmalarının

temel mantığını oluşturur. Şekil 1'den izlendiği gibi, Adana'da kış aylarında ısıtma, yaz aylarında ise soğutma gerekmektedir. Şekil 1'deki çizelgelerde beyaz çizgi doğrudan, kesikli beyaz çizgi ise, yaygın güneş ışınımını ifade etmektedir. Güneş ışınımı, binalarda iklimlendirme çalışmalarının en önemli öğelerinden birisidir.

**Çizelge 1.** EKOTECTv5 programının çalışma sistemi

PROGRAM	İŞLEV	VERİLER	ÇIKTILAR	BİLGİSAYAR ORTAMI
EKOTECTv5	3 boyutlu model ile fiziksel çevre kriterlerinin değerlendirilmesi	Enlem, boylam, iklimsel veriler, bina çizimleri	3 boyutlu gün ışığı, akustik, termal performans modelleri, iklim ve güneş grafikleri	Win. 95, 98, NT, 2000&XP, MAC



**Şekil 1.** Adana iklim verileri, Ecotect v5. (8)

Şekil 1'de izlendiği gibi, Adana'da ortalama sıcaklık değerleri gri bant ile ifade edilen konfor kuşağına yakın olarak seyretmektedir. Bu durum Adana'da ısıtma ve soğutma sistemlerinin şeklini ve yükünü belirlemede önemli bir veridir. Yerleşimlerdeki iklim değerlerinin konfor ortamına yakın olması, binalardaki iç konfor ortamının doğal olarak sağlanmasında veya mekanik iklimlendirme sistemlerinin yükünü azaltmada önemli bir etkidir. Diğer bir değişle, Adana iklim değerleri edilgen sistemlerin binaya uygulanmasına olanak vermektedir. Şekil 2'de enerji etkin bina tasarım tekniklerini Adana iklimini doğrultusunda analiz etmek için Ecotect v5 programında hazırlanmış olan psikometrik çizelge verilmiştir.



Yukarıdaki değerler Ecotect v5 Programın yazılımında konfor kuşağı için esas alınan, ISO 7730-1993 standardına göre belirlenmiştir (9).

Binalarda iç konfor ortamını sağlamak üzere yapılan iklimlendirme çalışmalarında, konfor kuşağı dışında kalan dış hava koşulları için alınması gereken tedbirler belirlenir. Dış ortamdaki ısı ve nem değerlerini, konfor kuşağı içindeki değerlere getirerek konfor kuşağını genişletmek için mekanik iklimlendirme sistemleri veya edilgen güneş kullanımı teknikleri binaya uygulanır (1). Yerleşimlerin iklim değerlerinin Adana'nın ikliminde olduğu gibi konfor kuşağının içindeki değerlere yakın seyretmesi, edilgen güneş kullanımı tekniklerinin binaya uygulanmasına olanak verir.

Şekil 2.'de enerji etkin bina tasarım tekniklerinin olası etkilerinin uygulanabileceği herhangi bir konut binası olduğu kabul edilmiştir. Şekil 2'de konfor kuşağının çevresinde oluşturulmuş tasarım teknikleri öngörülen bu binanın iç konforunu sağlamak üzere belirlenmiş dış hava koşullarını ifade etmektedir. Bu dış hava değerlerinde, mekanik iklimlendirme sistemlerine gerek duyulmadan ısıtma, serinletme ve havalandırma tekniklerinin tümünün bina tasarımı bazında uygulanması, psikometri üzerinde işlenmiş olan konfor kuşağını genişletmektedir. Adana'daki binalarda iç mekan konforunun süresini genişletmek üzere psikometri üzerine işlenmiş tasarım teknikleri ve alınması gereken tedbirler aşağıdaki gibidir.

Edilgen ısıtma sistemi (Pasif solar heating)/ açık gri çizgi : Doğrudan güneş ışınımından kazanılan ısı binanın ısıtılması için kullanılır. Şekil 1'deki Adana iklim verilerine göre, 1., 2., 3., 11. ve 12. aylarda ortalama dış sıcaklık 5-15 C° arasında değişmekte, bazı dönemlerde ise sıcaklık, 0 C° kadar düşebilmektedir. Bu değerler ise Şekil 2.'de açık gri ile çizgi ile gösterilmiş "ısıtılması gereken" dönemlerin yer aldığı kuşakta bulunmaktadır. Bu doğrultuda 1., 2., 3., 11. ve 12. aylarda pencerelere gölgeleme yapmak ısıtma sistemlerinin yükünü artıracaktır (10). Ancak, bu aylarda pencerelerden solar ısı kazanmak enerji verimliliğine katkı sağlayacaktır.

Isı kütlesi etkisi (Thermal mass effects)/ koyu gri çizgi: Dış sıcaklıktan dolayı duvar, pencere vb gibi yapı bileşenlerinin kazandığı ısı iç ortamda sıcaklık artışına neden olur (11). Şekil 1'deki Adana iklim verilerine göre, 6., 7., 8. ve 9. aylarda ortalama dış sıcaklık, 22-40 C° arasında değişmektedir. Adana'da bu aylarda yapı bileşenleri ısı kazanarak, iç ortama "ısı kütlesi etkisi" yapar ve istenmeyen sıcaklık artışına neden olur. Bu ısı artışı aşağı çekmek için, Şekil 2.'de koyu gri çizgi ile ifade edilmiş alan içinde kalan ısı ve nem değerleri tedbirler alınarak, konfor kuşağına getirilir. Diğer bir deyişle, bu aylarda mekanik iklimlendirme sistemleri veya gölge elemanı, yalıtım ve cam alanların küçültülmesi gibi edilgen güneş kullanımı sistemleri ile konfor sağlanır (12).

Isı kütlesi etkisinden faydalanmak isteniyorsa, yapı bileşenleri vasıtasıyla kazanılan ısı, iç ortamın ısıtılması için kullanılarak, binadaki mekanik ısıtma sistemlerini yükü aşağı çekilir (13). Adana için, 1., 2., 4., 11. ve 12. aylarda "ısı kütlesi etkisi" iç mekan ısıtmada kullanılır.

Gece-gündüz sıcaklık farkından doğan havalanma (Exposed mass+night purge ventilation)/ gri çizgi: Gündüz saatlerinde duvar, pencere gibi yapı bileşenlerinde depolanan ısı (ısı kütlesi etkisi), gece havanın soğuması ile birlikte düşmeye başlar (2). Gündüz depolanan ısının soğuma hızı, halı, ve tüm kaplama malzemelerinin emdiği ısı

miktarı ve yerleşimin gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkı fazlalığı doğrultusunda gerçekleşir.

Geceleyin düşen ısıyı, pencereler vasıtasıyla iç ortama alıp, iç mekanda serinleme elde edilir. Gece elde edilmiş bu serin ortamın gündüz tekrar ısınmaması için, pencere ve dış mekana açılan tüm yüzeyler kapatılarak, dışarıdaki sıcak havanın iç mekana girmesi önlenir. Ancak pencereler kapalı dahi olsa, cam yüzeylerde meydana gelen sera etkisi, serin durumda olan iç mekanın ısınmasına neden olur.

Şekil 1'deki Adana iklim verilerine göre 6., 7., 8. ve 9. aylarda gündüz kazanılan solar ısı gece gündüz arasında sıcaklık farkı yaratmaktadır. Geceleyin yaklaşık 10 C° düşen sıcaklığın gündüz saatlerinde iç mekanda sabit tutulması önemli bir serinletme tedbiridir. Şekil 1'de bu aylardaki solar ısı kazancı değerlerinin yüksekliği dikkate alındığında, pencerelere gölge elemanı uygulaması, cam yüzeyler vasıtasıyla kazanılan ısıyı aşağı çekerek, iç mekandaki serin havanın ısınmasını geciktirecektir. Şekil 2'de gri çizgi ile ifade edilmiş dış iklim koşullarına karşı gölge elemanı uygulaması, iç ortamı konfor kuşağına getirmede etken olmaktadır.

Doğal havalandırma (Natural ventilation)/ beyaz çizgi: Bina içindeki havanın hareket etmesi iç mekanı serinletir ve nem oranını aşağı çeker. Adana iklim verilerine göre, 6., 7., 8. ve 9. aylarda ortalama dış sıcaklık, 22-35 C° arasında değişmektedir. Bu aylardaki ortalama nem oranları, (Bağıl nem), %60-70 civarında seyretmektedir. Bu değerler doğrultusunda, bu aylar için Şekil 2'de pembe çizgi ile ifade edilmiş kuşakta kalan iklim değerlerini konfor düzeyine getirebilmek için, serinletme tedbirleri alınmalıdır. Bu serinletme tedbirlerinden birisi, doğal havalanmadır.

Hava, sadece ısındığı, soğuduğu ve itildiği zaman hareket eder. Yönlenme ve hakim rüzgar yönü doğrultusunda oluşturulan iç mekandaki hava koridorları doğal havalanmayı sağlar (14). Bunun yanı sıra bina içinde oluşan basınç farkları havayı iterek hareket etmesini sağlar. İç mekanda, ısınarak hafifleyip yukarı çıkan sıcak havanın tasfiye edilmesi için, kat yüksekliğinin artırılması ve çatı pencerelerinin açılması gibi plan bazında tedbirler alınır. Böylece bu tedbirler ile, Şekil 2'de beyaz çizgi ile belirtilmiş olan kuşakta yer alan dış iklimsel değerler için, doğal havalandırma yapılarak iç mekan konforu sağlanır. Binalardaki doğal havalanmanın büyük bir bölümü pencereler vasıtasıyla gerçekleşir. Bu açıdan, dış gölge elemanlarının kapalı ve sabit olması doğal havalanmayı keser.

Doğrudan ve dolaylı su buharı serinliği (Direct evaporative cooling- Indirect evaporative cooling)/ Gri ve beyaz çizgi: Havanın içindeki nem, buharlaşma esnasında çevredeki enerjiyi emerek serinlik yapar (15). Adana iklim verilerine göre, 6., 7., 8. ve 9. aylarda ortalama dış sıcaklık, 22-40 C° arasında değişmektedir. Bu aylardaki ortalama nem oranları (Bağıl nem), %60-70 civarında seyretmektedir. Bu aylar için Şekil 2'de gri ve beyaz çizgi ile ifade edilmiş kuşaklarda kalan iklim değerlerini konfor düzeyine getirebilmek için, serinletme tedbirleri alınmalıdır. Bu tedbirler, bina çevresinde oluşturulan gölgeleme donanımı, havuzlar, sürekli nemli tutulan toprak ve bitkiler vasıtasıyla elde edilir. Sürekli nemli tutulan toprak, kuru havadaki su buharını artırarak serinlik yaratır.

Şekil 1'deki Adana iklim değerleri incelendiğinde, 4, 5 ve 10. aylardaki ısı ve nem değerleri Şekil 2'de beyaz çizgi ile ifade edilmiş olan konfor kuşağı içinde kalmaktadır.

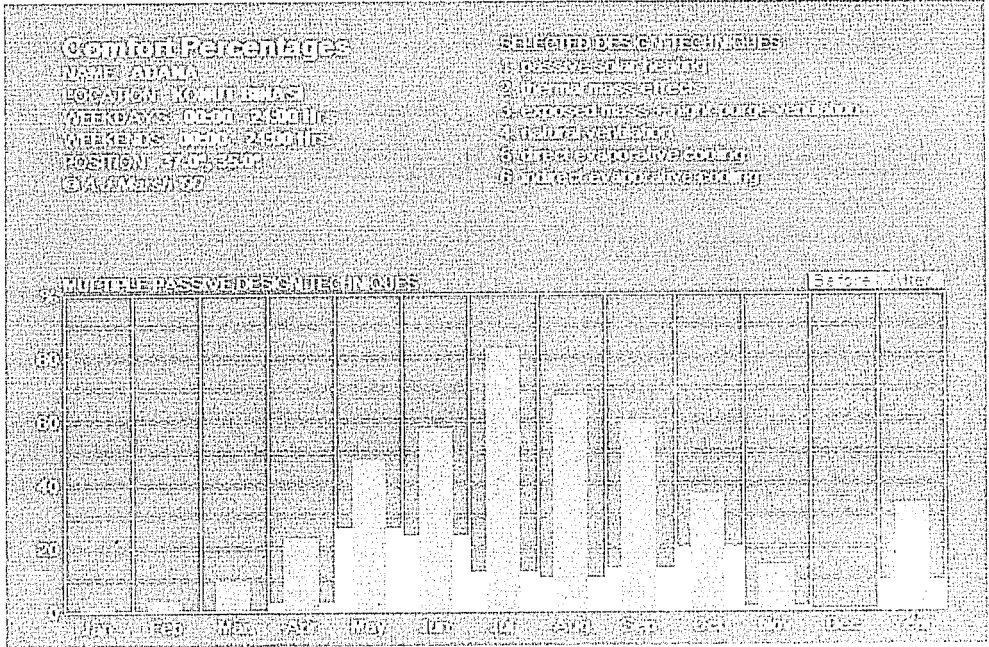


Bu doğrultuda, Adana ikliminde, 4., 5. ve 10. aylarda iç konforu sağlamak için iklimlendirme sistemlerine gerek duyulmamaktadır.

#### 4. TARTIŞMALAR VE SONUÇ

Bu çalışma ile enerji etkin bina tasarımının iç mekan konforuna olası faydaları araştırılmıştır. Şekil 2'de verilmiş olan psikometrik çizelge ile Şekil 1'deki Adana iklim verileri birlikte incelendiğinde, 1., 2., 3., 11. ve 12. aylarda ısı kütlesi ve solar ısıtma ile, 6., 7., 8. ve 9. aylarda doğal havalandırma ve serinletme tekniklerinin uygulanması ile, sadece 4., 5. ve 10. aylarda sağlanan iç konfor kuşağı, tüm bir yıla yayılabilmektedir. Şekil 3'de izlendiği gibi, Adana'da 1 yıl süresince %30 civarında olan konfor kuşağı süresi, enerji etkin bina tasarım teknikleri uygulanması ile yaklaşık %90 oranında genişleyebilmektedir. Şekil 3'de bu tasarım tekniklerinin uygulanması sonucu, genişleyebilen konfor kuşağının önceki ve sonraki durumları görülmektedir.

Şekil 3'den görüldüğü gibi Özellikle 6., 7., 8. ve 9. aylarda bu tasarım tekniklerinin uygulanması sonucu konfor kuşağı süresi, beyaz çubuk ile ifade edilen önceki duruma göre 4 kata yakın genişletmektedir. Bu çerçevede, enerji etkin bina tasarım teknikleri uygulaması, yaz aylarındaki konfor kuşağı süresini %15'den % 75'e kadar çıkararak, enerji verimliliğine katkı yapabilmektedir.



Şekil 3. Enerji etkin bina tasarım teknikleri, gri çubuk tasarım teknikleri uygulandıktan sonraki durum, beyaz çubuk önceki durum.

İklim çizelgeleri ve psikometrik çizelge üzerine işlenen tasarım tekniklerinin konfor kuşağına olası etkilerinin araştırılması sonucunda, enerji etkin bina tasarımının Adana iklimi için oldukça verimli olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak, Çizelge 3'de belirtilen

tasarım teknikleri Adana'da iç konfor ortamının doğal olarak sağlanmasında veya mekanik iklimlendirme sistemlerinin yükünü en aza indirmede en temel planlama öğeleridir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Szokolay S.V., "World solar architecture", John Wiley and Sons Inc, New York, 1980.
2. Wachberger, M., "Güneş ve Konut", ISBN 3-7667-0671-3, Yaprak Kitapevi, Ankara, 1998.
3. Ellis, M.W., Mathews, E.H., "Needs and trends in building and HVAC system design tools", Building and Environment, 37, p461-479, 2002.
4. Foster, M. and Oreszczyk, T., "Occupant control of passive systems: the use of Venetian blinds", Building and environment, 36, 149-155, 2001.
5. Mc Mullan, R., "Environmental Science in Building", ISBN 0-333-49116-5, ISBN 0-333-49117-3, Macmillan, Hong Kong, 1990.
6. Yüceer, N.S., "Binalarda Güneş Kontrolü Sağlanması Adana Örneği", Doktora Tezi, ÇÜ. FBE, Adana, 2004.
7. Marsh, A.J., Ecotekt, Cardiff University, Cardiff, U.K., 2007.
8. TC Devlet Meteoroloji Enstitüsü, 2007.
9. ISO 7730-1993 (sf.XXIII).
10. Arumi-noe, F., "Algorithm for geometric construction of an optimum shading". Automation in Construction, 5 211-217, 1996.
11. İnanıcı, M.N. and Demirbilek, F.N., "Thermal performance optimization of building aspect ratio and South window size in five cities having different climatic characteristics of Turkey", Building and Environment, 35 41-52, 2000.
12. Data, G., "Effect of fixed horizontal louver shading devices on thermal performance of building by TRNSYS simulation", Renewable Energy, 23: 497-507, 2001.
13. Li Danny, H.V. and Lam Joseph, C. "Solar heat gain factors and the implications to building designs in subtropical regions", Energy and Buildings, 32: 47-55, 2000.
14. Capeluto, G.I., Yezioro, A. and Shaviv, E., "Climatic aspects in urban design—a case study", Building and Environment, 38; 6, 827-83, 2003.
15. Rich, P. and Dean, Y., "Element Design", ISBN 07506 31139, Butterworth-Heinemann, Kent, UK., 1999.

## KENTSEL TASARIM KALİTESİ VE MİMARLIK POLİTİKALARI

Serpil ÇERÇİ

Ç.Ü., Mimarlık Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** *Bu çalışmada, "Bir kenti güzel ve kaliteli yapan etkenlerin ne olduğu ?" sorusuna yanıt alabilmek amacıyla, günümüz kentlerinde kimlik, mekansal düzen vb. kalite ölçütlerinin ; Dünyadaki uygulamaları ile, analizi yapılmış; mevcut çalışmalardan elde edilen kullanıcı değerlendirmeleri (yaşadıkları kente dair beklentiler, memnuniyet vb.) esas alınarak, kentsel tasarımda kaliteyi belirleyen kriterler saptanmaya çalışılmıştır. Ayrıca, mimarlık uygulamalarında yüksek kalite, sürdürülebilir kalkınma, mimari mirasın korunarak gelecek kuşaklara aktarılması ve yenilikçi yaklaşımların özendirilmesi gibi standartları yukarıya çekme hedefini hükümet politikalarına entegre etme amacıyla oluşturulan ulusal mimarlık politikalarının irdelenmesi yapılmıştır. Bu çalışmanın, kentsel kaliteyi artırmaya yönelik olarak, Türkiye mimarlık politikasının, (belirlenecek kentsel tasarım kriterlerinin, ülkenin kendine özgü normları ile değerlendirilerek) oluşturulma süreci için bir alt yapı olması amaçlanmıştır.*

**Anahtar Kelimeler :** *Kentsel tasarım kalitesi, kimlik, sürdürülebilirlik, ulusal mimarlık politikaları.*

## URBAN DESIGN QUALITY AND ARCHITECTURAL POLITICS

**ABSTRACT :** *In this study was analyzed with examples of the World of the criterias such as identity, quality in today cities in order to answer to the question "what are the elements which a city has beautiful and quality ; determined the design criterias based on user evaluations (such as expectations, satisfaction about their cities) and examined the national architectural politics performed with the aim to integrate to the government politics" with increasing the standards of architectural applications. In this study, to increase the urban quality, it was aimed as data base for process performing of the Turkey architectural politics also (determined urban design criterias by evaluated with country self norms).*

**Key Words :** *Urban design quality, identity, sustainability, national architectural politics.*

## 1. GİRİŞ

Toplumların kültürel, sosyal, ekonomik ve politik yapısını yansıtan; bir mekânın tanımlanmasına yardımcı olan ve belli özelliği olan yollar, meydanlar, köşeler, yapı veya işaretler vb. (yapay veya doğal) temel elemanlar vardır (1). Çevremizi bir bütün olarak algılamamıza yardımcı olan bu elemanlar, estetikten yoksun ve karmaşık olduğu durumda, insanlara huzursuzluk vererek görsel kirliliğe neden olmaktadır. Çevredeki olumlu gelişmeler yaşantıya, yaşantıdaki olumlu düzelmeler mekândaki kaliteye yansımakta, bu yansıma, bireylerde; eğitim, iş performansı, iç huzur vb. etkileşimle insani erdem ve değerlerin artmasına, bu etkileşimin ise, giderek kalite duyarlı bir yaşam kültürü zenginliği ile donatılmasına olanak sağlamaktadırlar (2).

Kentsel kalitenin önemli bir bileşeni olan "kimlik", fiziki çevre ve yaşam biçimi ile bir bütündür. Toplumsal olarak üretilir ve toplumsal gelişmelere bağlı olarak (tasarımcı, yerel imar kararları vb. etkiler ile) değişim gösterir. Bu nedenle, kimlik, geçmişin korunması ve bugünkü kültürün yaşatılmasına bağlıdır. Uzun bir zaman içinde biçimlenen kent kimliği; (kentnin coğrafi içeriği, kültürel düzeyi, mimarisi, yerel gelenekleri, yaşam biçimi, nitelikleri ve sosyo-ekonomik yapısı ile), bütünde kentin profilini oluşturmaktadır (3-4).

## 2. KENTSEL DEĞİŞİM SÜRECİ İÇİNDE İDEAL KENT MODELİ ARAYIŞLARI

### 2.1 Avrupa

Kent kimliğinin, geçmişten geleceğe bir süreklilik olarak algılanması ve kavranması, kente sahip çıkma, kentlilik bilincine erişme ile yaşatılıp korunabileceğine inanan; Hollanda, Fransa, İngiltere gibi, "bazı Avrupa ülkelerinde", 19. yüzyılın başlarında sosyal merkezler, göl, topoğrafya, manzara ve mahremiyete önem verilerek oluşturulan alanlar, trafik ve benzeri şehirsiz olumsuzluklardan arındırılmış birbiriyle ilişkili, yerleşmeler gerçekleştirilmiştir (5). Süreç içinde, nüfus ve aile strüktüründeki değişimler (hizmetli vb. personelin azalması) ile, kullanıcı gereksinimleri gelişirken, plânlarda da değişimlere yol açarak konut formunu etkilemiştir. Konut seçiminde, çoğunluğun istediği ev tipi, kırsal ve tarihi karakteri olan nitelikte olmuştur. 1922-1935 yılları arasında, akılcı ilkelerle çeşitli kentlerin yeniden organizasyonunu öngören Le Corbusier ; kenti, fonksiyonel bir birim olarak ele almış ve şehirciliğin anahtar fonksiyonları olan dört temel fonksiyonun (oturma, çalışma, dinlenme ve ulaşım) birlikteliğini tanımlamıştır. Le Corbusier'in 'ideal kent modeli'ni oluşturan bu ilkeler, aynı zamanda (kentsel yaşamı yeniden örgütleyen); "modern kent planlaması"nın da ilkelerini taşıyan bir gelecek projeksiyonu öngörmüştür. Böylece, kentsel yapı için; fiziksel ve fonksiyonel bir bütüncüllükle, tüm insanların gereksinmelerinin aynı olacağını ileri süren Le Corbusier, örnek kent ve örnek konut tasarlanması gerektiğini öne sürmüştür. Yaşama mekanları ve tüm sosyal aktiviteleriyle birlikte, tüm yerleşimi, tek bir blokta toplayarak, geniş yeşil alanlar içine yerleştirerek tüm fiziksel ve sosyal ihtiyaçları karşılayan kurgusuyla, blok düzene yeni bir anlayış getirmiştir. Bu anlayış konutun 20. yüzyıldaki en önemli dönüşümü olan 'Nokta Blok'u oluşturmuştur (6). Böylece kullanıcılara geniş mekân, mahremiyet, sessizlik gibi, tek evin üstünlüklerini sağlarken, apartman yaşamının avantajlarını da getirmiştir.



Şekil 1. Berlin Märkisches Viertel Yerleşimi 1963 (7)

Almanya'da, 1945'ten itibaren modernizm öncesi Berlin, ekonomik koşulların dayatmasıyla ve mevcut konut sıkıntısı nedeniyle hızla onarılrken, diğer taraftan da kent gelişimine ilişkin kamuoyunda klasik modernizm ideolojisi hakim olmuş ve mevcut blok geleneği bırakılarak hava, ışık, güneş ilkeleriyle 1920'li yılların anlayışını yansıtan geriye yönelik bir modern mimarlık anlayışı gerçekleştirilmek istenmiştir (Şekil 1) (7a).

İkinci Dünya Savaşı sonrası, nüfus artışı, aile büyüklüklerindeki değişim sonucu, hızlı bir şekilde gelişen konut bölgeleri ulaşım sorununu da beraberinde getirmiştir (8). 1950'lerin olumsuzluklarından sonra sosyal içeriği olan, yeni bir mimari dil geliştirilmeye çalışılmıştır. Gelişen sosyal, kültürel ve çevresel değerlerin etkisiyle "mevcut konut alanlarının değerlendirilmesi" yanısıra, 1960'lardan sonra tasarımcılar, "kullanıcıların da konutları konusunda düşünce ve isteklerini" dikkate almaya ve bazı durumlarda ise, kullanıcı için konut dışı çevrenin, konut içi çevreden daha etkili olabileceği düşüncesi önem kazanmaya başlamıştır. Kent dışı yerleşmelerin (banliyö) sosyal açıdan yetersizliği, kullanıcıların işe gidip gelmek için harcadıkları zamanın çokluğu; kent plânlamalarının, sosyal, kültürel ve ekonomik açıdan olumlu olduğunu farketmelerine ve başarılı konut örnekleri içeren kent yerleşmelerini, çözüm olarak görmelerine neden olmuş ; bu düşünce yüksek yoğunluk ve az katlı yerleşme düzenine yeniden dönüşü beraberinde getirmiştir.

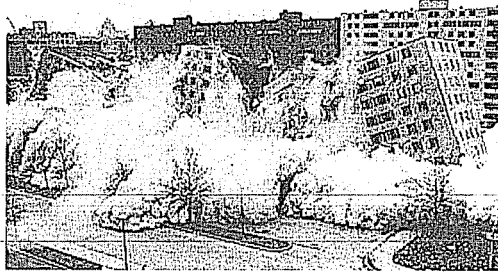
1980'li yıllarda ise, korumaya yönelik kent yenilemesi ve planlaması yaklaşımları ve modern öncesinin yeniden keşfi ile, "Prefabrik" yapılaşmaya paralel olarak "rekonstrüksiyon" adı altında korumaya yönelik önlemler alınmaya başlanmıştır (7b). Örneğin ; İngiltere' de,

.Cam ve çelik stüktürü, havalandırma sistemi, akıllı teknoloji vb. yaratıcı tasarım özelliği ile tasarlanmış, 1887 yılında inşa edilen Kraliyet Royal Botanik Bahçesi ve .Sürdürülebilir malzeme kullanımı ve doğal havalandırma sistemleri kullanılarak tasarlanmış Galler Senato Binası ya da,

.İngiliz İmparatorluğu'nun gücünü temsilen inşa edilen ve 1924 yılında inşa edilen eski Wembley'in imzası haline gelmiş İngiltere'deki Wembley Stadyumuna, (dünyanın en büyük futbol arenası olması için) birçok yeni özellikler kazandırılmıştır.

## 2.2. Amerika

Avrupa'da savaş sonrasında gelişen yüksek ve yoğun yapılaşmanın benzeri yerleşimler Amerika'da da inşa edilmiştir. Dolayısı ile, üstte değinilen sorunlar, Amerika'daki konut yerleşmelerinde de görülmüştür. Bunun en belirgin örneği 1954'te yerleşime açılan ve 20 yıllık kullanım süresini doldurmadan 1972 yılında yıkılan Pruitt Igoe konutlarıdır (8) (Şekil 2).



Şekil 2. St. Louis Pruitt Igoe Konutlarının Yıkımı (8)

Avrupa da olduğu gibi, Amerika da, 1970 sonrasında hızla gelişen yüksek ve yoğun yapılaşma beraberinde, trafiğin artması, kullanıcılar da yakın çevreye karşı yabancılaşma, ait olma, kimlik sorunu gibi sosyolojik ve psikolojik olumsuzlukları da beraberinde getirmiştir. Ancak, öte yandan gelişen teknoloji, kültür, doğa, ekoloji ve kent bilinci artışına paralel bir mimari ile, dünyada söz edilecek çok başarılı yapıtlara da önderlik etmiştir.

Örneğin;

.New York'taki yeni 46 katlı Hearst Binasında (1928); kullanılan çeliğin oranı ve dönüştürülebilir olması, doğal ve yapay aydınlatma oranının sensörler ile ayarlanabilmesi, enerji kullanımı olarak da yeşil mimarinin en iyi örnek (New York'ta "Gold LEED -Leadership in Energy & Environmental Design") ünvanını taşıması, veya .San Francisco daki, Federal Binasında (1929) ; havalandırma sisteminin, bilgisayar ile kontrol edilen ve iklim değişikliklerine göre kendi kendini ayarlayabilen bina kabuğu ile sağlanması, ayrıca, yeşil bina ve sağlıklı ofis ortamı ve çalışanlar arasında daha açık ve iyi bir iletişim için cesur ve sosyal içerikli tasarıma sahip olması gibi benzer özellikte binalar başarılı yapıtlar olarak kabul edilmektedir (9).

Hatta, son yıllarda yapılan araştırmalarla, başarılı tasarımlara ölçüt olabilecek bazı kriterler belirlenmiş olup, bunlardan; RMJM Hillier mimarlık şirketinin, (Amerikan Mimarlık Enstitüsü ve Zogby International ile ortaklaşa) 2008 yılında yaptığı çalışması ile (Şekil 3), "Amerika'nın En İyi Tasarım Kentleri" belirlenmiştir (10). Çalışmada, 500,000' in üzerinde nüfusa sahip olan Amerikan kentleri; toplu taşıma kalitesi, tescilli bina sayısı (sürdürülebilir tasarım bağlamında) ve yaratıcı endüstrilerde çalışan kişi

sayısı gibi, birçok kritere göre değerlendirilmiştir. “Kent sakinleriyle yapılan görüşmeler” de, kentin tasarım faktörünü ölçmek için kullanılmış olup ; Bu faktörler,

-örnek bölge sakinlerinin yaşadıkları ortamdaki beklentilerini, memnuniyetlerini, onların geçmişten gelen üretim ve kültürel ilişkilerini irdeleyen, anket ve gözlemler vb. öznel analizler yanı sıra,  
-kat adetleri, yapı ve yol kaliteleri, doku özellikleri, taşıt ve otopark durumu vb. nesnel analizler ile belirlenmeye çalışılmıştır (10).

.Listenin başına yerleştirilen Chicago kentinde, çok etkin kullanılmayan bir toplu taşıma sistemi bulunsa da, uzun bir geçmişe yayılan ve mimari yeniliklerdeki (yeşil teras, rüzgar tribünleri vb) öncü kimliğini daha da geliştirmesi vb. nedenler ile; kent sakinlerinin % 63’ü kenti “iyi düzenlenmiş ve çekici” olarak tanımlamaktadır.

.Ulusal Tarihi Tescilli bina sayısı, en fazla olan NewYork kentindeki, gelişmiş toplu taşıma ağı, çok sayıdaki tasarım okulu ve öncü yenilikleri, kenti ikinci sıraya taşıyan özellikler olmuştur.

.Çok sayıdaki prestijli tasarım okuluna sahip olması yanı sıra, “sıfır karbonlu çok birimli konut kompleksleri” gibi yeşil yeniliklerin de bulunması, Boston kentini, listenin üst sıralarına yükselten etkenlerin başında gelmiştir.

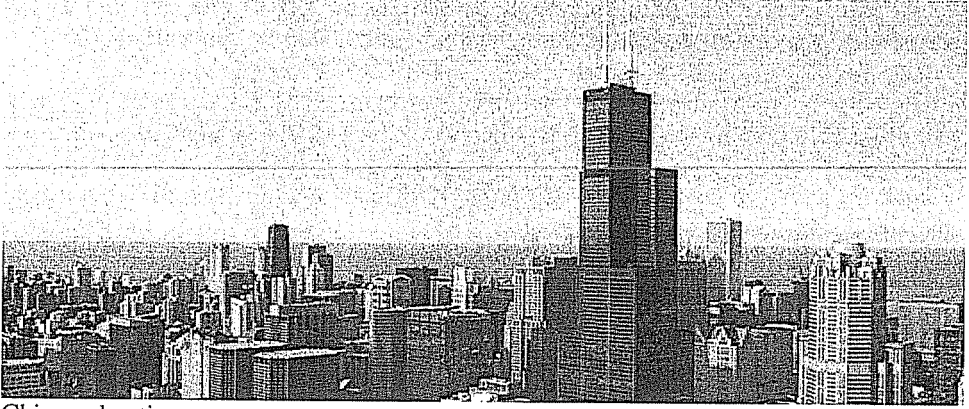
.Düzensiz kentsel yayılması ve kirliliği ile, listeden çıkması gerekir gibi görülse de, aldığı azımsanamayacak sayıdaki “kamusal yapı ve konut tasarım ödülü” Los Angeles kentini, dördüncü sıraya kadar taşıyabilmiştir.

.Listenin nisbeten küçük kentlerinden olan Portland, kentsel yeşil alanlarının bolluğu ile ön plana çıkmaktadır. Kentin mimarlarının, aynı zamanda binalarını yaparken içinde bulunduğu çevreyi de göz önüne alarak kentsel estetiği bozmamaya özen göstermesi vb. nedenlerle, kent halkının %72’si yaşam kalitesinden memnun olduğunu belirtmişlerdir.

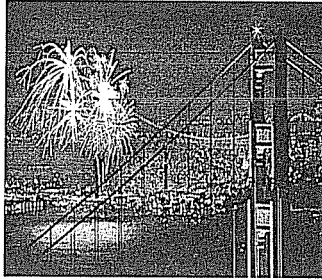
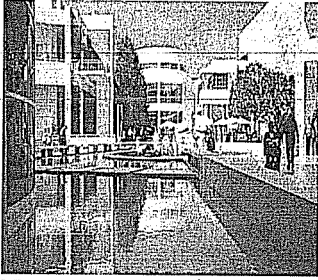
.Sakinlerinin, çevreye duyarlılığıyla ünlü olması ile birlikte, bu konuda bir çok ödülün de sahibi olan San Francisco kentinin üst sıralara çıkmamasına engel olan faktör ise, toplu taşıma sisteminin yetersizliği olmuştur.

.Sürdürülebilir mimari konusunda kazandığı birçok “kamusal yapı ve konut tasarım ödülü” ile ön plana çıkan Seattle kenti sakinleri, %74’ü yaşam kalitesinin “iyi” ya da “mükemmel” olduğunu belirtmiştir. Ancak, kültürel kuruluşlarının ve yapılarının azlığı, listenin daha üstünde yer almasını engellemiştir.

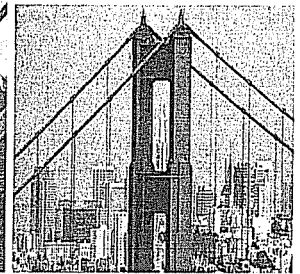
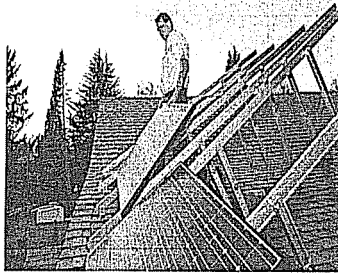
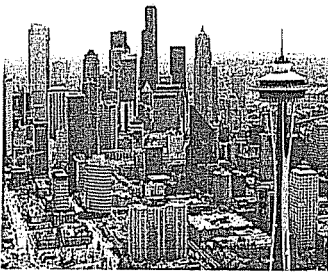
.Son yıllarda kendi bölgesi içinde kültürel bir odak olabilmek için çalışan Denver kentinde, müze sayısının artması ve kamusal sanatın yaygınlaştırılmasının yanı sıra, yöneticilerin 2007 iklim planıyla sürdürülebilir tasarım rehberi hazırlaması dikkat çekmiştir.



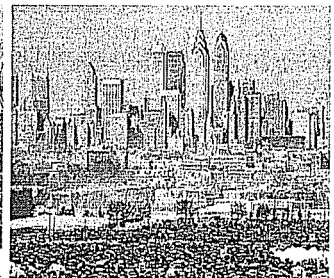
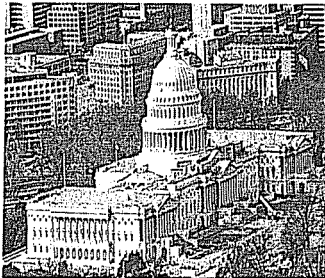
Chicago kenti



New York, Boston ve Los Angeles kentleri



Portland, San Francisco ve Seattle kentleri



Denver, Philadelphia, Washington kenti

Şekil 3. Amerika'nın En İyi Tasarımlı Kentleri (10)



.Bol miktarda tarihi yapıyla iyi planlanmış, kaliteli toplu taşıma sistemi bulunan Philadelphia kenti, eski ve yeni mimari arasında dengeyi kuramadığından listenin gerilerinde kalmıştır. Daha fazla yenilikçi mimariye ihtiyaç duyan kent sakinlerinin yarısı, yaşam kalitesini “iyi” olarak tanımlarken, diğer yarısı ise, “kötü” bulmuşlardır.

.Ülkenin başkenti, müze ve tarihi yapılar açısından oldukça zengin olsa da, sürdürülebilir gelişmeler açısından, tescilli bina sayısınının 27 olması nedeni ile, Washington kenti, listenin gerisinde kalmış olup, 2010 hedeflerine ulaşabilmesi için 4.645 m2 yeşil alanı sağlayabilmesi öngörülmektedir (10).

Kullanıcı değerlendirmelerinin (yaşadıkları ortamdan beklentiler, memnuniyetler vb.) analizleri ile saptanan kriterler ;

- gelişmiş ve etkin toplu taşıma sistemi,
- ulusal tarihi tescilli bina sayısı,
- kentsel yeşil alanların bolluğu,
- kültürel bir odak olabilme, müze sayısının çok olması ve kamusal sanatın yaygınlaştırılması,
- eski ve yeni mimari arasında dengeyi kurması,
- düzenli kentsel yayılma ve temiz çevre,
- yeşil mimari yenilikler ile öncü olma gibi, bilinen kriterler yanı sıra ;
- tasarımcının kentsel estetiği bozmamaya özen göstermesi,
- çok sayıdaki tasarım okulu ve öncü kimliği ile, yaratıcı endüstrilerde çalışan kişi sayısı,
- sürdürülebilir mimari konusunda, birçok “tasarım ödülü” ile ön plana çıkma, vb. kentsel tasarım için pozitif faktörler olarak özetlenebilir.

Endüstri devriminden sonra günümüze kadar gelişen ve dünyada bu kriterleri sağlayan çok sayıda örneklerini verebileceğimiz başarılı tasarımların oluşumuna temel olarak; sosyal, kültürel, ekonomik, teknolojik değişimlerin insanlardaki bilinç ve anlayış değişikliğine neden olduğu söylenebilir. Örneğin ;

- kullanıcıların sürdürülebilir çevre ve yenilikçi mimari konusundaki bilinç artışı,
- kent yöneticilerinin yeşil politikaları uygulaması ve hatta, iklim planıyla sürdürülebilir tasarım rehberi hazırlaması gibi, planlarını kuraklığa dayanıklı peyzaj düzenlemeleri ve geri dönüşümlü malzeme kullanımları vb. daha sürdürülebilir hale getirmeye çalışma çabaları, süreç içindeki bu anlayış ve bilinç değişikliğinin bir sonucudur.

Çağdaş örnekler incelendiğinde ; tasarımlarda, mekân ve biçim anlayışı, malzeme ve teknoloji kullanımı gibi yönleriyle kendi içinde tutarlı bir biçimde yorumlandığı ; akımların ve mekân felsefelerinin yansıtıldığı görülmektedir. Bu özellikleri ile, mekânlar yinelenen değil, herbiri farklı "alternatif mekânlar" olarak ortaya çıkar ve nerdeyse tümü bir yaratıcılık ürünü ve kentli için bir referans noktası olma (11) niteliklerine sahiptir.

### 2.3. Türkiye

“Türkiye”de, nüfus artışı, tarihi çevre kriterlerinin, elemanlarının kaybolması, sağlıksız, niteliksiz mekan artışı, vb. sorunlar ile karşı karşıya kalmış ve eskinin yerine konan yeni yapılar ile, her kentte “aynı görüntüler” oluşmuştur. Evrensel bir nitelik taşıyan, özgün tarihi çevresi ile, İstanbul’da, geçen 45 yıllık süreç içinde yok olan ya da nitelikleri değişen yapılaşmalar görülmektedir (12). Giderek artan tarihi çevrelere zıt yapılaşma, gecekondulaşma, gökdelenleşme, pazar ekonomisi ve nüfus artışı,

beraberinde kimlik kaybını getirmektedir. Arazi değeri arttıkça, kat artırma isteği, kaçak vb. zemin katların yoğun olarak kullanılması, otopark ve dinlenme alanları vb. birçok kentsel sorunları ortaya çıkarmıştır. Daha çok konut yerleşimlerinde görülen bu sorunlar;

- . arsa maliyeti nedeni ile, kent merkezinden uzak, kent strüktürü ile bütünleşmemiş konut alanları ve bu alanların merkezle ulaşım sorunları,
- . ihmal edilmiş otopark, yeşil alan, kentsel donatılar vb. dış mekan,
- . ilk yatırım maliyetini düşürmek için, kullanıcısı ile bütünleşmeyen, standartların altında işçilik ve malzeme düşüklüğü ile yapılan ucuz ve emniyetsiz yapılar,
- . birçok ögenin gelişigüzel bir arada kullanılması ile karışık ve kalabalık ifadeli cepheler,
- . ucuz maliyete dayalı tek tip konut modelleri ile kooperatiflerin yarattığı, monoton ve nitelsiz çevreler,
- . site anlayışında yerleşimlerde, işletme, bakım-onarım sorunları çözülememiş, sağlıksız ve estetikten yoksun konut fazlalığı oluşturan yapılaşmalar, şeklinde ortaya çıkan sorunlardır.

Bu olumsuzluklar yanı sıra ; bazı toplu konutlarla ilgili çağdaş gelişmelerde, ; geleneksel kültür, doğal çevre ve enerji kullanımı, çevre kirliliğine ait duyarlı çözüm olanakları bulunmaktadır (13). Konut dışındaki bazı yapılaşmalar da da, kentsel ve mimari kimlik, malzeme ve teknoloji kullanımı gibi tasarım kriterleri ile dünyadaki iyi örneklerle ulaşılmaya çalışılmaktadır.

Kentsel ve mimari kimlik oluşumu, kent planlama kararları ve koruma kararları ile doğrudan bağlantılıdır. Üstte belirtildiği gibi, gelişmiş ülkelerdeki uygulamaları takip ederek, tasarım kriterlerinin, ulusal düzeyde çözüm getiren plan ve programlar içeren yasa, yönetmelikler ile ele alınması gerekmektedir. Gelişmiş ülkelerde, çoğunlukla mimarlık meslek örgütleri ile hükümet kurumları arasındaki işbirliği sonucunda oluşturulan politikalar; inşaat sektörünün geneli için yüksek nitelikli bir referans çerçevesi çizmeyi hedeflemektedir.

### 3. BAZI ÜLKELERİN MİMARLIK POLİTİKALARI

Ulusal mimarlık politikaları, mimarlık ürünleri ve yapılı çevrenin niteliğinin kamu yararına olduğu düşüncesinden hareketle, mimarlık uygulamalarında standartları yukarıya çekme hedefini hükümet politikalarına entegre etme amacını taşımaktadırlar (14).

Avrupa'da Mimari Kaliteye İlişkin Karar (A Resolution for architectural quality in Europe) 12 Şubat 2001 tarihinde Avrupa Konseyi tarafından kabul edilen bir politika metni olup birlik üyesi içinde yer alan ;

-Almanya da ; mimar, mühendis ve kent plancılarının meslek kuruluşları ile birlikte ve federal eyaletlerin, yerel konseylerin, inşaat ve konut endüstrilerinin temsilcileri ve diğer çeşitli kuruluşların katılımıyla "Mimarlık ve Yapı Kültürü İnsiyatifi" ile kamuoyunda bir diyalog ortamı yaratılarak, alman toplumunun mimarlık ve yapı kültürüne ilişkin beklentilerini içeren "Durum Raporu" nun hazırlanması (Avrupa'da inşaat sektöründeki en büyük paya sahip olması nedeniyle ve Avrupa yapı kültürünün de önemli bir parçasını oluşturmaktadır),

- Danimarka Mimarlık Politikasında; Ülkenin yapılaşma hareketinde mimari kalitenin sürdürülebilmesi için ortak bir çerçevenin izlenmesi,
- Finlandiya Mimarlık Politikasında; Kamu yapılarının inşası ve bakımında yüksek bir kalite düzeyi arayışı, her alanda nitelikli mimarlık ürünlerini ve inşaat süreçlerini desteklemesi, mimarlık eğitim ve öğretiminde araştırma ve geliştirmeye yönelik yenilikçi yaklaşımı ve tarihin bir parçası olarak kabul edilen mimarlık mirası ve yapı çevrenin en iyi şekilde geleceğe aktarılmasının öncülüğünü yapması,
- Fransız Mimarlık Yasası; Mimarlığı kültürün bir ifadesi olarak tanımlayan ve kamu yararı açısından öneme sahip olduğunu ilan eden ve bu yasayla birlikte merkezi hükümet ve kamusal işverenlerin mimarlık konularında bilincini artırmak ve planlamalarına yardımcı olmak amacıyla kurumlar oluşturması,
- Hollanda Mimarlık Politikası; Mimarlığın toplumun her bireyini ilgilendirdiğinden hareketle, mimarlık alanında yapılacak birtakım projelerle ülkenin yeniden biçimlendirilebileceği düşüncesi üzerine kurulması, ve bu kapsamda, çeşitli “Büyük Projeler”in hükümet tarafından organize edilerek uygulanması,
- İngiliz Mimarlar Kraliyet Enstitüsü ; Halka ve politikacılara iyi mimarlığın iyi bir toplum yaşamı demek olduğunu bir kez daha hatırlatılması ve iyi mimarlık politikalarının, daha iyi kamu hizmeti ve daha sürdürülebilir bir toplum getireceği ve bu nedenle de, vatandaşların bu tür politikaları yürüten politikacıları destekleyeceği ana fikri üzerine kurulması,
- İrlanda Politikası; Yüksek kalite, yüksek standartlar, sürdürülebilir kalkınma, mimari mirasın korunarak gelecek kuşaklara aktarılması ve mimarlıkta yenilikçi yaklaşımların özendirilmesinin, politikanın ana bileşenleri olması,
- İtalyan Mimari Kalite Yasası ; Yapılı çevrede mimari kaliteyi yükseltmek amacıyla devlet tarafından bir dizi önlem alınmasının yanı sıra, niteliği artırmak üzere yoğun bir ekonomik ve kurumsal destek verilmesini de öngörmekte, ve bu kapsamda, sanatsal niteliği olan çağdaş mimarlık ürünlerinin ön plana çıkarılması ve tanıtılması hedeflenmekte,
- Malezya Mimarlar Enstitüsü; Malezya'nın topluma yararlı ve estetik açıdan gelişmiş uluslararası ortamda üstün bir yapı çevreye sahip olabilmesi için, ülke hükümetinin bu yöndeki çabalarına katkıda bulunmak amacıyla, mimarlık politikası üzerine bir rapor hazırlayarak ; Raporda, mimarlığın kamusal yaşam kalitesi açısından önemi ; ve nitelikli yapılaşma için izlenmesi gereken mimarlık politikası ; tasarım, inşa yöntemleri ve malzemede yenilik arayışı, kent ve kentsel yaşam çevresi tasarımı, koruma gibi başlıklar ile, vurgulanmaktadır

Ayrıca, Avrupa'da konuyla ilgili ortakların geniş ve şeffaf katılımıyla oluşmuş bir Üye Ülkeler belgesi olan “Sürdürülebilir kentler için Leipzig Şartı”, Avrupa kentlerinin zorlu sorunlar ve fırsatlara sahip olmanın yanı sıra, farklı tarihsel, ekonomik, sosyal ve çevresel birikimler de sergilediklerinin farkında olan “Üye Ülkeler’in Kentsel Gelişmeden Sorumlu Bakanları”, bir kentsel gelişme politikasına yönelik ortak ilkeler ve stratejiler konusunda görüş birliğine varmıştır (15).

Avrupa Mimarlar Konseyi (ACE), siyasi kurumların ekonomi üzerine yoğunlaşan ilgilerini sosyal ve kültürel alanlara da kaydırmaya çabalamakta ve mimarlığın kamu yararına olduğu düşüncesinden hareketle, nitelikli mimarlık ürünlerine ve yapı çevreye ulaşmak için siyasi irade oluşturmaya çalışmaktadır. 20 ilginç ve aynı zamanda önemli

olan bir husus, ACE'nin hem düzenleyici, hem de mesleği temsil eden kuruluşlardan oluşması ve böylelikle, hem meslek kuruluşlarını hem de, mesleği denetleyen kamu kuruluşlarını kapsamaktadır. ACE, mimarlık mesleğinin Avrupa düzeyindeki tek sesi olarak, üyeleri, 31 ülkeden gelen 44 ulusal kuruluşu oluşturmaktadır. Uluslararası ortamda mimarlık meslek alanıyla ilgili gelişmeleri, öncelikle Uluslararası Mimarlar Birliği (UIA) örgütlenmesi içinde izleyen Türkiye Mimarlar Odası, şu anda ACE' de gözlemci üye, ancak, kısa bir süre sonra tam oy hakkına sahip, özel statüde üye konumuna geleceği umulmaktadır (16).

Politikalara hâkim olan güncel konular arasında yüksek kalite, yüksek standartlar, sürdürülebilir kalkınma, mimari mirasın korunarak gelecek kuşaklara aktarılması ve mimarlıkta yenilikçi yaklaşımların özendirilmesi gibi başlıklara yer verilmektedir. Türkiye'nin, Mimarlık Politikasının da ülke mimarlığının kendine özgü değerleri ve sorunları değerlendirilerek oluşturma süreci için benzer politikalar oluşturması gereklidir. Mimarlar Odası, Türkiye'ye özgü bir mimarlık politikasının oluşturulmasının daha nitelikli bir yapıya ulaşılması konusunda önemli bir adım olduğu fikrinden hareketle, bir mimarlık politikası metni üretilmesi konusunu uzunca bir süredir tartışmaktadır ve son iki yıllık dönemde bu konu öncelikli konulardan biri haline gelmiştir. Uluslararası bağlamdaki gelişmeleri de göz önünde tutarak, hem ülkemize özgü özellikleri dikkate alacak hem de uluslararası ortamda kabul görececek bir metnin üretilmesi amaçlanmıştır. Helsinki'de yapılan toplantılar sırasında, Türkiye Mimarlık Politikası oluşturmaya yönelik çalışmalarını katılımcılara aktaran ve başvuruda bulunan Mimarlar Odası, Avrupa Mimarlık Politikaları Forumu'nun hem Yürütme Kurulu'na üyesi oldu, hem de Genel Kurul'da oy verme hakkına sahip olmuştur (17).

#### 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Kalite ve kimlik arayışları açısından önemli katkılar sağlayan tarihi kent mekanlarının ve yöresel özelliklerin önemli olduğu bir gerçektir. Ancak, yukarıda görüldüğü gibi, zengin bir tarihsel birikime sahip olmayan ülkelerde bile ; değerlerine sahip çıkma ve turizm yoluyla öne çıkararak ekonomik kalkınmanın sağlanması ve kentlerin bir bütün olarak imajının yükseltilmesi anlayışı benimsenmiştir.

Türkiye'deki kentlerin sahip olduğu geçmişteki değerleri, zengin birikimi ile; çeşitli aktivitelerin odağı haline getirilebilecek evrensel kent niteliği potansiyeli taşıdığı bir gerçektir. Ancak, kentlerimizde, bugün, yok olmaya yüz tutmuş değerler, tarihi doku ile kültürel bir çevre, kentsel mekan vb. kent kültürünü ve kimliğini yansıtacak bir olgudan söz etmek mümkün değildir. Günümüzde, yatırım amaçlı konut isteklerinin geçerli hale gelmesi vb. nedenler sonucu, sunulan konut modellerinin yetersiz ve sağlıksız çevreler yarattığı ve bunun sonucunda da hızlı bir kimlik kaybının yaşandığı gözlenmektedir. Plânların kısıtlayıcı, emredici ve teferruatçı olması, daha güzel bir çevre oluşturmak fikrinin yerine, daha çok kazanmaya yönelik kısa vadeli çıkarıcılık fikrinin ön plâna çıkması ile insanlarda daha kişilikli ve güzel bir çevrede yaşama bilinci kaybolmuş ve bunun sonucunda da insanlar çirkinlikleri yadırgamaz olmuşlardır (18). Bu nedenle, kentlerin bir bütün olarak imajının yükseltilmesi ve kent kimliğinin kazandırılması için, geçmişte sahip olduğu, kültürel, sosyolojik ve fiziksel değerlerden yola çıkarak günümüz yapılaşmalarını analitik bir yaklaşımla karşılaştırılması

yapılmalıdır. Türkiye’de kentsel kaliteyi olumsuz etkileyen sorunların daha çok konut alanları ile ilgili olması nedeni ile yapılması gerekenler aşağıda özetlenmiştir ;  
 .konut dışı alanların kaderine terk edilmesi ve artık alanlar olarak kalması yerine mekanın toplumsallığının önemini kavramalı,  
 .iç mekan kurgularında kayıp ve esnek olmayan alanların oluşmamasına özen göstermeli,  
 .güneş, rüzgar olanakları vb. doğal enerji kaynakları, rasyonel kullanılmalı,  
 .konut tiplerindeki çeşitliliğe uyumlu renk ve modeller oluşturmalı,  
 .parsel içindeki bahçe ve otoparktan maksimum yararlanma olanağı sağlanmalı,  
 .evleri diğer kentin evlerinden ayıran karakteristik özellikler ile yöresel tarz korunmalı,  
 .nüfus yapısı, kentleşme hızı (2) oranına uygun olarak, kat mülkiyeti kanunu ve kentsel tasarım ölçeğinde yaya yolu, trafik yolu oranı, aktif ve pasif yeşil alan miktarı, rekreasyonel olanaklar ve erişim kolaylığı sağlanmalıdır (19).

“Bir kenti güzel yapan etkenler”i bulup çıkarmaya olanak sağlayabilecek; kullanıcı kişi yada grupların, sosyo-ekonomik yapısı ile çevre kalite duyarlılığı, kente, tarihsel yapılara sahip çıkma bilinci, malzeme ve teknoloji vb global kültürden etkilenme düzeyi oldukça önemlidir. En başta ise, yerel yönetim, kent plancısı ve mimarların çevreyi, doğayı algılama bilgi ve becerisini artırmak gerekmektedir. Bunun için de “çağdaş modern mimarlığı ve türk kültürünü iyi tanıyan ve bu kültür içinde yer alan mimarlığın temel özelliklerini, felsefesini, karakteristiklerini öğrenmiş mimarlar” (20) yetişmesi, bilimsel araştırmalar ve bulguların anlaşılır olması, sorunun tanınması, anlatım dilinin yalın olması, halka kredi olanaklarının verilmesi, korunan yapıda vergi indirimi vb. teşvik fonlarının oluşturulması gerekli olmaktadır. Bu anlamda tarihsel, kültürel ve sanatsal anlamda kentlerin çekim merkezi haline getirilmesini teşvik eden politikaların geliştirilmesi kaçınılmaz olmaktadır. Finansal olanakların yetersizliği gibi görülerek girişimlerin engellendiği, bu konuda ilk olarak, uygun bir organizasyon ve yönetim modeli çerçevesinde, sadece bu konu ile ilgilenecek profesyonel ekiplerin oluşturulması gerekmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Lynch,K., “The Image of the City”, Cambridge, Harward University, Press, 1960.
2. Koç,H., “Kaliteli Yaşam Çevreleri Arayışında, Mimarlıkta Kalite”, Yapı ve Yaşam 98, Kongre Kitabı,. TMMOM, Mimarlar Odası Bursa Şubesi, 1998.
3. Wiberg, U., “Medium Sized Cities and Renewall Strategies”, The Journal of the Regional Science Association International, April, Volime 72, s.140, 1993.
4. Antrop,M., “Why Landscapes Of The Past Are İmportant For The Future” Full-Text @ Cukurova,LandscapeandUrbanPlanning, Elsevier, 2005.
5. Choay,F.M., Hugo,GR Collins “The Modern City: Planning in the 19 Century. Title of Series.Planning and Cities, 1970.
6. Aslı,Z., “Housing Typologies In The Context Of Urban Utopias”, G.Ü. Fen Bil.Dergisi. 17(4): 133-147 (2004) ISSN 1303-9709 G.U. Journal of Science 17(4):133-147, 2004.

- 7a. Arın, C. (b), "Kent Tarihi, Sanayi Devrimi Kenti Berlin: Kent Gelişimi Sürecine Bir Bakış", *Mimarlık Dergisi*, sayı 314, Kasım-Aralık 2003.
- 7b. Arın, C. (a), "Kent Tarihi, Sanayi Devrimi Kenti Berlin: Kent Gelişimi Sürecine Bir Bakış", *Mimarlık Dergisi*, sayı 313, Eylül-Ekim 2003.
8. Newman, O., "Defensible Space: Crime Prevention Through Urban Design", Macmillan Pub Co, 1973.
9. <http://www.insaatim.com/Forum.asp?forum=oku&msgid=79&yanilik=1>
10. RMJM Hillier Communications, "America's Best Cities for Design", An independent ranking of the best large cities in the U.S. for architecture, sustainability, and transit, 2008.
11. Altaş, N.E., "Dış Mekanı Yaşamak", Yapı, Sayı 143, 1993.
12. Akın, N., "İstanbulun Tarihi Çevrelerinde Kimlik Değ. ve Yitirilen Çevresel Kalite" İTÜ.
13. Gür, Ş.Ö., "Mekan Örgütlenmesi", Gür yayınevi, ISBN: 9789759590604.
14. Tağmat, T.S., Avrupa Mimarlar Konseyi Politika Kitabı, Mimarlık & Yaşam Kalitesi, Mimarlar Odası Yayınları, Ankara, 2004.
15. "Sürdürülebilir Avrupa Kentleri için LEİPZİG ŞARTI", Mimdap, ACE Konferansı "Geleceği Tasarlamak".
16. Architect in Peckham, LONDON (UK) - ACE Architects Partnership LLP With many years experience in the field of Architecture and Construction, ACE Architect Partnership LLP is a business, 4 Nov 2008.
17. TMMOB "Türkiye Mimarlık Politikası'na Doğru", Mimarlar Odası Avrupa Mimarlık Politikaları, 2008.
18. Şahin, İ., "İstanbul Planlama Süreci İçinde Planlamanın Tarihi ve Kültürel Miras ile Kent biçimi ve Kimliği Üzerine Etkileri", Mimari ve Kentsel Kalite Sempozyumu, İ.T.Ü. Haz. s. 42, 1995.
19. Özen, H., "Günümüz Kentlerinin Kimlik Arayışı İçinde Tarihsel Kent Mekanlarının Rolü", KTÜ.
20. Kortan, E., "Türkiye Mimarlığında Geleceğe Bakış Looking The Future In Turkish", Türkiye Cumhuriyeti Mimarlığın 75 Yılı. Siegfried Giedion, Space, Time.

## ENERJİ TASARRUFU İÇİN BİR “GÜNEŞ EVİ” ÖRNEĞİ

Serpil ÇERÇİ ve İbrahim ŞAHALİ  
Ç.Ü., Mimarlık Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** Bu çalışmada güneş enerjili bir konut tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı olarak ; Türkiye genelinde, uzun güneşlenme süresine sahip olan ve en az ısı kaybı yaşanan bölge olması nedeni ile, Adana kenti seçilmiştir. Çalışma da, 'Model bina' nın planlama aşamaları ve mekansal düzenlemelerle ilgili genel bir değerlendirme yapılmış, yaz ve kış aylarındaki ısı kaybı ile eş zaman aralığında ısı kazancının oranı hesaplanmış ve rakamlarla belirtilmiştir. Bu ve benzer çalışmaların enerji geleceğinde, çok önemli bir yeri olan, 'güneş enerjisi'nin etkin ve yaygın bir şekilde kullanılması yönünde yardımcı olacağı düşünülmüştür.

**Anahtar kelimeler :** Güneş enerjisi, güneş evi, alternatif enerji, Adana

### A MODEL SOLAR HOUSE FOR SAVING ENERGY

**ABSTRACT :** In this study was designed a house which has solar energy. As study area was chosen Adana city which have long solar time and least temperature lossing In study, it was performed a general evaluation about functional organization and planning stage of sample house. It was calculated the ratio of temperature lossing and gaining in summer and winter months and explained with number. It has been thought it may aids to the comman and effect use of solar energy in the energy future.

**Key Words :** Solar energy, solar house, alternative energy, Adana

## 1. GİRİŞ

Tükenen enerji kaynakları karşısında, ülkeler alternatif enerji arayışına girmiştir. Alternatif enerji olarak yapılarda rüzgar enerjisi, güneş pilleri, güneş enerjisi, kojenerasyon, jeotermal enerji, biokütle, yoğunlaşma kazanlar, vb. kaynaklar kullanılmaktadır (1). Bu alternatif enerji kaynaklarının en önemlilerinden birisi de, güneş enerjisidir (2). Dünyaya güneşten saniyede yaklaşık  $4.10^{26}$  J lük bir enerji, ışınlamalar ile gelmektedir. Güneşin çevresine yaydığı toplam enerji göz önüne alındığında bu çok küçük bir değerdir. Ancak bu değer, dünyada insanoğlunun bugüne kadar kullandığı toplam enerjinin 15-16 bin katıdır (3). Bu nedenle, güneş "insanoğlu için tükenmez bir enerji kaynağıdır" denilebilir. Ayrıca yeşil bir enerji kaynağı olup doğayı kirletici hiçbir özelliği yoktur (4).

Günümüzde, bu enerji kaynağına dayalı 'Yeşil Mimarlık' veya 'Ekolojik Mimarlık' anlayışı gelişmiştir. Bu mimarlık türü, biosferin ekolojik sistemlerine zarar vermeden entegre olabileceği tasarrufa dönüştürerek tekrar kullanmaya ve çevreye zararlı atık üretmemeye özen gösteren yaklaşımlar olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşımların yararları ;

.Sınırlı ve kirleten enerji türlerinde tüketimin azaltılması, temiz ve yenilenebilir enerji türlerinden daha fazla yararlanma,

.Ekosistemlerin korunması, ve

.Kullanıcı sağlığının korunması olarak özetlenebilir (5).

Güneş enerjisi, bugün (ısı ışınlarının, ısı biriktirmenin ve ısı dağılımının fiziksel kanunları olan) basit teknolojilerle büyük yatırımlar istemeyen, iklim şartlarına uygun olarak planlama ve inşa etme işlemidir (2). Güneş enerjisi, bina ısıtmasında aktif, pasif ve karma olarak üç şekilde kullanılmaktadır.

Güneş ışınlarının 'aktif kullanımı : Güneş kolektörleri 'toplaçlar' aracılığı ile ısıtılan sıvı (su,yağ vb.) maddelerin, kullanılabilir ısı haline çevrilmesi ve daha sonra ısı pompası yoluyla, ısıtılacak ortama iletilmesi şeklinde olmaktadır (6).

Güneş ışınlarının 'pasif kullanımı : Güneş ışınlarının çatılardan veya şeffaf cephe elemanlarından içeriye girmesi ile masif yapı elemanları içinde depolanması ve oradan da faz değişimi (hava akımı) ile mekanlar içerisine iletilmesi şeklinde olmaktadır (7). 'Pasif güneş enerjisi sistemi' ile yapılması düşünülen bir binanın yer alacağı bölgede yapılan araştırmalar; güneş enerjisi sistemine yardımcı olacak 'aktif sistem'lerin eklenip eklenmeyeceğini belirler. Bu bilgilere dayanarak binanın, yerleşim, mimari, ısıtma ve soğutma sistemlerinin projeleri hazırlanır (8).

Güneş enerjili yapı projelerinin ilk yatırım maliyeti, uygulama biçimine ve uygulanacak pasif sistemin büyüklüğüne göre, bina maliyetine %5-10 arasında ek maliyet getirmektedir. Ancak elde edilen enerji tasarrufu sayesinde, bu ek maliyet 3 ila 5 yıl içinde geri kazanılmaktadır. Daha sonra binanın enerjisinde yaşam boyu tasarruf sağlanmaktadır. Bu nedenle, ısıtma ve soğutma sistemleri içinde, güneş enerjisi uygulamasının en ekonomik yöntem olduğu düşünülmektedir. Bu konunun bilincinde olan ülkelerde, mimari anlayışlar bu enerjiye dayalı olarak şekil almaya başlamış ve bu konu dünyada yaygın olarak uygulamaya geçerek, geniş kapsamlı projeler yapılmaktadır. Güneş enerjisi sistemleri ;

. müstakil ev

. küçük kent ölçeğinde



. apartman (2) tasarımları şeklinde üç ana sınıfta toplanmıştır.

Almanya gibi çok az güneş gören ve genelde karlı olan bölgelerde dahi, ev, apartman ve kent ölçeğinde, güneş enerjili bina uygulamaları yapılmış ve %60'lara varan oranlarda başarı sağlanmıştır. Bazı kuzey Avrupa ülkelerinde ise, enerji birikimi, ısının geri alınması, pasif güneş tasarımı, özel camlar, yalıtım vb. teknolojilerle önerilen yeni bina kurallarına göre, kış ısıtması için gerekli olan enerji miktarı azaltılmaktadır. Son 20 yılda bina çatıları ve duvarlarda özel cam, yüksek performanslı pencereler, güneşe dayanımlı ısıtma ve elektrik üretim sistemleri vb. yeni enerjiyle ilişkili, devamlı olarak bir biçim değişikliği ile karşılaşmaktadır (9,10) .

Gelişmiş ülkelerde güneş enerjisi ile ilgili konularda devlet tarafından, şirketlere destek verilmektedir (11,12). Şirketler de üniversitelerdeki yüksek lisans ve doktora tezlerine büyük önem vererek, bu araştırmalara maddi kaynak sağlamaktadırlar. Böylece, bu yöndeki çalışmalar çok yönlü olarak araştırılıp uygulamaya konulmaktadır. Bu nedenlerden dolayıdır ki, bugüne kadar dünyada geliştirilen güneş enerji sistemleri en yaygın olarak mimarlık alanında kullanılmış ve bugün birçok ülkede on binlerce "güneş enerjili bina" yapılmıştır. Bu ülkelerde güneş enerjili bina yapmak için gerekli altyapılar kurulmuş, bilgisayar sistemleri geliştirilmiş ve uzun vadeli kredi imkanları verilmiştir. Hatta, son yıllarda, Uluslar Arası Enerji Acentası "düşük enerjili güneş binaları" üzerine çok sayıda üretime sponsor olmuştur (9).

Türkiye' de yıllık güneşlenme süresi diğer Avrupa ülkelerine göre çok daha uzundur ve birim alana düşen güneş enerjisi miktarı "güneş enerjili yapı proje" lerinin uygulanması için yeterli düzeydedir. Bu bağlamda, Türkiye'nin her bölgesinde 'güneş enerji'li sistemlerden yararlanılabilir. Ancak, Türkiye'de düşen güneş ışınlarının sadece binde ikisi 'kullanılabilir enerji'ye dönüştürülmekte (çok yaygın olarak, sadece sıcak su temini için kullanılmakta) ve bu amaçla yılda 500.000 m<sup>2</sup> den fazla emici (absorber) yüzeyli güneş kolektörleri uygulanmaktadır (1). Ne yazık ki, güneş enerjili yapı uygulamalarının getirdiği avantajlar göz ardı edilerek; alternatif enerji kaynaklarının sadece (işletme maliyetleri hesap edilmeden) ilk yatırım maliyetlerine bakılmakta ve sonuç olarak da enerjinin dışa bağımlı kaynak payını her geçen gün artırmaktadır. Bu bağlamda, yerli, yeni ve yenilenebilir enerji politikalarına destek temel alınarak, enerjideki dışa bağımlılığı azaltabilecek ve giderek ortadan kaldıracabilecek (planlama, üretim ve denetim aşamalarına) veri tabanının artırılması önemli görülmektedir.

## 2. GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLİ BİR KONUT MODELİ

2001 yılında hazırlanan bir yüksek lisans çalışması olarak ele alınan bu araştırma için, güneş enerjisinin maksimum kullanılması ile, enerji tasarrufu sağlanabilecek bir konut modeli tasarlanmıştır (2). Uygulama alanı olarak; coğrafi konumu içerisinde Türkiye genelinde, uzun güneşlenme süresine sahip ve en az ısı kaybı olan Adana kenti seçilmiştir. Çukurova Üniversitesi Balcalı kampüsü içinde yörenin iklimsel koşullarına uygun olarak hazırlanan projede; güneş enerjisinden maksimum yararlanma ile, enerji tasarrufunun, hiçbir mekanik yardımcı (soba, kalorifer, klima, ısı pompası, vb.) cihazlar olmadan, yalnızca fan ve küçük boyutta normal su pompası kullanılması ile, mekan içerisinde, oluşturulması düşünülen konfor iklimasının sağlanabilirliği amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın Çukurova Üniversitesi Balcalı kampüsü içinde yapılmasının nedenleri;

1. Konutun yapılacağı alanın yanında, daha önce uygulaması yapılmış olan ‘Güneş evi Binası’na fonksiyonel katkı oluşturacağı (her iki binaya da, konuk evi ya da kış ve yaz aylarında güneşlenme zamanları ve değerlerinin ölçülmesi amacı ile, bir araştırma merkezi fonksiyonları yüklenebilir)

2. Yaz aylarında Seyhan baraj gölündeki suyun buharlaşması nedeni ile, bina yakın çevresinde oluşacak nemli ve soğuk havanın, bina iç mekanlarının soğutulmasına yarar sağlayabileceği; şeklinde düşünülmüştür.

Adana’da güneş enerjisi sistemlerinin sıcak su gereksinimi için, yaygın olarak kullanılması nedeni ile, halkın güneş enerjisi ile ekonomik kazanç sağladıkları bilinmektedir. Bu nedenle, güneş enerjisinin diğer kazanımlarını da, halkın daha kolay kavrayabileceği, dolayısı ile, bu örnek bina ile, bu yönde taleplerin olabileceği umulmaktadır.

## 2.1. Araştırmanın Yöntemi

"Güneş enerjili model konut projesi" nin enerji tasarrufu sağlayabilmesi açısından ; Adana’nın bölgesel olarak iklim verileri (güneş radyasyon verileri) .Yaz ve kış aylarındaki ısı kaybı ve aynı zaman aralığında ısı kazancı oranının hesaplanmasına dayalı olarak yapılmıştır.

Güneş radyasyon verileri, bu verilerin yönlere göre değişimleri, kış aylarında en düşük; yaz aylarında en büyük dış ortam verileri ve güneş ışınları ile yüzey arasındaki açının hesabı, (dünya üzerindeki herhangi bir noktanın enleminin bilinmesi ile, o nokta üzerine gelen güneş ışınları ile, yüzey arasındaki açının bilinmesi gerekmektedir)(13). Adana bölgesinin iklim verileri : yaz aylarında en sıcak ay ‘temmuz’; kış aylarında en soğuk ay ise, ‘aralık’ ayı olarak kabul edilmektedir. Temmuz ve aralık aylarında, 36° kuzey enlemi üzerinde bulunan binaların camlarından geçen güneş radyasyonunun, saatlere göre değişim değerleri bilinmelidir (Çizelge 1) (14).

Dünya üzerindeki herhangi bir noktanın enleminin bilinmesi ile, o nokta üzerine gelen güneş ışınları ile yüzey arasındaki açının saptanması mümkündür (13)(Çizelge1). Adana’nın dünya üzerindeki konumunun da, 36° kuzey enlemi ile 35° doğu boylamının kesiştiği noktada olduğu bilindiğine göre ; Adana üzerine gelen güneş ışınlarının, yüzeye olan açısının, saatlere göre saptanması mümkündür. Bu saptamayı yaparken, Çizelge 1 de verilen 36° kuzey enlemi üzerinde olan bölgelerin güneşlenme haritasından yararlanılmıştır (Çizelge 2). Bu haritaya göre, Adana üzerine, aralık ayında saat 12.00 de gelen güneş ışınlarının yeryüzü ile yaptığı açı yaklaşık olarak 27° olduğu saptanmış olup bu veriler doğrultusunda tasarım yapılmıştır.

## 2.2. Model Binanın Planlama Aşamaları

Pasif güneş enerjisi sistemli örnek bina projesi, minimum dört, maksimum altı kişilik bir konut şeklinde tasarlanmış olup, planlama aşamaları iki farklı şekilde ele alınmıştır.

1. aşama : Bina iç mekan organizasyonu, ve yönlenmeye bağlı olarak geliştirilen kat planlarının tasarlanmasıdır.

2. aşama : Amaçlanan enerji tasarrufunun sağlanması için pasif güneş enerjisi sistemlerinin seçilmesi ve binaya eklenmesi ile birlikte çalışma şeklinin açıklanmasıdır.

Bu duruma göre ;

- . Kış aylarında, bina iç mekanlarında ısı kazanımı için,
- . Yaz aylarında, bina iç mekanlarında ısı kaybı için, kullanılacak pasif ve karma güneş enerjisi sistemlerinin yerleştirilmesi ve çalışması, şeklinde planlanarak bina iç konfor kliması oluşturulmuştur. Isı hesaplarında ısı kayıplarının minimum, ısı kazançlarının ise, maximum düzeyde tutulması durumuna göre binanın formu şekil almaktadır.

**Çizelge 1.** 36° Kuzey Enlemi Üzerinde Bulunan Binaların Camlarından Geçen Güneş Radyasyonunun Saatlere Göre Değişim Değerleri (13)

### Temmuz Ayı

Yön	Saat 6	Saat 7	Saat 8	Saat 9	Saat 10	Saat 11	Saat 12	Saat 13	Saat 14	Saat 15	Saat 16	Saat 17	Saat 18
<b>K</b>	63	34	33	35	38	38	38	38	38	35	33	38	45
<b>KD</b>	287	344	285	179	71	38	38	38	38	35	33	27	14
<b>D</b>	320	437	445	391	266	38	38	38	38	35	33	27	14
<b>GD</b>	196	260	323	339	298	114	114	41	36	35	33	27	14
<b>G</b>	14	27	35	71	119	187	187	171	119	71	35	27	14
<b>GB</b>	14	27		35	38	114	114	222	298	339	323	260	146
<b>B</b>	14	27	33	35	38	38	38	117	266	391	445	437	320
<b>KB</b>	14	27	33	35	38	38	38	38	71	179	285	344	287

### Aralık Ayı

Yön	Saat 6	Saat 7	Saat 8	Saat 9	Saat 10	Saat 11	Saat 12	Saat 13	Saat 14	Saat 15	Saat 16	Saat 17	Saat 18
<b>K</b>	0	0	5	16	24	27	27	27	24	16	5	0	0
<b>KD</b>	0	0	19	16	24	27	27	27	24	16	5	0	0
<b>D</b>	0	0	195	233	184	84	27	27	24	16	5	0	0
<b>GD</b>	0	0	239	363	401	385	312	192	81	19	5	0	0
<b>G</b>	0	0	134	268	363	428	447	428	363	268	138	0	0
<b>GB</b>	0	0	5	19	81	198	312	385	171	363	239	0	0
<b>B</b>	0	0	5	16	24	27	27	44	124	233	195	0	0
<b>KB</b>	0	0	5	16	24	27	27	27	24	16	19	0	0

### 1.Aşama : Binaların iç mekanlarının planlanması

Kış aylarında, gün boyunca, yaşam mekanlarında, konfor klimasının pasif güneş enerjisi ile karşılanması için; zemin kattaki, mutfak 'doğu', oturma 'güney batı', ebeveyn yatak odası ise, 'kuzey batı' yönüne yerleştirilmiştir. Isının, camlardan geçen güneş radyasyonu ile kazanılması amaçlanmıştır. Doğu ve batı yönlerinde güneş ışınlarının yer yüzü ile yapmış olduğu açı daha küçük olması nedeniyle, oturma odasının bu yönlerdeki camlar yer yüzüne dik, 'güney' yönünde, eğik olmak üzere üç tarafı camekanla çevrelenmiştir. Banyo, wc ve garajın gün boyunca daha kısa süre kullanılması nedeniyle; daha az ısı ihtiyacı olacağı düşünülmüş olup, 'kuzey batı' yönüne, garaj; 'kuzey doğu' yönüne ise, banyo yerleştirilmiştir.

Birinci kat, 'kuzey doğu, batı ve kuzey batı' yönlerine yerleştirilen üç ayrı yatak odası ve 'kuzey doğu' yönüne yerleştirilen banyodan oluşmaktadır. 'kuzey doğu' yönünde oluşturulan banyo ve wc' nin ortak olarak kullanılması düşünülmüştür. Birinci katın fonksiyonel olarak, gün boyunca daha kısa sürelerle kullanılması nedeniyle, zemin katın tam aksine, gece ısı ihtiyacı olduğu düşünülerek bu katta bir galeri boşluğu

birakılmıştır. Birinci katta bu galeri boşluğunun bırakılmasının nedeni ise, zemin katta bulunan oturma ve misafir odalarının gün boyunca kazandığı ısının gece, birinci kata iletilmesine katkı sağlamaktır.

İkinci kat, tamamen pasif güneş enerjisi sisteminin bir parçası olarak tasarlanmıştır. Çatı katı da denilebilen bu katta, soğuk su ve sıcak su depoları ile, güneş kolektörleri bulunmaktadır. Bu katta, toplam olarak otuz adet kolektör, iki adet sıcak su ve bir adet soğuk su deposu yerleştirilmiş olmasına rağmen, bu fonksiyonel araçlar, bir yapı bileşeni gibi düşünülerek binanın estetik görünüşü ile bütünleşmektedir. Bu bağlamda, çatılar üzerine yerleştirilen depo ve kolektörlerin görüntü kirliliği oluşturulması engellenmiştir.

## 2. Aşama : Pasif güneş enerjisi sisteminin planlama aşamaları :

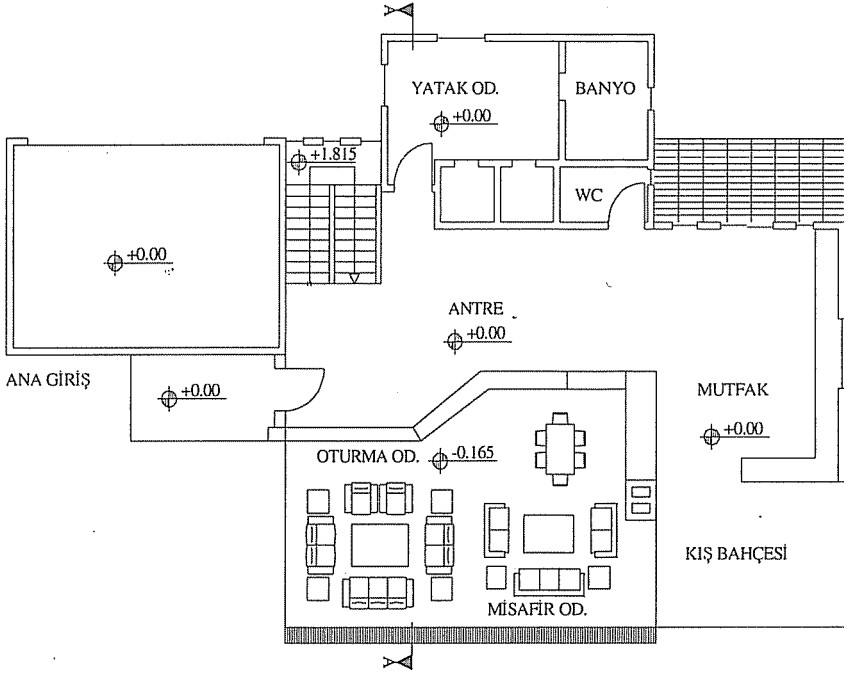
Bu projede günlük olarak kullanılan mekanların ısı ihtiyacını gün boyunca, daha az kullanılan mekanların ısı ihtiyacını ise, gece karşılaması amaçlanmıştır. Buna göre,

. Kış aylarında, bina iç mekanlarının ısı kazanılması için kullanılacak pasif ve karma güneş enerjisi sistemlerinin yerleştirilmesi ve çalışması,

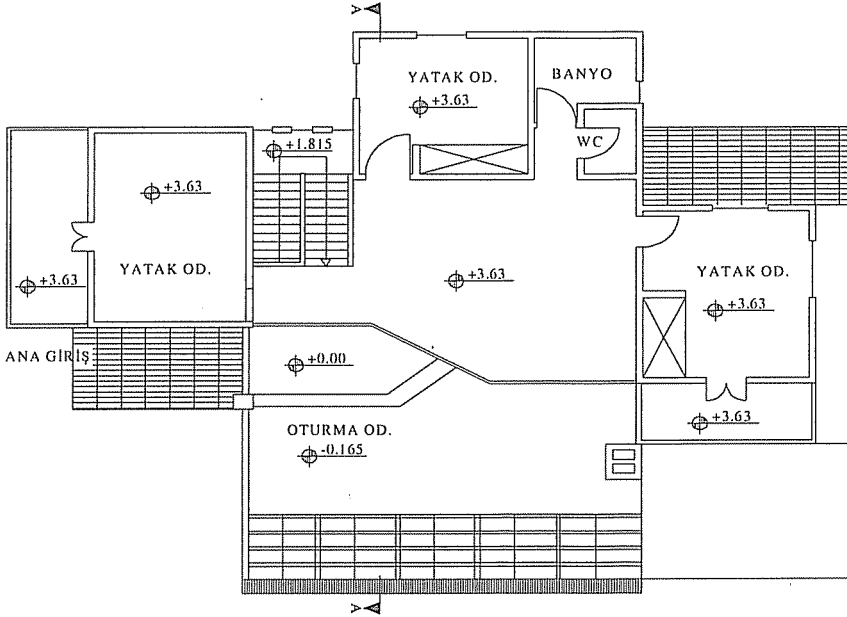
. Yaz aylarında, bina iç mekanlarının ısı kaybetmesi için kullanılacak pasif ve karma güneş enerjisi sistemlerinin yerleştirilmesi ve çalışması, şeklinde planlanarak bina iç mekanlarının konfor kliması oluşturulmuştur.

Isı kazanımı için ; bina zemininin altında sıcak hava deposu oluşturulmuştur. Sıcak hava deposunun zemin altında oluşturulmasının nedeni, soğuk dış ortam koşullarından daha az etkilenmesidir. Bu sıcak hava deposunda, sıcak havayı kolayca ve kısa sürede depolayabilme özelliği nedeniyle çakıl taşı kullanılmıştır. Çakıl taşının kullanılmasının bir başka nedeni ise, ısıyı uzun süre depolayabilmesi ve ucuz olmasıdır. Çakılın görevi ; çatıdaki güneş kolektörlerinde ısınan suyun sadece kullanım suyu olmanın ötesinde, gerektiğinde döşemeden ısıtmaya takviye sağlamasına olarak vermesidir. Gün boyunca güneşin ısıttığı sıcak suyun, yer altındaki çakıl deposundan geçirilerek elde edilen ısı depolanmakta ve geceleyin, yatak odaları ve banyo mekanlarına aktarılmaktadır. Bu ısı transferi, sıcak hava deposu ile iç mekanlar arasında döşenen kanal aracılığı ile taşınmaktadır. Bu kanal içerisinde, gündüz kapalı, gece ise açılıp kapanabilen kapaklar bulunmaktadır. Isının taşınması, ısınan havanın yükselmesi özelliği ile, doğal yolla olabileceği gibi, bir fan yardımı ile daha hızlı aktarılması da mümkündür.

Zemin katta (Şekil 1), oturma odası ve mutfağın gün boyunca ısı kazanması için: temelde aynı olan iki pasif sistem oluşturulmuştur. Bu sistemlerden birincisi, oturma odasının üç tarafı camlarla çevrenmesidir. Bölüm 2.2'de ve çizelge 1'de gösterildiği gibi, güney yönündeki güneş ışınlarının yer yüzüne  $27^{\circ}$  açı yapması nedeniyle, bu yöndeki camlar, yer yüzüne  $63^{\circ}$  lik bir açı ile yerleştirilmiştir. Oturma mekanı çevresine yerleştirilen camlar kolektör görevi yapmaktadır. Bu yönlendirme, gün boyunca güneş ışınlarının cam yüzeylere dik çarpması ile güneşten maksimum düzeyde yararlanılması amacı taşımaktadır. Burada kazanılan ısı, birinci katta (Şekil 2) galeri boşluğundan, 'taşınım yolu' ile üst kata ulaşmaktadır. Mutfağın gün boyunca ısı kazanımı için ise, ikinci bir pasif sistem oluşturulmuştur. Bu ikinci sistem için, güney doğu yönüne yerleştirilen kış bahçesinden yararlanılmıştır. Kış bahçesi sera yöntemi şeklinde kullanılmakta ve kazanılan ısı, mutfağa iletilmektedir.

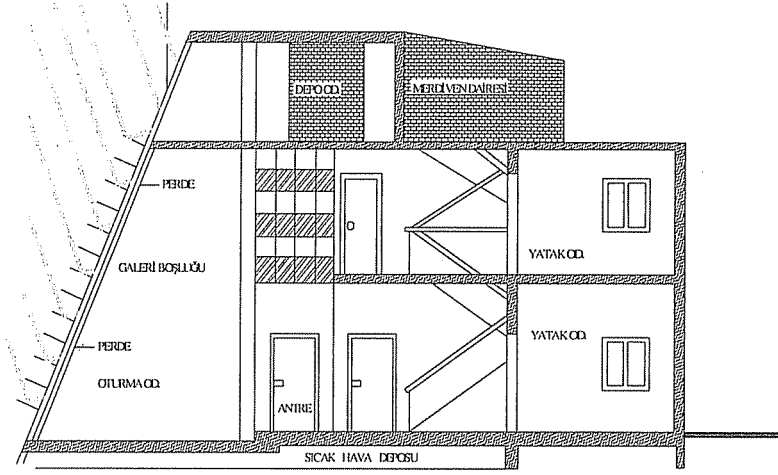


Şekil 1. Güneş enerjisi sistemli örnek konut projesine ait zemin kat planı (2)

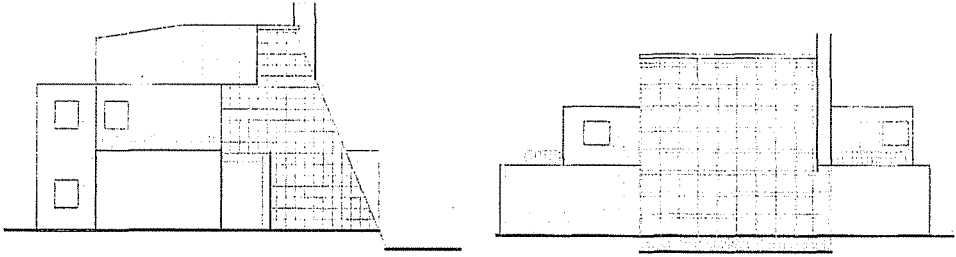


Şekil 2. Güneş enerjisi sistemli örnek konut projesine ait birinci kat planı (2)





Şekil 5. Güneş enerjisi sistemli örnek konut projesine ait kesit (Yaz mevsiminde güneş ışınlarından korunma) (2)



Şekil 6. Güneş enerjisi sistemli örnek konut projesine ait batı ve güney görünüşü (2)

İkinci katta (Şekil 3), bir makine odası gibi çalışan bir mekan yaratılmıştır. Bu mekan içerisinde, iki sıcak ve bir soğuk su deposu bulunmaktadır. Bu iki sistemin farkları ise, biri binanın su ihtiyacını karşılamak için, diğeri ise, yalnızca sıcak suyun depolanması için kurulmuş olmasıdır. Burada depolanan sıcak suyun, (gün boyunca kazanılması düşünülen ısının yetersiz olduğu zamanlarda), bir pompa aracılığı ile, bina içindeki kaloriferlerden geçirilerek, iç mekanlar için gereken ısı ihtiyacının karşılanması mümkündür. Bunun da yetersiz olması durumunda mekanik olan donanımlardan takviye alınması gerekmektedir. Ancak, böyle bir olasılık, Adana iklim koşullarında, kış aylarında yalnızca iki veya üç gün için geçerli olmaktadır. Bu bağlamda, örnek binanın kış aylarında, gereken ısı ihtiyacını karşılamak için : birisi zemin altında, ikisi zeminde ve ikisi de ikinci katta olmak üzere beş ayrı pasif güneş enerjisi ve güneşin yetersiz olduğu zamanlarda kullanılması amacı ile bir aktif donanım kullanılarak, toplam altı adet enerji sistemi kurulmuştur.

Yaz aylarında örnek binanın soğutulması için ise, bodrum, zemin ve ikinci katta çeşitli güneş enerjisi sistemleri kullanılmıştır. Bu güneş enerjisi sistemleri ise, şöyledir:

Zemin altında bir soğuk hava deposu oluşturulmuştur. Bu soğuk hava deposundan, dış ortama doğru bir baca yerleştirilmiştir. Bu bacadan rüzgarın da yardımı ile dış ortamdaki sıcak havanın, soğuk hava deposuna taşınması ve zemin altındaki hava yardımı ile de soğutulup, bina iç mekanlarına aktarılmasıyla bina soğutulmaktadır. Buradaki bacanın bir başka görevi ise, havanın temizlenmesi yani, zemin altında oluşturulan soğuk hava deposunun havalandırılması için de kullanılmasıdır. Enerjinin çok yoğun ortamdaki az yoğun ortama hareket etmesi esasına dayalı olarak; hava akımının dış ortamdaki az yoğun olan bodrumdaki soğuk hava deposuna sürekli bir akımı oluşacaktır. Böylelikle, dış ortamdaki soğuk hava deposu içerisine giren sıcak hava miktarı kadar, bina içerisine soğuk havanın girmesi sağlanacak ve bina soğutulacaktır. Bu doğal oluşan hava yanı sıra, soğuk hava deposundaki havanın binanın iç mekanlarına aktarılmasına yardımcı olan kanallar içerisine yerleştirilen fan ile bu hava dolaşımı daha iyi bir şekilde gerçekleşmesi mümkündür.

### 3. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Örnek binanın ısı kazanç ve kaybının hesaplanması ;

Isı kaybı hesaplarını yapabilmek için gereken sayısal değerler, mimari projeleri oluşturan yapı elemanlarından edinilen bilgiler veya hesaplanmış verilerden oluşur. Binanın yapı bileşeninden ısı geçişi şeklinde iletimsel (transmission) ve hava sızıntısı ile ısı kaybına (enfiltasyon) rağmen, zemin katın tümü 31926 W, birinci kat ise, 18358 W değerinde bir ısı kazanmaktadır (Çizelge 2) (2).

**Çizelge 2. Örnek Binanın Isı Kayıp ve Kazançları (2)**

<b>ZEMİN KAT</b>			
Oda ismi	Toplam Isı Kazancı	Toplam Isı Kaybı	Isı Kazanç ve Kaybının Farkı
Mutfak	22586	4724	17862
Antre ve Oturma O.	22600	6457	16143
E. Yatak odası	204	1945	-1741
Banyo	35	373	-338
		<b>Toplam</b>	<b>31926</b>
<b>BİRİNCİ KAT</b>			
Oda ismi	Toplam Isı Kazancı	Toplam Isı Kaybı	Isı Kazanç ve Kaybının Farkı
Yatak odası 1	1958	1033	828
Yatak odası 1	216	750	-534
Yatak odası 1	2055	1111	944
Hol	18249	880	17369
Banyo	38	31926	-249
		<b>Toplam</b>	<b>18358</b>

Zemin katta yatak odası ve banyonun, birinci katta ise, ortadaki yatak odası ve banyonun ek ısıtıcıya ihtiyacı olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, bu mekanların ısıtılması için mekanik donanım gerekmektedir. Bu bağlamda, ısınma için mekanik donanımın günlük olarak daha az kullanılan, yatak odaları ve banyoda gerekli olduğu ve daha çok kullanılan; antre, oturma odası ve mutfak için gereksinim olmadığı görülmektedir. Hesaplamalarda, verilen değerler güneşin olduğu zamanlardaki değerlerdir. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda, örnek binanın tümünü ısıtmak için,



mekanik donanımına ihtiyaç vardır. Ancak, Adana iklim koşullarında böyle bir durum ile, çok nadir olarak karşılaşılır. Bu yüzden, binaların ısı hesaplarında, ısı kayıpları minimum, ısı kazançları ise, maksimum düzeyde tutulması ; binanın şekillendirilmesi sonucu ortaya çıkmaktadır.

Binanın soğutulması için zemin katta oluşturulan yöntemler ise, Baraj gölünden buharlaşan su buharının etkisi ile, bina yakın çevresinde oluşan soğuk ve nemli hava ile kuzeydeki soğuk havanın, kuzey cepheye iki farklı konumda, yerleştirilen pencerelerden bina içerisine alınması ile oluşmaktadır. Örnek binanın kuzey cephe görünüşünden de görüleceği gibi, bu amaca hizmet edecek şekilde bir çok pencere bulunmaktadır. Zemin kattaki bir başka yöntem ise, güney cephesine yerleştirilen camlardan, güneş ışınlarının bina içerisine girmesini engellemek amacı ile, camekan üzerine pergolalar, pergolaların üzerine de yaz aylarında yapraklı, kış aylarında yapraksız bitkiler yerleştirilmesidir. Bitkilerin yapraklarından yansıyan ve bina içerisine girmeye çalışan güneş ışınları ise, bina içerisindeki perdelerle kesilerek, güneş ışınlarından korunmuş olmakla birlikte yaz aylarında aşırı ısınma da önlenmiş olacaktır. Ayrıca, kesitten de görüleceği gibi, güney cepheye yerleştirilen camların yeryüzü ile 63° lik bir açı yapması nedeniyle yaz aylarında, güneş ışınları camekan üzerine eğik ve kış aylarında ise, dik açı ile gelmektedir. Bu durumda güney cephesindeki camlardan, yaz aylarında minimum düzeyde bir kazanç sağlanmasına karşın, kış aylarında maksimum düzeyde bir kazanç sağlanmaktadır.

Binanın soğutulması için ikinci katta oluşturulan yöntem ise, çatıdan dolayı binanın ısınmasının önlenmesidir. Burada yalnızca çatıda bir oda oluşturularak, daha önce de belirtildiği gibi, sıcak su ile soğuk su depolarının kış aylarında soğuk hava koşullarından etkilenmemesi ve güneş enerjisi sistemlerinin binanın bir yapı elemanı gibi düşünülüp kitle estetiğine katkı sağlanmaya çalışılmasıdır. Oluşturulan bu oda ile, (yaz aylarında çatının güneş ışınları ile aşırı ısınması nedeni ile) geceleyin binanın ısınması engellenmektedir. Dolayısı ile bu oda, birinci katın tavanı ile, dış ortam arasında hava boşluğu yaratarak ısı yalıtımı sağlamaktadır.

Örnek olarak planlanan bu konutta, güneş mimarisinin özelliği nedeniyle (yönlenebilir bina kabuğu, sıcak soğuk su ve ısının depolanması vb.) oldukça farklı bir planlama düzeni ortaya çıkmıştır. Binanın içinde çeşitli özelliklere sahip mekanların, işlevleri gibi, enerji gereksinimleri de farklı olmuştur. Örnek binanın kış aylarındaki toplam ısı kayıplarını giderme yanı sıra, 11824 W değerinde bir ısı kazancı olduğu ve bu nedenle de, binanın kendi ihtiyacının üstünde bir şekilde ısındığı ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda "bu bina kendi kendini ısıtabilmektedir" denilebilir. Ancak bu değer ; hava koşullarına bağlı olması nedeni ile değişkendir. Dolayısı ile, bu ve benzer projelerde ısı kazancı, ısı kaybından daha yüksek olması gerekmektedir. Güneşin hiç olmaması ve ısı depolarının yetersiz olması durumunda ise, mekanik donanım kullanılarak binanın ısı ihtiyacının karşılanması gerekli olabilir. Adana iklim koşullarında böyle bir durum çok nadir de olsa düşünülmesi faydalıdır. Genellikle böyle bir uygulama iklim koşulları belirsiz bölgeler için kullanılmaktadır. Cam ve duvar alanlarının oranlarının değiştirilmesi vb. durumlar, ısı kazanç ve kayıplarının değerlerini de değiştireceğinden pasif güneş enerjili projeler, tasarımcıya binanın ısı ihtiyacının büyüklüğüne göre ayarlama olanağı sağlamaktadır. Bu farklılıkların nedeni, güneş ışınlarının gelen yönlere göre, titizlikle değerlendirilmiş olmasıdır. Az kullanılan

yatak odaları ve banyoda ısınma için, mekanik donanımın gerekli olması ; günlük olarak daha çok kullanılan oturma ve misafir odası ve mutfak için, mekanik donanımın gerekli olmaması nedenleri ile, bu projenin uygulanması durumunda enerji tasarrufu sağlanabilir. Bu konut modeli, enerji bilinci ile bina inşa etmenin mali yönden çok kazançlı olacağını açıkça göstermektedir.

#### 4. KAYNAKLAR

1. Aydemir,M., "Alternatif Enerji kaynaklarının Yapı Sektöründe Kullanımı", *Türk Tesisat Müh. Dergisi*, S.10-15, Sayı.27, Ekim 2003.
  2. Şahali,İ.; "Güneş Enerjisi Sistemleri ile Konut Tasarımı", Ç.Ü, MMF, FBE, Mimarlık Böl., YLT, Adana, 2001.
  3. TTMOB, "Güneş Enerjisi Sistemleri", *Seminer Bildiriler Kitabı*, 1997
  4. MC.Daniels, David,K., "The Sun Our Future Energy Source", ISBN 0-471-04500-4 Yayını, 1979.
  5. Utkuüç,G., "Çevre ve Enerji Sorunları;Yeşil Mimarlık", *Türk Tesisat Müh. Dergisi*, S.16, Sayı.27, Ekim 2003.
  6. Gerçek,C., "Konut", E+P, s:11-41, Yaprak kitabevi, Ankara, 1988.
  7. Björk,C., "Information Technology in construction" *Domain definition and research issues International Journal of Computer Integrated Design And Construction*, SETO, London Volume 1, Issue 1, May 1999 pp. 1-16.
  8. Çetin,G., "Anadolu güneş uygarlığı", S.108-158, İmaj yayın evi, Ankara, 2000.
  9. Sen,Z., "Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques : Atmosphere, Environment, Climate Change, and Renewable Energy", January 2008.
  10. *Solar Radiation Hand Book. A joint Project of. Solar Energy Centre, MNRE. Indian Metrological Department 2008.*
  11. Bredenbeck,H. "Energy Saving Greenhouse System With Solar Energy", ISHS Acta Horticulturae 245 : *Engineering And Economic Aspects Of Energy Saving İn Protected Cultivation.*
  12. Pereira Sustainability "An integral engineering design approach Renewable and Sustainable Energy Reviews", Elsevier 2008.
  13. Meinel,A.B., "Applied Solar Energy an Introduction, Addison- Wesley Publishing S.15-16, 1976.
  14. T.C.Bakanlığı, *Yapı işleri Genel Müdürlüğü, Havalandırma ve KlimaTesisatı, Başbakanlık, Ankara.*
- Şekil. 12,3,4,5,6 ; Şahali,İ., "Güneş Enerjisi Sistemleri ile Konut Tasarımı" Ç.Ü, MMF, FBE, Mimarlık Böl., YLT, Adana, 2001.
- Çizelge 1. Meinel,A.B., "Applied Solar Energy an Introduction, Addison- Wesley Publishing S.15-16, 1976.
- Çizelge 2. Şahali,İ.; "Güneş Enerjisi Sistemleri ile Konut Tasarımı", Ç.Ü, MMF, FBE, Mimarlık Böl., YLT, Adana, 2001.

## ADANA YÜKSEKBAŞ DOKUMA VE İPLİK FABRİKASI YÖNETİM BİNASI

Ayça Ashhan ÖZÜDOĞRU ve Onur ERMAN

Ç.Ü., Mimarlık Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** Adana'da, 1940-1960 yıllarını kapsayan dönemde, Cumhuriyet Dönemi yapıları arasında, mimari nitelikleri bakımından önemi olduğu düşünülen örnekler inşa edilmiştir. Kentin bir döneminin sosyal, ekonomik ve kültürel açıdan göstergesi sayılabilecek bu yapıların bir çoğu, zaman içinde kentin gelişimi ve dönüşümüyle yıkılmıştır. Geriye kalan örneklerin mimari özellikleri bakımından çalışmalara konu edilerek belgelenmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu kapsamda; 1950'li yılların modernizminin izlerini taşıması, benzer nitelikte ve işlevde yapı örneklerinin oldukça azalması nedeniyle Yüksekbaş Dokuma ve İplik Fabrikası Yönetim Binası çalışma konusu olarak seçilmiştir. Binanın yer aldığı pamuk işleme fabrikası, Adana'da ilk kurulan pamuk işleme fabrikalarından olan Turpani Kardeşlerin Fabrikasının devamı niteliğindedir. Bu nedenle, fabrikanın tarihçesi bakımından yaklaşıldığında da yapının özel nitelikte olduğu görülmüştür. Çalışma kapsamında; 1950'li yıllarda inşa edilen yönetim binasının mevcut durumu, konumsal özellikleri, tanımsal analizi, mekansal ilişkiler ve cephe kurgusu incelenmiştir. Sonuç olarak tespitlerden elde edilen bulgular ışığında yapının nitelikleri tartışılmaya çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Adana, pamuklu dokuma sanayi, 1950'ler modernizmi, yönetim yapısı.

## ADANA YÜKSEKBAŞ WEAVING AND YARN FACTORY ADMINISTRATION BUILDING

**ABSTRACT :** Many buildings of architectural quality were constructed in Adana city during the Early Republican Era, particularly in the 1940-1960 period. However at present, a great number of these buildings, which were reflections of social, economical and cultural qualities of the city, no longer exist as a result of the demolitions throughout the urbanization process. It is thought that the architectural characteristics of still standing examples of this period have to be documented through several studies. Within this context, the Administration Building of Yüksekbaş Weaving and Yarn Factory, is chosen as the subject matter of this study. The administration building was constructed in 1950s after the factory was purchased by Sumerbank in 1946. The building is in character of 1950s modernism, and as the buildings of its period, function and type mostly diminished, it has a particular importance architecturally. Yüksekbaş Weaving and Yarn Factory, in which the Administration

*building takes place, has also a historical importance as it was established as the continuation of Turpani Brothers Factory which is the 3<sup>rd</sup> cotton processing factory of Adana. However the factory is disused for years and facilities in the area were ruined except the Administration building. Within the context of the study Yüksekbaş Weaving and Yarn Factory Administration Building's present conditions, positional and definitional characteristics have been investigated. Consequently, within the light of the findings, the architectural characteristics of the building were evaluated.*

**Keywords:** Adana, cotton weaving industry, 1950s modernism, administration building

## 1. GİRİŞ

Adana kentinin Cumhuriyet sonrası gelişimi izlendiğinde 1940'lı yılların ortalarından 1960 yılları sonuna dek, kentin, ekonomik gelişmelere bağlı olarak değişim gösterdiği görülür. İktisadi Kalkınma Planının uygulamaya geçtiği ve sanayinin özel teşebbüse bırakıldığı bu dönemde Adana ekonomisinin tarıma dayalı yapısında yeni açılımlar ortaya çıkmıştır. Tarımsal üretim ve ticaretten sağlanan sermayenin, özellikle kentin köklü aileleri eliyle sanayi yatırımlarına aktarılmasıyla, Adana, Türkiye'de ilk sanayileşen kentlerden birisi olmuştur (1). Bu dönem Adana'nın ekonomik anlamda yükseldiği ve yansımalarının hızlı kentleşme olarak görüldüğü dönemdir. Bu yıllarda kentte mimari olgunluk açısından nitelikli olduğu söylenebilecek, yerel ve ulusal ölçekte mimarlar tarafından tasarlanan, farklı işlevlere sahip pek çok yapı inşa edilmiştir. Bu dönem yapıları arasında konut yapısı olarak; Talip Aksoy Evi (1952), Paksoy Evi (1963), eğitim yapısı olarak Motor Meslek Lisesi (1942), İnşaat Teknik Lisesi (1945), sağlık yapısı olarak Göğüs Hastalıkları Hastanesi (1953), üretim yapıları arasında Güney Sanayi Fabrikası (1953), BOSSA 1 Fabrikası (1951-2008), SASA Fabrikası (1969), İMSA Meşrubat Fabrikası (1969) gibi nitelikli örnekler çoğaltılarak sayılabilir (2).

1940-1960 yılları arasındaki dönem aynı zamanda Jansen Planının uygulamaya geçtiği dönemdir. Kentin yeni imar alanları üst ekonomik sınıf tarafından tercih edilmiş ve özellikle konut işlevli, nitelikli modern mimarlık ürünleri bu alanlarda ortaya çıkmıştır (3). Ancak günümüzde, çoğu özel kişi ve kuruluşlara ait olan bu dönem yapılarının pek çoğu yüksek rant değeri nedeniyle yıkılmıştır. Bu süreçte dönemin bazı sanayi yapıları da yıkılmıştır.

Kentin sanayi tarihinin bir yansıması olan fabrika yapıları inşa edildikleri dönemde kentin çeperlerinde yer alırken, günümüzde kent dokusu içerisinde kalmışlardır. Bu nedenle, karakterleri gereği büyük metrekarelere sahip olan fabrika yapıları, arazi olarak ranta sahip olurken; mimari ve kültürel bir değer olarak korunamamıştır. Nitekim kentte BOSSA 1, BOSSA UN, Yüreğir Aksantaş Fabrikası gibi fabrikalar kentsel dönüşüm uygulamaları sonucunda yıkılmış ve fabrika arazileri toplu konut ve ticaret alanı olarak yeniden düzenlenmiştir.

Kentte örnekleri gittikçe azalan, 1940-1960 yıllarına ait yapıların, kentin sosyoekonomik ve sosyokültürel karakterini yansıması bakımından değer taşıdığı düşünülmektedir. Bu nedenle bu döneme ait ve günümüzde mevcut olan modern mimarlık yapılarında belgeleme çalışmalarının yapılması önemlidir. Bu amaçla döneme özgü mimari niteliklerinin yanı sıra döneminin ekonomik gelişiminin bir parçası olması

Yönetim binasına, Girne Bulvarı'ndan başlayıp alanı iki parçaya ayıran, kuzey-güney yönünde devam eden lineer hatlı yoldan ulaşılabilir. Alandaki diğer yapılar arasındaki ulaşım bu lineer hatlı aks ve ona bağlanan yollarla sağlanmaktadır. Bina üç bloktan oluşmaktadır. İki katlı olan kuzey ve güney bloklarının arasında kalan blok tek katlıdır. Betonarme karkas olarak inşa edilen ve 3.40 m. aralıkla yerleştirilmiş kolonlara taşınan binanın döşemeleri 20 cm. kalınlığındadır. Dış duvarların kalınlığı 39 cm, iç duvarların kalınlığı ise 27 cm'dir. Güneydeki ve ortadaki bloğun birleşiminde iki duvar görülmektedir.

### 3.2. İç Mekanların Tanımlanması

Yapının plan tipolojisi, kuzey ve güney bloklarda, lineer olarak devam eden koridor üzerinden iki yönlü olarak ulaşılan mekânlardan oluşmaktadır (Şekil 3,4). Kuzeydeki bloğun zemin katında, girişteki danışma bölümünden, üst kata çıkan merdivenlere, tek katlı orta bloğa geçilen odaya ve kuzeydeki koridordan girilen yedi oda ve WC'lere ulaşılırken, bloğun birinci katında danışma, dokuz oda, bir banyo ve WC'ler yer almaktadır. Mekanların büyüklükleri ve birbirleriyle olan ilişkileri, bu bloğun idare bölümü olarak kullanıldığına dair izlerdir.

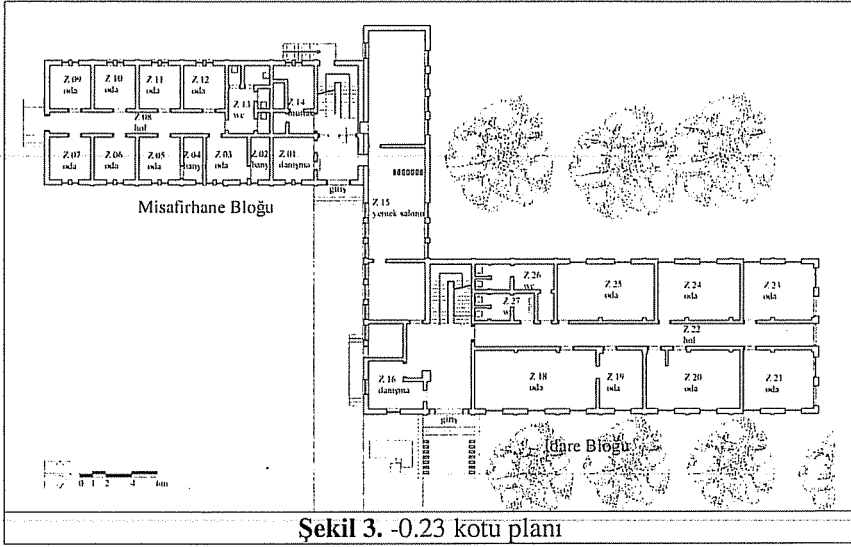
Binanın güneydeki bloğunun zemin katında ikisi banyolu sekiz oda, WC'ler, danışma ve mutfak; birinci katında ise hepsi banyolu sekiz oda bulunmaktadır. Birinci kattaki bu odalara giriş yapının ana girişinden bağımsız olarak, bloğun güney cephesinde yer alan girişten sağlanmaktadır. Odaların banyolu olarak çözülmesi, bu bloğun misafirhane/konaklama işlevi barındırdığını göstermektedir.

Kuzey ve güneydeki iki bloğu birleştiren tek katlı blokta ise iki salon, girişi güneyden olan küçük bir oda ve girişi idare bloğundan olan danışma birimi vardır. İki blok arasında bağlantı kurması, mekan büyüklükleri ve dışarıdan da girişinin olması nedeniyle, bu bloğun kafeterya/yemek salonu olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır.

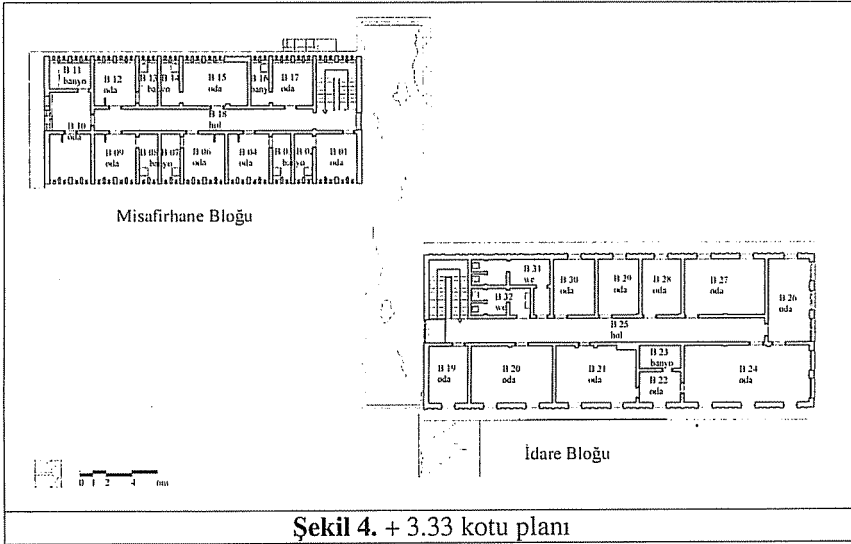
Binanın iç mekân döşeme kaplamalarında 25x25 cm. marley kaplama, duvarlarına ise sıva üzeri boya yapılmıştır. Banyoların zemininde 10x20, duvarlarında ise 10x10 seramikler kullanılmıştır. Misafirhane bloğunun güney ucundaki odanın zemininde 10x10'luk karolar kullanılarak mekânın farklılığı vurgulanmıştır. Kapılarda ve pencerelerde ise ahşap malzemeler kullanılmıştır.

#### 3.2.1. İdare Bloğu

Yapının doğu cephesinde yer alan ve üç basamakla ulaşılan -0.26 kotundaki girişten hemen sonra, solda danışma bankosu yer almaktadır. Bu birim yemek salonlarının bulunduğu tek katlı bloğun doğu ucundaki birimdir. Girişin karşısındaki merdivenin sağında bulunan kapıdan, iki yanında odaların olduğu koridora geçilmektedir (Şekil 5a). Koridorun solundaki ilk birimde WC'ler ve devamında üç oda bulunmaktadır. İkişer pencere ile batıya bakan odalardan, koridorun sonundaki Z-23'ün kuzeye bakan iki penceresi daha vardır. Kuzeydeki bir pencere ile aydınlanan koridorun sağ tarafında dört oda yer almaktadır. Bu odalardan Z-21 binanın kuzey ucundadır ve Z-23 ile benzerdir. Z-20'nin ise içerde bir duvarla birbirinden ayrılan yan yana iki kapısı vardır. Yan tarafındaki Z-19 daha küçüktür ve sağ duvarındaki başka bir kapıdan Z-18'e geçilmektedir. Z-19'un bir, Z-18'in ise üç penceresi bulunmaktadır.



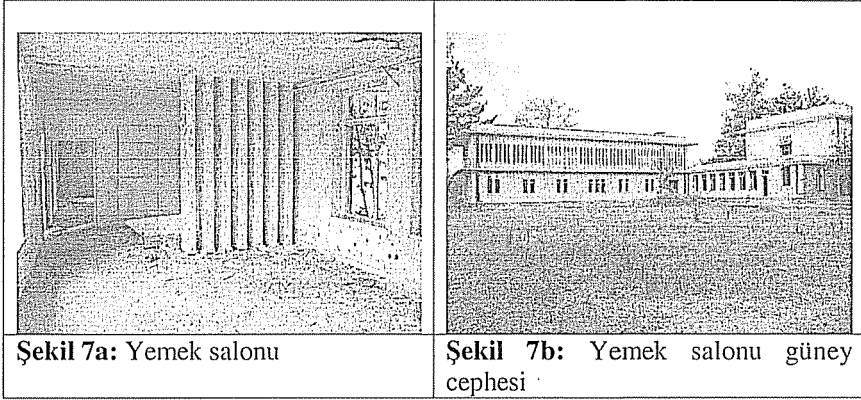
Şekil 3. -0.23 kotu planı



Şekil 4. +3.33 kotu planı

İdare bloğunun birinci katında, merdivenin hemen bitiminde küçük bir danışma birimi yer almaktadır (Şekil 4). Bu katın ilk odası da, danışmanın arkasındaki B-19'dur. B-19'un cephe boyunca devam eden 1.20 m genişliğindeki balkona açılan bir kapısı vardır. Bu katın her odasında yer alan bu kapıların iki yanında, döşemeden 2m yükseklikte birer pencere bulunmaktadır.

Koridorun sol tarafındaki ilk birimde zemin katta olduğu gibi WC'ler yer alır. WC'lerin ardından B-30, B-29 ve B-28 No'lu birimler gelmektedir ve bu üç odanın da balkona açılan birer kapısı vardır. Yine sol tarafta yer alan B-27'nin ise iki kapısı vardır



### 3.3. Cephe Tanımlamaları

Yapı genelinde yüzeyinde serpmme sıva kullanılan cephelerin en karakteristik özelliği katların kat silmesiyle birbirinden ayrılmış olmasıdır. Misafirhane bloğunun güney cephesi ile idare bloğunun doğu ve batı cephelerinde 120 cm. derinliğinde balkonlara dönüşen bu kat silmeleri yapının yatay hatlarını kuvvetlendirmektedir. İdare bloğu ve misafirhane bloğunda birinci katta görülen güneş kırıcı elemanlar her ne kadar düşey bir etki verse de bu elemanların zemin katlarda devam etmemesi ve kat silmeleri arasında her katın cephesinin kendi içinde tekrar eden elemanlarla oluşturulması; cephede kat silmelerinin yarattığı yatay etkiyi güçlendiren çözümler olarak karşımıza çıkmaktadır. Cephede izlenen yataylık belirli aralıklarla düşey olarak bölümlendirilmiş; oluşan modüllere kapı-pencere açıklıkları ve güneş kırıcılar yerleştirilmiştir.

#### 3.3.1. Doğu Cephesi

Binanın doğu cephesi giriş cephesi olarak ele alınmıştır. Hem misafirhane hem de yönetim kısmına bu cephedeki iki farklı giriş kapısından girilmektedir (Şekil 8a). İdari kısmın girişi 15-40 cm'lik kolonların iki yanda tekrar edilmesi ile tariflenmiştir (Şekil 8b). Cephenin uzunluğu yaklaşık 60 m. dir. Birinci katta cephe zemin kata göre daha hareketlidir. Bu hareketlilik pencerelerin ve düşeyde kullanılan cephe elemanlarının tekrarı ile sağlanmıştır.

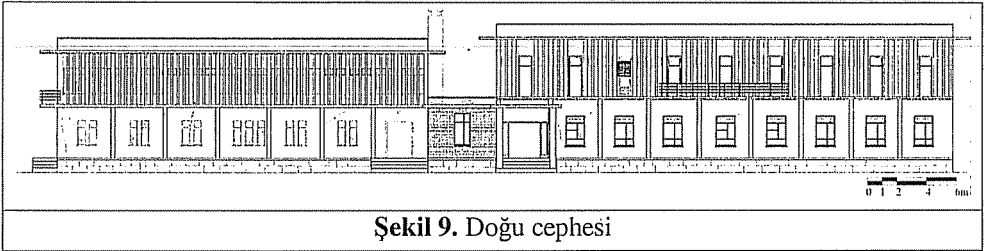


İdare kısmının zemin katında düşey elemanlarla eşit aralıklara bölünen cephenin her aralığında birer pencere açıklığı bulunmaktadır. Birinci katta ise her aralığa, balkona

açılan birer kapı ve bu kapıların iki yanına döşmeden yüksekliği iki metre olan pencereler yerleştirilmiştir. Kapılar ve pencereler 27 cm kalınlığında düşey elemanlarla birbirinden ayrılmıştır. Ayrıca her pencere de 14 cm kalınlığındaki düşey elemanlarla iki eşit parçaya bölünmüştür.

Misafirhane bölümünün zemin katında da aynı düşey elemanlar kullanılmış, bu sefer yine giriş hariç her aralığa 52 cm genişliğinde iki adet pencere yerleştirilmiştir. Soldan dördüncü aralıkta ise üç adet pencere vardır. Üst katta bu düşey elemanlar devam etmiş ve bu aralıklar aynı düşey elemanlarla ikiye bölünmüştür. Oluşan pencere açıklıkları 14cm lik düşey elemanlarla bu kez dörde bölünmüştür. Pencerelerin cephe boyunca tekrarı ile oluşan yatay hat, banyoların yer aldığı bölümlerde kesintiye uğramış ve kullanılan kısa banyo pencerelerinin alt kısımları sağır bırakılmıştır.

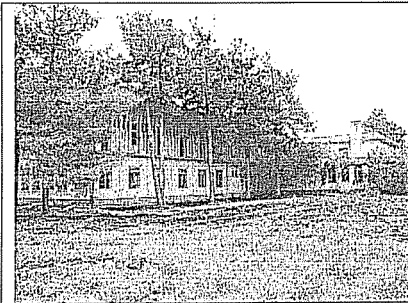
Tek katlı olan yemek salonunun doğu cephesinde pres tuğla kullanılmış ve orta kısma bir pencere yerleştirilmiştir (Şekil 9). Bu cephedeki pencerelerin pek çoğunun camları ve bazılarının kasaları tahrip edilmiştir. Giriş kapılarının da kanatları yoktur. Özellikle pencerelerin kenarında çatlaklar ve sıva döküntüleri vardır.



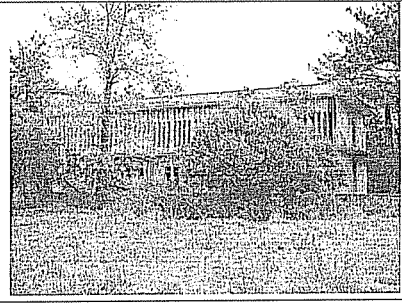
Şekil 9. Doğu cephesi

### 3.3.2. Batı Cephesi

Binanın doğu cephesindeki uygulamalar batı cephesi için de geçerlidir. Misafirhane ve idare bölümlerinde, ıslak hacim olan yerlerde farklı pencereler kullanılmıştır (Şekil 10). Tek katlı olan yemek salonunun batı cephesi sağırdır. Ayrıca misafirhane bloğunda, ara sahanlığa çıkan bir merdiven ve buraya açılan bir kapı bulunmaktadır (Şekil 11). Bina genelindeki sorunlar bu cephe için de söz konusudur. Duvarlarda çatlaklar ve sıva döküntüleri vardır. Pencere kasaları ve camlar hasar görmüştür.

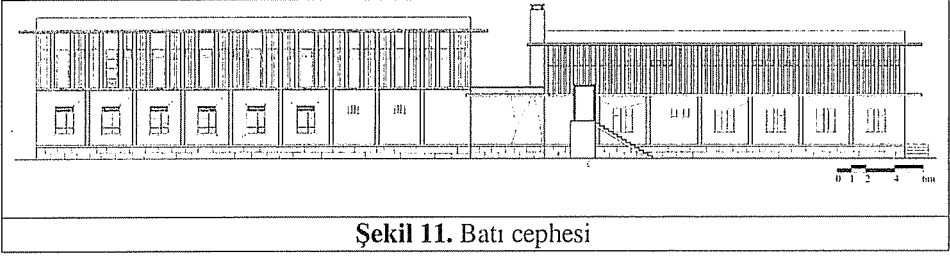


Şekil 10a: İdare bloğu batı cephesi



Şekil 10b: Misafirhane bloğu batı cephesi

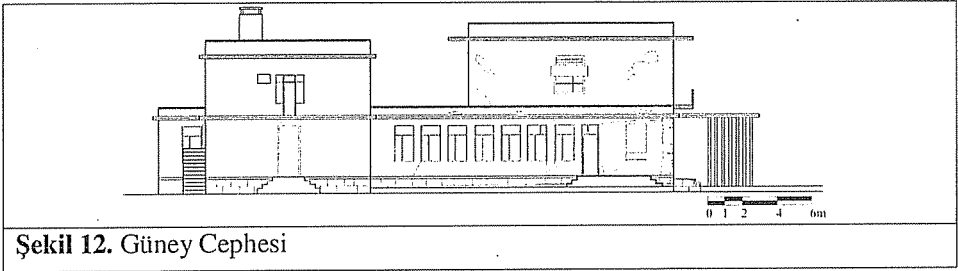




Şekil 11. Batı cephesi

### 3.3.3. Güney Cephesi

Ana girişten girilemeyen misafirhane bloğunun zemin katına, bu cephedeki ikinci bir girişten girilmektedir. Bu bloğun zemin kat cephesindeki tek açıklığı budur. Üst katta ise katın güney ucundaki odadan balkona açılan bir kapı ve iki yanında döşemeden 70 cm yükseklikte birer pencere vardır. Yine bu kapının sol tarafında 50x70 cm boyutlarında, döşemeden 200 cm. yükseklikte bir açıklık vardır. Büyük sıva döküntülerinin olduğu idare bloğunun bu cephesinde ise sadece birinci katın koridorunu aydınlatan pencere vardır (Şekil 12).



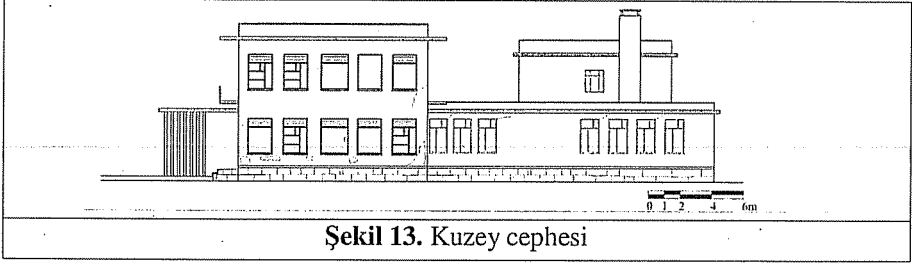
Şekil 12. Güney Cephesi

Yemek salonunun güney cephesine gelindiğinde, misafirhane bloğunun zemin katındaki pencerelerle aynı kottaki daha büyük pencerelerin tekrarı ile oluşturulmuş bir düzen görülmektedir. Bu tekrarın bitiminde bir giriş kapısı bulunmaktadır. Bu kapının sağ tarafında denizlik kısmı diğer pencerelerin denizlikleriyle aynı kotta olan ancak daha yüksek tutulmuş bir pencere daha vardır. Üst sınırı tavana kadar tahrip olan pencerenin sol köşesinden yere kadar devam eden derin bir sıva çatlağı vardır. Bu bloktaki pencerelerin kasaları da diğerleri gibi tahrip olmuştur.

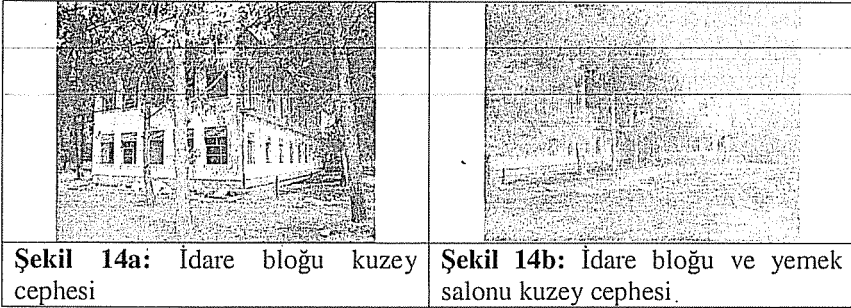
### 3.4.4. Kuzey Cephesi

Yaklaşık 12 m. genişliğinde olan idare bloğunun bu cephesinin zemin katı, +0.52 kotundaki 155 cm.-220 cm. boyutlarındaki pencerelerin tekrarı ile oluşturulmuştur. Birinci katta da +4.52 kotuna aynı biçimde pencereler yerleştirilmiştir. Camları olmayan pencerelerin kasaları da tahrip olmuştur. Bu bloğun zemin katının pencerelerinde kullanılan ahşap panjurlar da zaman etkisiyle yıpranmıştır.

Yemek salonunun kuzey cephesine bakıldığında, güney cephesinde kullanılan pencerelerin burada da kullanıldığı görülmektedir. Cephenin sağ tarafında bu pencerelerden dört adet kullanılmış ve bu dizinin bitiminden 532 cm. sonra, aynı tekrar, üç adet pencere ile yapılmıştır (Şekil 13, Şekil 14).



Misafirhane bloğunda ise kata ışık alınmasını sağlayan 120 cm.-140 cm. boyutlarındaki pencere ve bu pencerenin sol tarafında baca bulunmaktadır. Bu cephenin de özellikle baca ve çatı parapetinde renk değişimi ve sıva dökülmeleri görülmektedir.



#### 4. BULGULAR VE SONUÇ

Binanın fabrika yerleşkesi içerisindeki konumu ve mekansal özellikleri incelendiğinde, kullanıldığı dönemde konaklama ve yönetim amaçlı işlevlere hizmet ettiği anlaşılmaktadır. Yerleşkenin kuzey bölümünde iki işçi yemekhanesinin olması, yönetim binasının orta bloğunda bulunan ve yemek salonu olduğu düşünülen birimin sadece bu binanın çalışanlarına hizmet ettiği izlenimini vermektedir.

Yapının plan tipolojisi kuzey ve güney bloklarda lineer olarak devam eden koridor üzerinden iki yönlü olarak ulaşılan mekânlardan oluşmaktadır. Yönetim bloğundaki mekan düzeni ve hiyerarşisi, konaklama birimlerinin yerleşimi ve ıslak hacim bağlantıları modern planlama anlayışına sahiptir.

Yapı; plan tipolojisinin yanı sıra cephe özellikleri bakımından da modernist bir karakter sergilemektedir. Yüzeyinde serpmeye sıva kullanılan cephelerin en karakteristik özelliği katların kat silmesiyle birbirinden ayrılmış olmasıdır. Misafirhane bloğunun güney cephesi ile idare bloğunun doğu ve batı cephesinde genişleyerek balkona dönten kat silmeleri yapının yatay hatlarını vurgulamaktadır. Cephede yataylık belirli aralıklarla düşey olarak bölümlendirilmiş; oluşan modüllere kapı-pencere açıklıkları ve güneş kırıcılar yerleştirilmiştir. Bunun yanında yapı bütününde, iç mekanda ve cephelerde tekrar eden mimari öğelere rastlanmıştır. Yapının girişini temsil eden ve giriş saçağını taşıyan düşey elemanlar iç mekanda yemek salonunu ayırmak için, kuzey ve güney bloğunun birinci katında doğu ve batı cephelerinde ise güneş kırıcı eleman

olarak kullanılmıştır. Bu tür düşey elemanlar 1950 dönemi yapılarında karşımıza çıkan tipik yapı elemanlarındandır. Ayrıca yapının idari kısmının bulunduğu bloğunun doğu ve batı cephesinin zemin katında, kuzey cephesinin ise zemin ve birinci katında yer alan pencere bölünmeleri ve pencerelerin ahşap güneş kırıcıları da 1950'li yılların modern karakterini yansıtan unsurlar arasında sayılabilir.

Yapı uzun süredir atıl olmasının nedeniyle oldukça harap ve yıpranmış durumdadır. Strüktürel bakımdan iyi durumda olan binada en önemli deformasyonların yapı bileşeni ve malzeme düzeyinde olduğu gözlenmiştir. Binanın döşeme kaplamaları, ıslak hacimlerde yüzey kaplama ve tefriş elemanları, kapı ve pencereler, ahşap dolaplar ve parapetler tahrip olmuştur. İç mekan duvarlarında yoğun sıva dökülmeleri; cephelerde sıva çatlakları, renk değişimleri ve yağmur iniş borularının olduğu bölümlerde nemlenme görülmüştür. Misafirhane bloğunun zemin katının tavan ve duvarlarında, elektrik tesisatından çıkan bir yangın sonucu olduğu düşünülen kâdrarmalar görülmüştür.

1940-1960 yılları arasında görülen ekonomik gelişmelere paralel olarak Adana'da, dönemin yerel ve ulusal ölçekte önemli mimarları, başta konut yapıları olmak üzere çok sayıda yapı inşa etme fırsatı bulmuştur. Genelde modernist yaklaşımın benimsendiği bu yapıların pek çoğu mimari bakımdan oldukça olgun bir düzeydedir. Ancak kentin kabuk değiştirme sürecinde bu yapıların az sayıda bir kısmı ayakta kalabilmiştir. Belirtilen döneme ait mevcut yapılarla ilgili çalışmalara ağırlık verilmesinin gerektiği düşünülmektedir.

İnşa edildiği döneme ait nitelikleri ile hem mekansal kurgusu hem de estetik değerleri bakımından çalışmaya konu edilen yapının belirli bir mimari düzeye sahip olduğu görülmektedir. Ancak yönetim binası haricinde, Yüksekbaş Fabrikasına ait diğer yapılar günümüze ulaşamamıştır. Yönetim Binası da arazinin satışı ile tamamen yıkılmayı beklemektedir.

## 5. KAYNAKLAR

1. *Adana Sosyo Ekonomik Rapor, Adana Güçbirliği Vakfı, Adana, 2000.*
2. *Saban,D., Karaman,F., Erman,O., Durukan İ., Adana Mimarlık Rehberi, TMMOB Mimarlar Odası Adana Şubesi Yayını, 2006.*
3. *Erman,O., Karaman,F., Saban,D., Durukan,İ., "Adana'da 1930'lardan Günümüze Sosyal, Kültürel ve Ekonomik Değişimler Bağlamında Konut Mimarisinin Gelişimi", Ç.Ü. MMF Dergisi, 22/2, sf:235-247, 2007.*
4. *<http://www.sumer.org.tr/site/main.php> (son erişim tarihi Eylül 2007).*
5. *Fisunoğlu,M., Adana'nın Sanayi Tarihine Kısa Bir Bakış, Çukurova'da Sanayileşme ve Çevre Sempozyumu Bildirileri/10-2007, Makine Mühendisleri Odası Yayınları, Çukurova Üniversitesi İ.İ.B.F, Adana.*



## ADANA KENTSEL SİT ALANINDAKİ FİZİKSEL DEĞİŞİM VE SONUÇLARI

**Duygu SABAN ÖKESLİ**

*Ç.Ü., Mimarlık Bölümü, Adana/Türkiye*

**Figen KARAMAN**

*Yeditepe Üniv., İç Mimarlık Bölümü, İstanbul/Türkiye*

**Tevfik YILDIRIM**

*Adana Valiliği İl Planlama ve Koordinasyon Müdürlüğü, Adana/Türkiye*

**ÖZET :** Türkiye'nin pek çok kentinde olduğu gibi Adana'nın tarihi kent merkezi de 1994 yılında sit alanı ilan edilmiş ve sit alanındaki yapılaşma esaslarını belirlemek üzere Koruma Amaçlı İmar Planı hazırlanarak 1998 yılında yürürlüğe girmiştir. Ancak aynı yıl meydana gelen deprem ve diğer sebeplerden dolayı tam olarak uygulanamayan plan, aradan geçen 10 yıl içerisinde güncelliğini yitirmiştir. Bu çalışma kapsamında Adana Koruma Amaçlı İmar Planı'nın güncellenmesine veri oluşturacak fiziksel analizlerin yapılması ve planın başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için önerilerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla sit alanındaki yapılaşma durumu belirlenmiş, elde edilen veriler 1998 tarihli Koruma Amaçlı İmar Planı çalışmalarına esas oluşturan verilerle karşılaştırılmıştır. Çalışma, Çukurova Üniversitesi tarafından desteklenen MMF2006BAP8 numaralı "Adana Kentsel Sit Alanı İçerisinde Fiziksel Analizler Yapılarak Koruma Amaçlı İmar Planı İlkelerinin Güncellenmesi" başlıklı Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında elde edilen verilerin bir kısmını tartışmaya açmaktadır.

### THE IMPLICATIONS OF THE PHYSICAL CHANGES IN THE ADANA CONSERVATION AREA

**ABSTRACT :** The historic centre of the city of Adana has been defined as a conservation area in 1994 and a Conservation Plan came into effect in 1998, in order to define building regulations within the area. However, the earthquake occurred in the same year and various other reasons impeded the application of the Conservation Plan. This paper aims to carry out physical analysis in order to evaluate the implementation of the Plan and to develop proposals on how to successfully apply it. Following this aim, the status of the building stock was ascertained in terms of physical changes and the data gathered was compared with the facts and input which had established the framework for the Plan in 1998.

## 1. GİRİŞ

Koruma amaçlı planlama süreci kentsel sit alanlarının ilanı ile başlamakta, koruma amaçlı imar planının hazırlanması ve yürürlüğe girmesi ile yasal zemin kazanmakta ve uygulama aşamasıyla devam etmektedir. Plan kararlarının uygulanması, koruma faaliyetleri arasında en uzun süre devam eden ve koruma amaçlı planın hedeflerine ulaşıp ulaşılmadığının ortaya çıktığı ve bu bağlamda büyük önem taşıyan bir süreçtir. Bununla birlikte koruma amaçlı imar planlarının uygulama aşamasını izlenmesi, gözden geçirilmesi ve aksayan noktaların tespit edilerek çözüm önerilerinin geliştirilmesi üzerinde yeterince durulmayan konulardır (1). Genel yaklaşım bilimsel verilere dayanarak hazırlanan koruma amaçlı planların yetkili Belediye ya da Valilik tarafından tam olarak uygulanacağını kabulü üzerine kuruludur. Ancak söz konusu kurumlarda koruma amaçlı imar planı stratejilerinin gerçekleştirilip gerçekleştirilmediğini düzenli aralıklarla kontrol edebilecek uzmanlar bulunmadığı gibi, kentsel sit alanları bütününde alınmış olan kararlar genelde parsel bazında uygulandığından, sit alanı tespiti ve koruma amaçlı imar planı hazırlama sürecinin yasal bir zorunluluğu yerine getirmenin ötesine geçemediği söylenebilir (2). Bu çalışma, bahsedilen genel çerçeve doğrultusunda Adana Kentsel Sit Alanı için hazırlanmış olan 1998 tarihli Koruma Amaçlı İmar Planı'nın uygulama aşamasını tartışmayı hedeflemiştir (3).

Ülkemiz sınırlarında yer alan ve çeşitli özelliklerinden dolayı yasayla koruma altına alınmış arkeolojik, doğal, kentsel, tarihi ve kırsal nitelikte sit alanları bulunmaktadır. Sayıları toplamda 9161 adedi bulan sit alanlarının 210'u kentsel sit alanı olarak tanımlanmış, İstanbul ve Ankara dışında kalan kent merkezlerimizin 42'sinde 49 adet kentsel sit alanı belirlenerek koruma altına alınmıştır (www.kultur.gov.tr). 2863 sayılı yasanın 3386 sayılı yasa ile değişen 17. maddesi gereğince sit alanı ilan edilen bölgeler için belediyelerin Koruma Amaçlı İmar Planını bir yıl içerisinde hazırlatarak değerlendirmek üzere Koruma Kurulu Müdürlüğüne sunması zorunludur.

Bu çerçevede, Adana'nın Seyhan İlçesi sınırlarında kalan ve hızlı kentleşme karşısında tarihi kimliğini korumakta zorlanan kent merkezinin bir bölümü Kültür Bakanlığı, Adana Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu (AKTVKK) Müdürlüğü tarafından 21.04.1994 tarih ve 1807 sayılı kararla kentsel sit alanı olarak tanımlanmıştır. Koruma altına alınmış olan bu alan için Seyhan İlçe Belediyesi ve Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü işbirliğiyle Koruma Amaçlı İmar Planı hazırlanmıştır. 30.06.1998 tarihinde 3106 sayılı Koruma Kurulu kararıyla onaylanarak yürürlüğe giren Adana Koruma Amaçlı İmar Planı, aynı yıl (27.06.1998 tarihinde) gerçekleşen Richter ölçümüne göre 6,3 magnitud şiddetindeki deprem ve sonrasında, Planın kapsadığı alandaki dokunun ciddi ölçüde zedelenmesi ve çeşitli diğer sebepler sonucunda uygulamaya tam olarak aktarılamamıştır. Aradan geçen on yıllık süre içerisinde hızlı bir sosyal ve fiziksel değişim sürecine girmiş bulunan kentsel sit alanı için mevcut Koruma Amaçlı İmar Planı yetersiz kalmıştır.

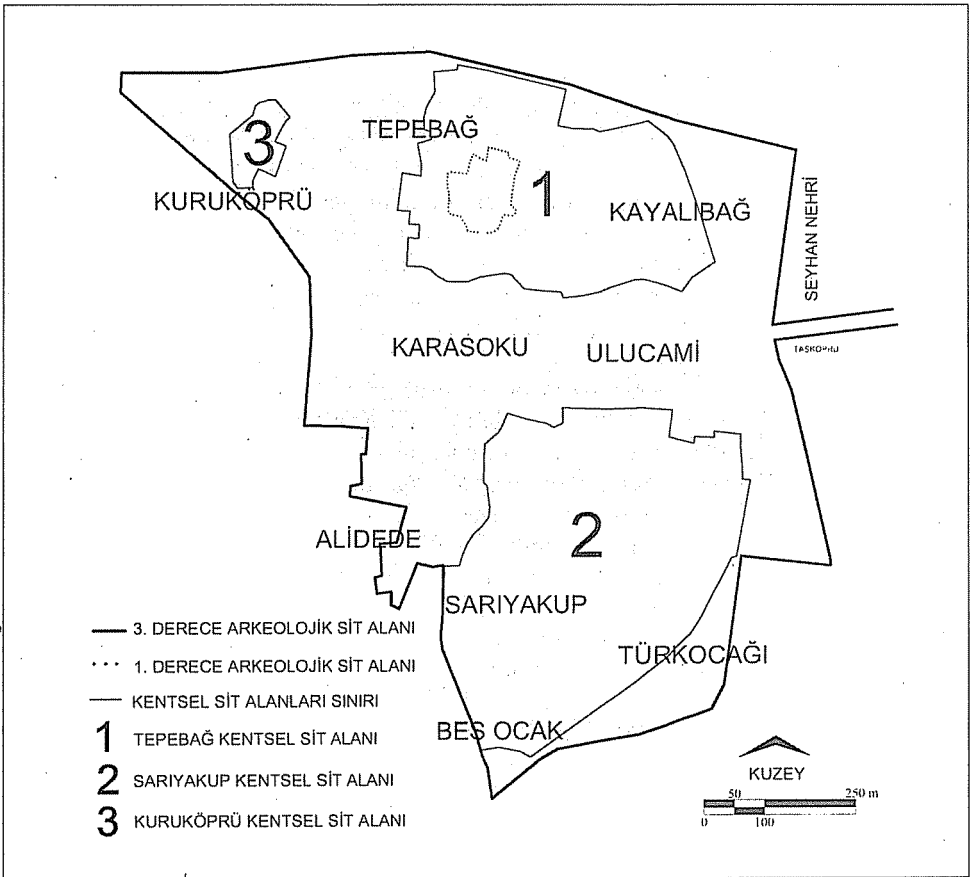
Çukurova Üniversitesi Rektörlüğü tarafından desteklenen MMF2006BAP8 numaralı "Adana Kentsel Sit Alanı İçerisinde Fiziksel Analizler Yapılarak Koruma Amaçlı İmar Planı İlkelerinin Güncellenmesi" başlıklı Bilimsel Araştırma Projesi bulgularının bir bölümünü tartışmaya açan bu çalışmada, Adana Kentsel Sit Alanı'nın (KSA) Koruma Amaçlı İmar Planı'nın (KAİP) onanmasından sonra geçen on yıllık süre içerisinde

geçirdiği fiziksel değişim ve bu değişimin KAİP ilkeleri doğrultusunda olup olmadığı araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

AKTVKK tarafından sit alanı olarak belirlenen 80 Hektar yüzölçümünde ve dokuz mahalleyi kapsayan ve KAİ Planında 3. Derece Arkeolojik Sit Alanı olarak tanımlanmış olan Adana tarihi kent merkezi bu makalenin çalışma alanını oluşturmaktadır (Bkz. Şekil 2.1). KAİP, alanın tamamı için öneriler ve plan notları geliştirdiği için bu çalışmada da geniş sınırlarıyla alanın tamamındaki fiziksel değişim incelenmiştir.

Çalışmanın ana materyali iki ayrı grupta toplanmaktadır. İlk grup materyal sit alanında yasal yollarla gerçekleşen fiziksel değişimi tespit etmek ve sit alanındaki yapılaşma baskısını ortaya koymak amacıyla incelenen AKTVKK kararlarıdır. 30.06.1998 ile 31.12.2007 tarihleri arasında AKTVKK tarafından alınmış olan 518 adet karar çalışma kapsamında İçerik Analizi yöntemiyle analiz edilmiştir.



Şekil 2.1. Çalışma Alanı ve Karşılaştırmalı Sit Sınırı

İkinci grup materyal fiziksel değişimi belirleyebilmek için kat yükseklikleri, zemin kat kullanımları ve normal kat kullanımlarını içeren 1996 ve 2007 yılına ait haritalardır. 1998 yılında onaylanarak yürürlüğe giren 1/5000 ve 1/1000 ölçekli Adana Seyhan Koruma Amaçlı İmar Planı eki olarak sunulan 1996 tarihli Tespit ve Analiz Paftaları ile Tescil Paftaları ile bu çalışma kapsamında alan çalışması yoluyla yerinde tespit edilerek güncellenmiş olan verilerin işlendiği güncel hali hazır haritalar çalışmanın ana materyalleri olarak kullanılmıştır (4). 2007 yılına ait güncel veriler Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Şehircilik Projesi dersi öğrencilerinin yardımıyla tespit edilmiştir.

Plana esas oluşturan 1996 tarihli Tespit ve Analiz Paftaları ve Tescil Paftaları'nın tamamı elde edilememiştir. Paftaların Adana Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu, Seyhan Belediyesi ya da Çukurova Üniversitesi Mimarlık Bölümü arşivinde saklanmış olan bölümleri kullanılabilmiştir. Ayrıca 1998 yılında onaylanarak yürürlüğe giren KAİP çalışmasından önce Adana Büyükşehir Belediyesi tarafından 01.06.1995 tarihinde Megaron Ltd. Şti.'ne hazırlatılan Adana şehri tarihi merkezi için özel CBS projesi paftalarından bir tanesi (kat yükseklikleri) çalışma kapsamında kat yüksekliklerine dair ulaşılabilen tek belge olduğu için kullanılmıştır.

### 3. 1998'DEN 2007'YE SİT ALANINDAKİ FİZİKSEL DEĞİŞİM

Adana KAİP tamamlandıktan hemen sonra gerçekleşen deprem ile Planın kapsadığı alan içerisinde yer alan tescilli yapılardan 27 adedi tamamen yıkılmış, 70 adedi ağır ve orta hasarlı duruma gelmiş, 80 kadarı da basit onarım gerektirir duruma düşmüştür (5). Tamamı yığma olan bu yapıların yıkılma nedeni yanlış inşa edilmiş olmaları ya da malzemeden çalınmış olması değil, yapıların nesiller boyunca ihmal edilmiş olmaları ve rant kaygısıyla mülk sahiplerinin bilinçli olarak yapıları yıpratmasıdır (6). Deprem neticesinde kentsel sit alanında kültürel mirasın oranı azalmış ve dolayısıyla bölgenin özgün niteliği önemli ölçüde zedelenmiştir.

Bu deprem, mevcut problemlere ek problemler getirmesine karşın, sit alanının iyileştirilmesi için yeni fırsatlar da ortaya çıkarmıştır. Ayakta kalan yapıların restorasyonu depremden öncesine kıyasla çok daha öncelikli hale gelmiştir. Yıkılmış olan tescilli yapıların da KAİ Planının getirdiği kararlar doğrultusunda, belgelere dayanarak yeniden inşa edilmesi söz konusu olmuştur. Deprem dolayısıyla merkezi hükümet tarafından yapılan yardımın %10'unun kentsel sit alanındaki kültür varlıklarına aktarılmasıyla alanın canlanacağı ve yeni yatırımlara yol açacağı düşünülmüş, ancak birkaç binanın devlet ve özel teşebbüs girişimiyle restore edilmesinin dışında, tüm alanın ya da planda belirlenmiş özel proje alanlarının iyileştirilmesine dair bir çalışma yapılmamıştır (7).

#### 3.1. AKTVKK Tarafından Alınan Kararlar

Sit Alanında gerçekleşen fiziksel değişimin incelenmesi için altyapı oluşturması, yapılaşma baskısının hangi mahallelerde yoğunlaştığını göstermesi ve sit alanındaki uygulamaların boyutlarının ortaya konması amacıyla gerçekleştirilen, 1998 sonrasında AKTVKK aldığı kararların analizi, yapılaşmaya dönük başvuruların %66'sının uygun görüldüğünü, geriye kalan %34'lük başvurunun ise üçte birinin kabul edilmediğini göstermiştir. Kabul edilmeyen başvuruların üçte birinde, yapılan müdahalenin hatalı



ADANA KENTSEL SİT ALANINDAKİ  
FİZİKSEL DEĞİŞİM VE SONUÇLARI

**Çizelge 3.1.1. AKTVKK Tarafından 1998-2008 yılları arasında Adana 3. Derece Arkeolojik Sit Alanı içerisindeki parseller için alınan kararlar**

MAHALLE	İZİNSİZ MÜDAHALE		YIKIM		YENİ YAPI		SONDAJ		RÖLÖVE		RESTORASYON		REKONSTRÜKSİYON		TOPLAM	
	#	Karar	#	Karar	#	Karar	#	Karar	#	Karar	#	Karar	#	Karar	#	Karar
ALİDEDE	0		1	1 OL	1	1 OL	0		2	2 OL	3	2 OL 1 T	0		7	6 OL 1 T
BEŞ OCAK	0		0		0		0		1	1 OL	0		0		1	OL
KARASOKU	3	3 Yİ	0		5	4 OL 1 T	4	3 OL 1 T	3	2 OL 1 OZ	7	6 OL 1 OZ	1	1 OL	23	16 OL, 2 OZ, 2 T, 3 Yİ
KAYALIBAĞ	6	3 Yİ, 1 U 1 T, 1 RP	1	1 OZ	10	7 OL 3 OZ	11	10 OL 1 T	6	6 OL	15	15 OL	1	1 OZ	50	38 OL, 5 OZ, 2 T, 1 U, 1 RP, 3 Yİ
KURUKÖPRÜ	9	5 Yİ, 3 U 1 MS	2	2 OL	3	3 OL	5	5 OL	6	4 OL 2 U	5	5 OL	1	1 OL	31	20 OL, 5 Yİ, 5 U, 1 MS
SARIYAKUP	5	4 Yİ 1 Y	4	2 OL 1 OZ 1 Yİ	5	5 OL	3	2 OL 1 T	7	3 OL 2 OZ 1 U, 1 YP	13	8 OL 2 OZ 2 T, 1 U	3	2 OL 1 T	40	22 OL, 5 OZ, 5 Yİ, 2 U, 4 T, 1 YP, 1 Y
TEPEBAĞ	18	12 Yİ, 4 U 1 OZ, 1 Y	5	5 OL	24	17 OL, 5 OZ 2 U	13	9 OL 4 T	15	13 OL 1 OZ, 1 U	24	18 OL, 3 OZ 1 T, 1 U, 1 Yİ	6	4 OL, 1 OZ, 1 T	105	66 OL, 11 OZ, 6 T, 8 U, 13 Yİ, 1 Y
TÜRKOCAĞI	2	2 Yİ	0		3	3 OL	2	1 OL 1 U	2	2 OL	5	5 OL	1	1 OL	15	12 OL, 2 Yİ, 1 U
ULUCAMI	2	1 Yİ 1 U	4	3 OL 1 OZ	15	10 OL, 1 OZ 1 T, 1 U, 1 Y, 1 S	3	3 OL	10	8 OL 1 OZ, 1 T	19	15 OL 1 OZ 2 T, 1 U	4	3 OL 1 U	57	42 OL, 4 OZ, 4 U, 4 T, 1 Y, 1 Yİ, 1 S
TOPLAM	45	1 OZ, 1 T, 9 U, 30 Yİ, 1 RP, 1 MS, 2 Y	17	13 OL, 3 OZ, 1 Yİ	66	50 OL, 9 OZ, 2 T, 3 U, 1 Y, 1 S	41	33 OL, 7 T, 1 U	52	41 OL, 5 OZ, 4 U, 1 YP, 1 T	91	74 OL, 7 OZ, 6 T, 3 U, 1 Yİ	17	12 OL, 2 OZ 2 T, 1 U	329	223 OL, 27 OZ, 19 T, 21 U, 32 Yİ, 1 RP, 1 MS, 3 Y, 1 S, 1 YP

Yİ: Yasal İşlem. U: Uyan. T: Tespit. RP: Rekonstrüksiyon projesi. MS: Mahkeme Sonucunun istenmesi. OL: Olumlu. OZ: Olumsuz. Y: Yıkım YP: Yeni Proje. S: Sondajın Yapılması

veya izinsiz olması sonucu mal sahibinin uyarılmasına karar verilmiş, diğerlerinde ise mal sahibi hakkında yasal işlem başlatılmıştır (Bkz. Çizelge 3.1.1). Bu veriler AKTVKK'nun Sit Alanındaki yapılara ya da parsellere yapılacak müdahalelere genel olarak olumsuz bir yaklaşım sergilemediğini, ancak Plan'a aykırı ya da izinsiz müdahalelere karşı gerekli tavrı sergilediğini ortaya koymaktadır.

10 yıl içerisinde Koruma Kurulu'na yapılan başvuruların yaklaşık %28'i restorasyon projeleri, % 20'si ise yeni yapı için gerçekleştirilmiştir (Bkz. Çizelge 3.1.1). Bu durum alanda Plan'ın öngördüğü şekilde hem kültür varlıklarının ayağa kaldırılması, hem de imarlı alanlarda yeni yapılaşmaya izin verilerek alanın ekonomik ve sosyal açıdan canlandırılması yönünde adımlar atıldığını düşündürülebilir. Ancak restorasyonu yapılan binalar genellikle kamu ve vakıf mülkiyetinde olan anıtsal yapılardır ve Kentsel Sit Alanları'nın canlandırılması için bu binaların sayıları yetersiz kalmaktadır. Anıtsal yapıların sit alanında dağınık biçimde yer alması, yoğun trafik akışının olduğu caddelerle ayrılmalara ve yapıları birbirine bağlayacak yaya akslarının olmaması, restore edilen yapıların algılanmasını ve alanın tamamı için örnek oluşturmalarını engellemektedir.

Kararların %32'si Tepebağ Mahallesi, % 17'si Ulucami Mahallesi, % 15'i Kayalıbağ Mahallesi, %12'si ise Sarıyakup Mahallesi'ndeki parseller için alınmıştır. Bu durum Tepebağ ve Sarıyakup Kentsel Sit Alanlarındaki yapılaşma ve onarım faaliyetlerinin Sit Alanı bütününde ağırlıklı olarak gerçekleştiğini düşündürmektedir. Alidede, Beş Ocak ve Türkocağı Mahallelerini kapsayan alanlar için alınan kararların az sayıda olması ise, söz konusu mahallelerin küçük bir bölümünün 3. Derece Arkeolojik Sit Alanının sınırları içinde kalmasının sonucu olabilir.

Alınan kararlardan Sit Alanındaki izinsiz müdahalelerin %40'ı, yeni yapı başvurularının %36'sı, rölöve başvurularının %29'u, restorasyon projesi başvurularının %26'sı ve rekonstrüksiyon başvurularının %35'i Tepebağ Mahallesi'ndeki parseller ve yapıları kapsamaktadır (Bkz. Çizelge 3.1.1). Bu durum yapılaşma baskısının en fazla Tepebağ Mahallesi'nde gerçekleştiğini düşündürmekte ise de, Şekil 3.3.2'de görülebileceği gibi Tepebağ Mahallesi'nde yapılaşma kentsel sit alanı dışındaki etkileme geçiş alanında yoğunlaşmış, mahallenin içlerinde sit alanı içinde kalan parsellerde boşalma söz konusu olmuştur. Tepebağ Mahallesi'ndeki kültür mirasının sayısının fazlalığı düşünüldüğünde rölöve ve restorasyon projesi başvurularının yoğun olması beklenen bir durumdur, ancak başvuruların sayısının fazlalığı Tepebağ Mahallesi'nde kültür mirasına yönelik onarımların kapsamlı bir biçimde gerçekleştirildiği anlamına gelmemektedir. Zira 24 adet rölöve ve restorasyon projesi başvurusunun sadece iki adedi özel mülkiyetteki sivil mimarlık ürünleri için, diğerleri ise anıtsal yapılar veya vakıf mülkiyetindeki kültür varlıkları için olmuştur.

Çizelgedeki verilerde dikkat çeken bir başka husus yeni yapı yapılabilmesi için sondaj başvurularının %32'sinin Tepebağ Mahallesi sınırları içindeki parselleri kapsamasıdır. Bunun sebebi 1. Derece Arkeolojik Sit Alanı'nın Tepebağ Mahallesi'nde bulunması olmalıdır. Genel olarak bakıldığında 2002 ve 2006 yıllarında on adet, 2003 ve 2005'te beş adet, 2007 yılı içinde ise iki adet sondaj başvurusu yapılmıştır.

### 3.2. Sit Alanındaki Kültürel Mirasın Nitelik ve Niceliksel Durumu

KAİP çalışmalarına başlandığında 3. Derece Arkeolojik Sit Alanı sınırları içerisinde 29'u anıtsal yapı, 173'ü sivil mimarlık ürünü toplam 202 adet tescilli kültür varlığı ve üç adet tescilli sokak bulunmaktadır<sup>1</sup>. KAİP ile birlikte tamamı çalışma alanı içerisinde yer alan 21 adet sivil mimarlık ürünü ve 12 adet anıtsal yapı tescile, 119 adet yapı ise "Çevresel Değerli Yapı" statüsünde değerlendirilmek üzere önerilmiştir<sup>2</sup>. KAİ Planının onaylandığı 30.06.1998 tarihi itibarıyla çalışma alanındaki tescilli anıtsal kültür varlığı sayısı 41, tescilli sivil mimarlık ürünü sayısı 214 olmuştur. KAİ Planının onaylanıp yürürlüğe girmesinden sonra birisi Bakımoğlu Mescidi, diğeri sivil mimarlık ürünü olmak üzere iki adet kültür varlığı daha tescil edilirken, iki adedinin de yanlışlıkla yapılmış tescil kaydı kaldırılmıştır.

Tescilli kültür varlıklarının 2008 yılı itibarıyla ne durumda oldukları incelendiğinde Tepebağ Kentsel Sit Alanında toplam 27 tescilli kültür varlığının yıkıldığı, 20 adet yapının ise harap duruma geldiği, Sarıyakup Kentsel Sit Alanında ise 16 yapının yıkıldığı, 15 yapının ise harap duruma geldiği ortaya çıkmıştır. En fazla hasarın Tepebağ Mahallesi'ndeki yapılarda gerçekleştiği görülmektedir (Bkz. Şekil 3.2.1). Tepebağ Mahallesi'ndeki tescilli kültür varlıklarının 16 adedi günümüze ulaşmamışken, 13 adedi ise harap durumdadır. Bu veri yukarıda açıklamaya çalıştığımız Tepebağ Mahallesi'ndeki yapılaşma baskısının fazlalığı ile birleştirildiğinde, fiziksel doku açısından en büyük değişimin Tepebağ Mahallesi'nde gerçekleştiği söylenebilir.

1998 yılında gerçekleşen depremden sonra hasarlı duruma gelen Ulucami, Ulucami Medresesi, Hasan Ağa Cami, Şeyhoğlu Mescidi gibi anıtsal tescilli kültür varlıkları onarılmıştır. Alanda vakıf mülkiyetinde olup restorasyon aşamasındaki Musabalı Konağı gibi sivil mimarlık ürünleri de bulunmaktadır. Bununla birlikte, tüm Sit Alanında özel mülkiyette olup iyi durumda olan sadece 12 adet tescilli kültür varlığı bulunmaktadır. 65 adet tescilli kültür varlığı ise özgün mimari özelliklerinin bir bölümünü korumakla birlikte bakımsız bırakılmaları ya da yanlış müdahalelere maruz kalmaları sebebiyle orta niteliktedir.

Son on yıl içinde çalışma alanını oluşturan 3. Derece Arkeolojik Sit Alanı sınırları kapsamındaki alanda gerek kentsel, gerekse tek yapı ölçeğinde yaşanan değişimler sonucunda, geleneksel doku, özgünlüğünü önemli ölçüde yitirmiştir. Bunun sebepleri Yerel Yönetimin bu stratejiyi gerçekleştirecek araçları uygulamaması ve mülk sahiplerinin Kentsel Sit Alanlarında öngörülen değişim paralelinde yatırım yapma güç ve isteğinde olmaması olabilir.

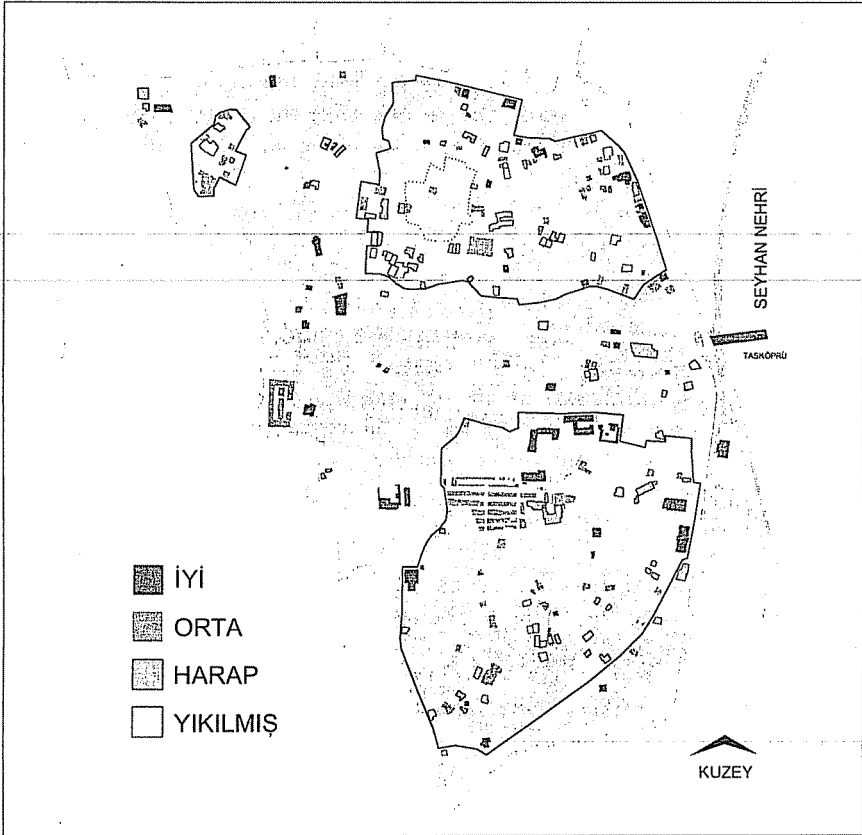
### 3.3. Sit Alanındaki Yapıların Kat Yükseklikleri

Kentsel sit alanındaki fiziksel değişimin saptanması amacıyla yapılan ilk analizler alandaki yapıların kat yüksekliklerinin günümüzdeki durumunun tespitine yönelik olmuş ve çalışma alanında yer alan her parseldeki yapının kat yüksekliği belirlenmiştir. Böylece, fiziksel yapısında yoğunlaşma ve boşalma ortaya çıkan mahalle ve yapı adaları

<sup>1</sup> AKTVKK Müdürlüğü arşivi

<sup>2</sup> 07.03.1998 tarih ve 3029 numaralı AKTVKK kararı Eki Liste 4

da tespit edilebilmiştir. Şekil 3.3.1’de görüldüğü gibi 1996 ile 2007 yılları arasında Sit Alanındaki kat yükseklikleri ana caddeler üzerinde hissedilir biçimde artmış, özellikle Abidinpaşa Caddesi, Çakmak Caddesi ile Cemal Gürsel Caddesi üzerinde ve Küçük Saat Meydanı’na yakın kesimlerde yoğunlukla yer almıştır. Mahallelerin iç kesimlerinde ise yükseklik artışı gerçekleşmemiştir.



**Şekil 3.2.1.** Çalışma Alanındaki Tescilli Yapıların 2008’deki Durumu (Adana Kentel Kültür Envanteri (2006) bilgileri güncellenerek hazırlanmıştır)

KAİP Kararları ile Yeni Yapılaşma, Özel Proje Alanları ve mevcut imar uygulamalarının sürdürüleceği alanların dışında 3 Kademe halinde öngörülmüştür. Mevcut imar uygulamalarının sürdürüleceği alanlarda Adana kent bütününe hizmet edecek büyük ölçekli iş hanları, iş merkezleri, otel vb. ticari faaliyetlerin yer alması önerilmiş, bu nedenle yapılaşma düzeni, alanın yeniden yapılaşmasını sağlayacak düzeyde (E=5.0) yüksek yoğunluklu olarak belirlenmiştir<sup>3</sup>. Kentel Sit Alanları dışındaki alanlarda kat yüksekliklerinde artış olması plandaki bu kararın bir yansıması olarak düşünülebilir. Yeni yapılaşma teşvik edildiğinden yüksek yoğunluklu

<sup>3</sup> 1/5000 ÖLÇEKLİ ADANA KORUMA AMAÇLI NAZIM İMAR PLANI PLAN NOTLARI, Madde III

yapılaşmanın önerildiği bu alanlarda on yıl içerisinde yoğunluk artmıştır. Buna karşın yapılaşmaya çeşitli derecelerde sınırlamalar getirilen Kentsel Sit Alanları ve Etkileme Geçiş Alanlarındaki yapı adalarında ise yıkılmış olan tarihi yapıların yerleri boş kalmış, böylece parsel ölçeğinde boşalmalar ortaya çıkmış ve yoğunluk azalmıştır.

Mevcut imar uygulamalarının sürdürüleceği alanlarda dikkat çeken bir başka durum parsel boyutlarındaki büyümedir. Kent merkezinde 1998'den sonra inşa edilen ticari yapılar, kütleleri ve yükseklikleri ile tarihi doku ile bağdaşmayan bir görüntü sergilemektedir. Kentsel sit alanlarının çevresini saran bu yüksek katlı binalar, sit alanı içerisindeki kültür varlıklarının algılanmasını engellemekte ve tarihi kent merkezindeki rantı tetiklemektedir. Ayrıca yapılaşmaya sınırlar getirilmiş olan sit alanlarında "*parsel büyüklüğü ne olursa olsun hiçbir yapının oturum alanı 110 m<sup>2</sup>'yi geçemez*"<sup>4</sup> kararı sebebiyle kentsel sit alanı içerisinde mülk sahibi olan kişiler, mülkü ile getirim sağlayamazken, sit alanının hemen dışında mülkü olan kişiler kısa zamanda yüksek getirim elde etmişlerdir.

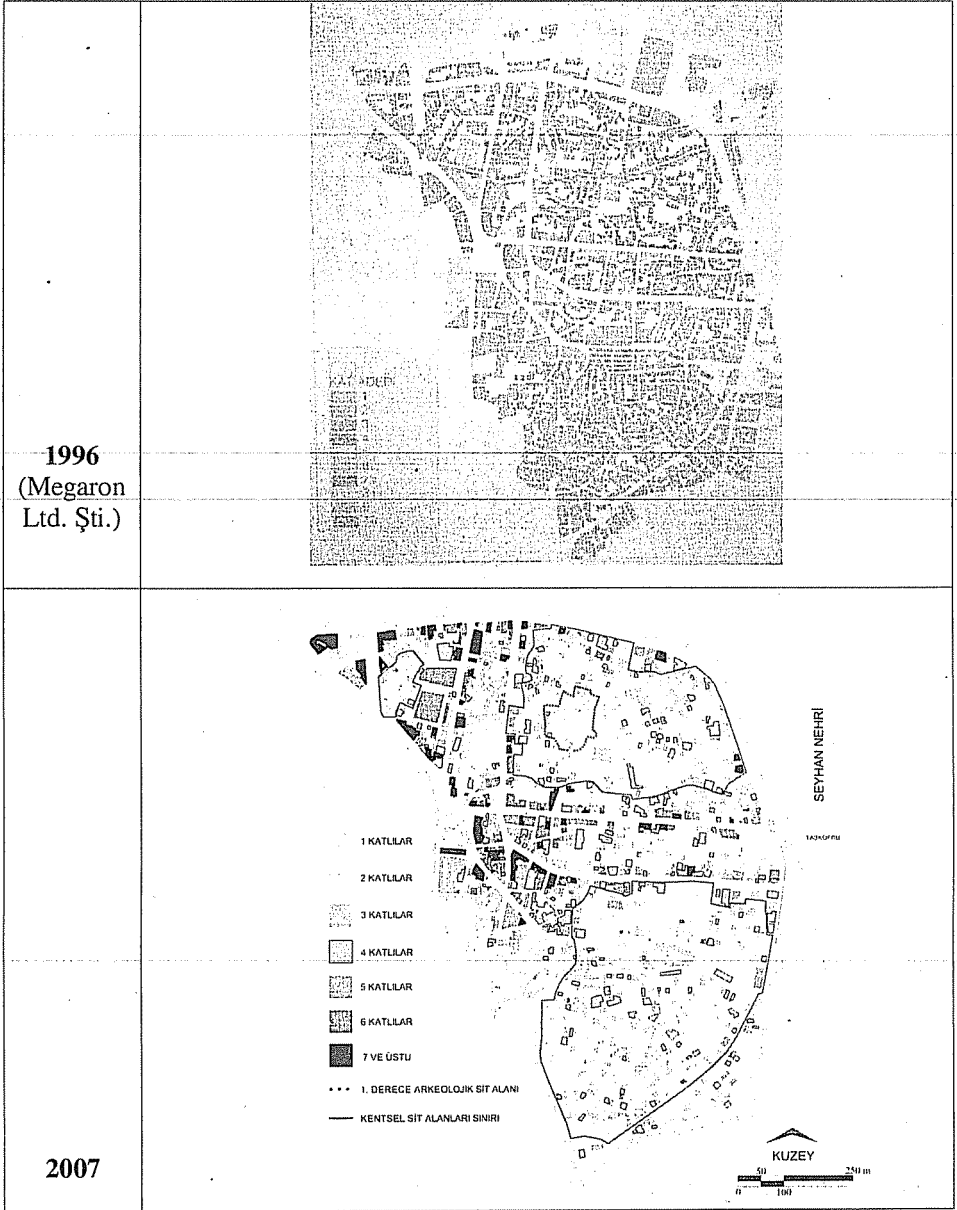
Fiziksel analizler sonucunda elde edilen en önemli bulgulardan bir diğeri uzun yıllar içerisinde kendiliğinden oluşmuş organik sokak dokusunun ve amorf yapı adalarının geçirmiş olduğu biçimsel değişimdir. Sokaklar özellikle iç kesimlerde sürekliliklerini kaybetmiş, yer yer yıkımlar sonucu oluşan tanımsız boşluklarla genişlemiş, yapı adaları ise parçalanarak özgün karakterlerini yitirmişlerdir. Şekil 3.3.2'de görüldüğü gibi ana caddeler üzerindeki parsellerin birleştirilmesiyle parsel boyutları büyümüş ve caddeye cephe verecek şekilde yeni yapılar inşa edilmiştir. Mahallelerin iç kesimlerinde ise, yapıların büyük çoğunluğunun deprem hasarlı, bakımsız veya terk edilmiş olması nedeniyle yıkımlar ortaya çıkmış, yıkılan yapıların yerine yenileri inşa edilmediği için yapı adalarında büyük boşluklar oluşmuştur. Bunun sonucu olarak sokaklar yok olmuş, organik sokak dokusunun takip edilemediği ve büyük boşlukların yer aldığı bir morfolojik yapı ortaya çıkmıştır.

Sit alanının hemen dışında yükselen ranta karşılık olarak sit alanı içerisinde ekonomik sıkıntı çeken mülk sahipleri, boşalan parselleri otopark olarak kullanmak yoluyla gelir elde etmek eğilimindedir. Sit alanı içerisinde mülk sahipliğinin, farklı yollarla cazip hale getirilmemesi halinde kentsel sit alanının tamamen otoparklardan oluşan, sokak dokusunu ve kentsel formunu kaybetmiş bir alana dönüşme tehlikesi artacaktır.

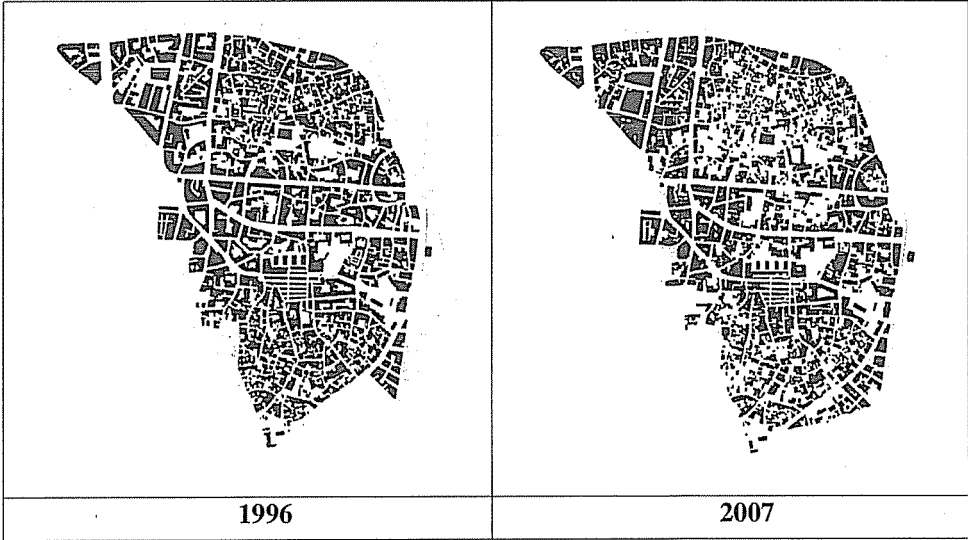
### 3.4. Sit Alanındaki Kullanım Değişiklikleri

Araştırma kapsamında, çalışma alanındaki fiziksel durumu tespit amacıyla her parselde bulunan yapının zemin kat ve normal katlarının hangi amaçla kullanıldığı, yapı adalarında farklı kullanımların söz konusu olup olmadığı, var ise nerelerde hangi kullanımların olduğu ve zemin katlar ile üst katlar arasında kullanım açısından farklılık olup olmadığı da araştırılmış ve 1996 yılındaki kullanımlarla karşılaştırılmıştır.

<sup>4</sup> ADANA SEYHAN KORUMA İMAR PLANI, PLAN KARARLARI, Madde 5.1.1.



Şekil 3.3.1. 1996 ve 2007 Yıllarında Çalışma Alanındaki Kat Yükseklikleri



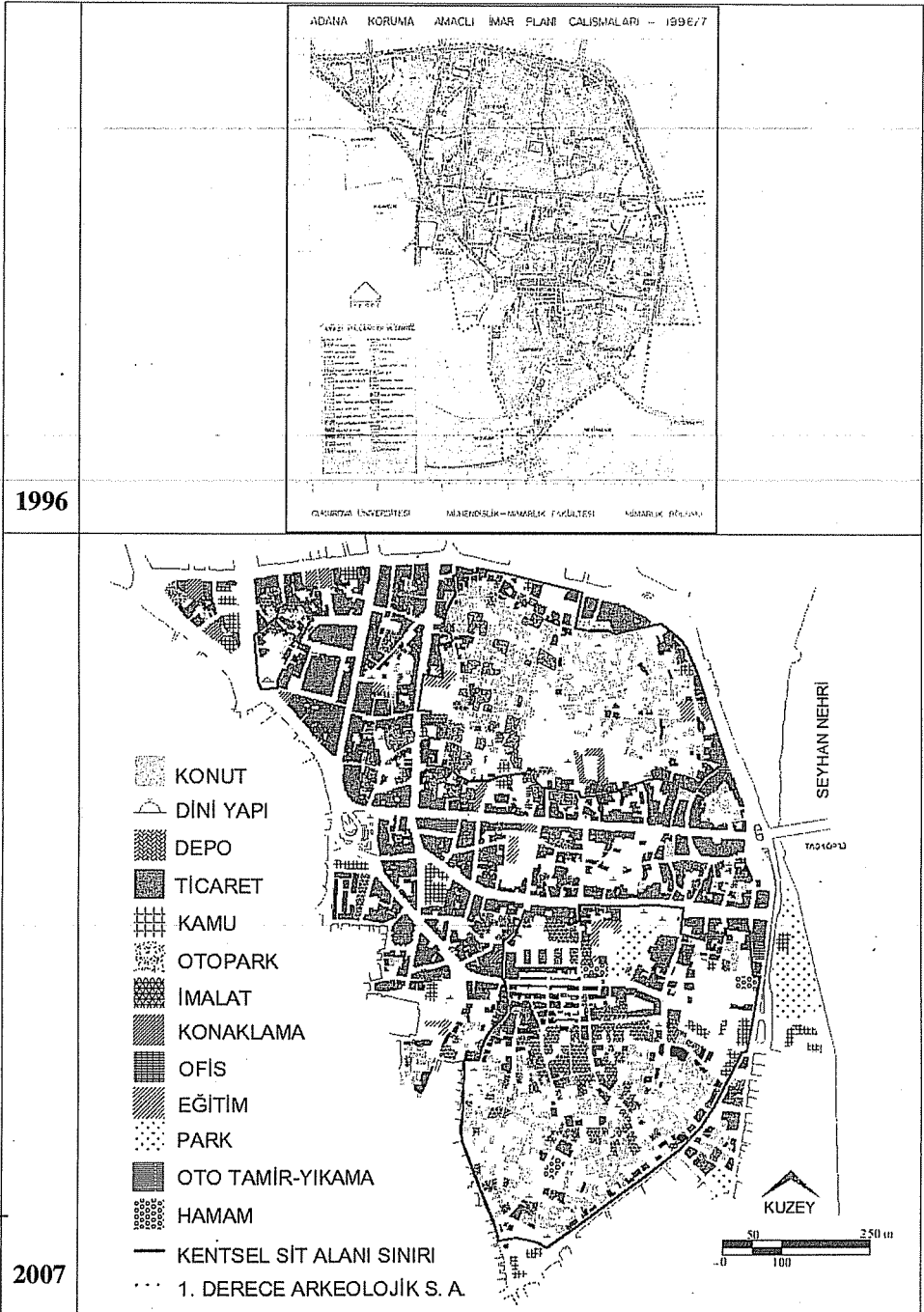
Şekil 3.3.2. Çalışma Alanının 1996 ve 2007'deki Dolu-Boş Oranı (1996 yılına ait harita KAİP eki Arazi Kullanılışı ve Sentez paftası esas alınarak oluşturulmuştur).

Alandaki zemin kat kullanımları karşılaştırıldığında kat yüksekliklerinin artış sebebi daha iyi anlaşılmaktadır (Bkz. Şekil 3.4.1). Mahallelerin iç kesimlerindeki konut kullanımı giderek azalmış, ticaret kullanımı caddelerden iç kesimlere doğru yayılmaya başlamıştır. Tepebeğ Kentsel Sit Alanı'nın güneyindeki Abidinpaşa Caddesi üzerinde yer alan toptan ticaret fonksiyonunun KAİP stratejisine aykırı olarak kuzeydeki Sit Alanı'na doğru genişlemekte olduğu ortaya çıkmıştır. Toptan ticaretin perakende ticarete oranla daha fazla alana ihtiyaç duyması kentsel sit alanında yoğunluk artışı yönünde baskı oluşturmaktadır.

2007 yılındaki zemin kat kullanımlarında dikkat çeken bir başka nokta da, imalathane kullanımının çalışma alanının kuzeyinde ve güneyinde iç kesimlere doğru yayılmaya başlamış olmasıdır. Bu imalathanelerden kuzeydekiler genelde matbaa iken güney bölgedekiler ayakkabı ve tekstil üzerine çalışan atölyelerdir. Üretim aşamasında yanıcı ve patlayıcı madde kullanan, aynı zamanda büyük iş makineleri ile çalıştılarından binanın statik ve hareketli yükünü artıran bu imalathanelerin en kısa zamanda sit alanından uzaklaştırılması gerekmektedir. Nitekim KAİ Planında sit alanının güneyinde bir site oluşturularak, sit alanındaki imalathanelerin transferi önerilmiş<sup>5</sup>, ancak gerçekleştirilmemiştir. Planın uygulanmaması sonucu imalathaneler 2007 yılında, 1998'den daha büyük bir tehdit ve tehlike unsuru olarak ortaya çıkmıştır.

Çalışma alanındaki normal kat kullanımlarına dair 1996 yılında bir harita hazırlanmamıştır, bu nedenle normal kat kullanımına dair analiz için sadece 2007 yılındaki durumu gösteren harita tartışılacaktır. Şekil 3.4.2'de görüldüğü gibi normal katlarda konut kullanımı zemin katlara oranla daha yaygındır ve kentsel sit alanları içerisinde konut yoğunluğu dikkat çekmektedir. KAİP kararlarına göre kuzeydeki

<sup>5</sup> ADANA KORUMA AMAÇLI İMAR PLANI RAPORU (1996), Madde 7.3., s: 51.



Şekil 3.4.1. Çalışma Alanındaki Zemin Kat Kullanımlarının 1996-2007 Yılları Arasındaki Değişimi (1996 yılına ait harita için kaynak Cüneyt Erginkaya)



Tepebağ Kentsel Sit Alanının Adana kent merkezinin restoran, lokanta, pansiyon, konut ve sosyal ağırlıklı kullanımların yoğunlaşacağı bir kentsel alan rolünü üstlenmesi amaçlanmıştır<sup>6</sup>. Ancak sit alanı içerisinde Seyhan Nehri kıyısındaki birkaç yapı dışında konut dışında fonksiyon bulunmadığı, işlevsel olarak bir dönüşümün yaşanmadığı görülmektedir.

Sarıyakup Kentsel Sit Alanının rolü ise ticari fonksiyonları bünyesinde barındıran geleneksel zanaatın ve satış ünitelerinin ihtisaslaştığı ticaret merkezi olarak belirlenmiş, ancak zemin katları imalathane üst katları depo olan Kazancılar Çarşısı ile birlikte güneydeki bölgelerde konut yoğunluğu devam etmiştir. Kuruköprü Mahallesi'ndeki kentsel sit alanında ise alanı çevreleyen ticaret fonksiyonuyla birlikte iç kısımlarda kalan binaların terk edilmiş ya da yıkılmış oldukları ortaya çıkmıştır.

Adana tarihi kent merkezini kapsayan çalışma alanındaki binaların normal katlarında bekleneneği üzere ofis kullanımının yoğun olduğu gözlenmiştir. Bunlar genellikle bankalar, iş hanları bünyesindeki ofisler ve avukatlık bürolarıdır.

Sonuç olarak KAİ Planının yürürlükte olduğu 1998 yılından beri Kentsel Sit Alanları içerisinde konut fonksiyonu azalırken, ticaret fonksiyonunda artış olmuştur. Sit alanındaki pek çok yapı terk edilmiş ya da yıkılmış, yıkılan yapılardan boşalan parseller ise otopark olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca Tepebağ ve Sarıyakup Kentsel Sit Alanlarında imalathanelerin artış gösterdiği gözlenmiştir. Geleneksel merkezin fiziki karakteri ile çelişen ekonomik aktivite ve iş kollarının merkezden uzaklaştırılması ve kent merkezine canlılık getirecek yeni işlevlerin yüklenmesi, tarihi dokunun korunmasında dengeli bir ekonomik yapıya olanak tanıyacaktır (8). Ancak Adana'nın tek merkezli bir gelişim göstermiş olması kent merkezindeki aktiviteleri ve yoğunluğu artırdığından, öncelikli olarak kent bütününe göz önünde bulundurularak hazırlanacak bir master plana ihtiyaç duyulmaktadır.

#### 4. DEĞERLENDİRME

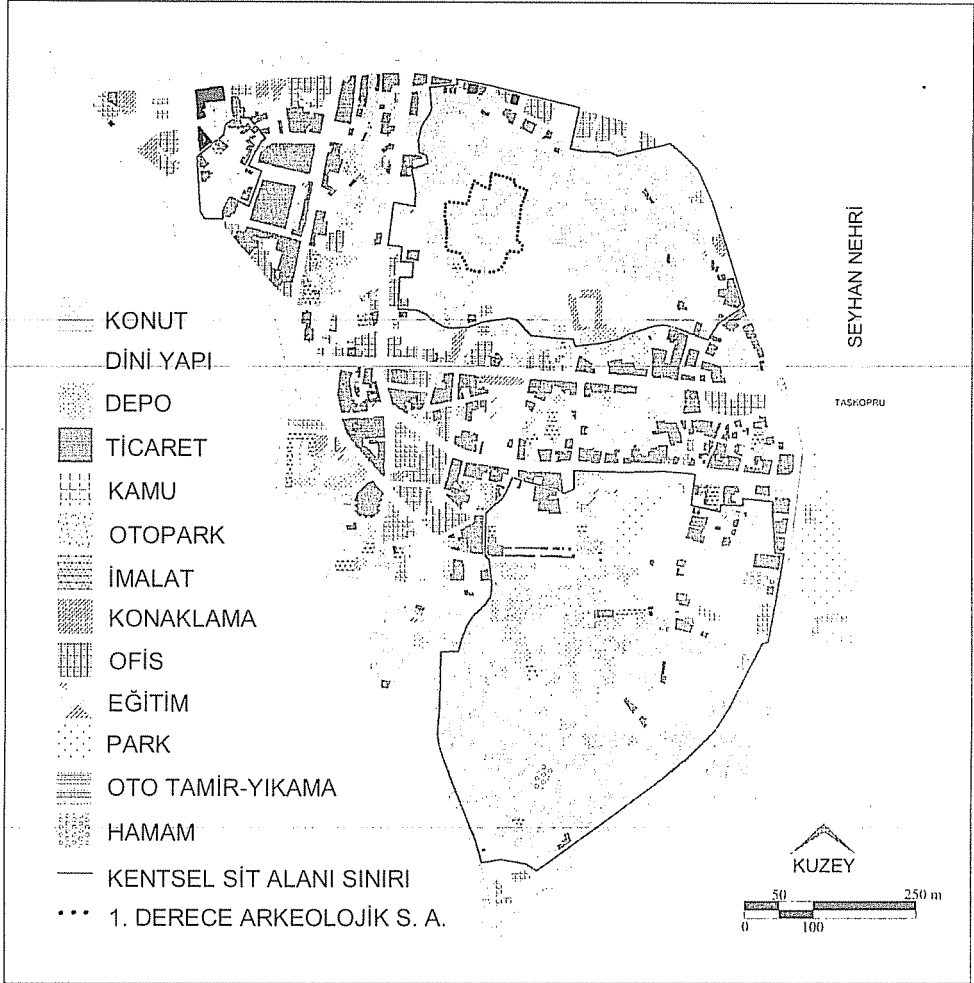
1996 yılında Tepebağ bölgesindeki geleneksel konutlar yeni yapılaşma yasağı olması ve kısıtlı trafik sayesinde kısmen kullanılabilir ve yenilenebilir durumda iken<sup>7</sup>, 2007'ye değin yaşanan süreçte, büyük bölümü yıkılmış veya harap duruma gelmiştir. Bölgedeki konut kullanımının zemin katlarda ticarete dönüşmeye başladığı, normal katlarda ise büyük ölçüde devam ettiği görülmektedir. Diğer iki bölgedeki geleneksel konutlar ise çoğunlukla yeni ve imalathane, depo gibi uygun olmayan işlevler yüklenmekten dolayı 1996 yılında harap durumda iken, 2007 yılında bu yapılara yüklenen imalathane ve depo işlevlerinde artış gözlenmiştir.

Mahalle içlerinde yerleşen ticarethane ve imalathaneler çoğunlukla geçimlik üretim içinde olduklarından dolayı buldukları mekânı terk etme eğiliminde değildir. Alanın tümü dikkate alındığında toplu üretimin gerçekleştirildiği iki mahalle görülmektedir. Bunlar 1996 yılında Sarıyakup Mahallesi'nde ayakkabıcılık siteleri olarak mekânsal organizasyon ve işbirliği içindeyken, 2007 yılında Tepebağ Mahallesi'nde benzer mekânsal organizasyon ve işbirliği matbaalar için oluşmaya başlamıştır. Merkez alanın kuzey kesimlerinde dışarı kaçma eğilimi olan hizmet birimlerinin olduğu KAİ Planı

<sup>6</sup> ADANA KORUMA AMAÇLI İMAR PLANI RAPORU (1996), Madde 7.3., s: 51.

<sup>7</sup> ADANA KORUMA AMAÇLI İMAR PLANI RAPORU (1996), Madde 7.2., s:50.

Raporunda belirtilmiştir<sup>8</sup>. Bu birimlerden Abidinpaşa Caddesi üzerinde yerleşmiş bulunanların da kent merkezinden uzaklaşmakta olduğu, sayıları azalan banka şubelerinden anlaşılmaktadır. Bununla birlikte ofis kullanımında artış gözlenmektedir.



Şekil 3.4.2. 2007 yılında Çalışma Alanındaki Normal Kat Kullanımları

Genel olarak değerlendirildiğinde, aksaklıklar olmasına rağmen Adana KAİP ilkeleri doğru biçimde belirlenmiş ve plana yansıtılmıştır. Ancak plan hedeflediği ve öngörüldüğü biçimde uygulanmamıştır. Planın uygulanmamasının ana nedeni 1998 yılında meydana gelen deprem ve Sit Alanı'na etkileri olarak gösterilmiş olsa da,

<sup>8</sup> ADANA KORUMA AMAÇLI İMAR PLANI RAPORU (1996), Madde 7.2., s:50.

çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizler Plan'ın uygulanması için yeterli istek ve çabanın da gösterilmediğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte Plan'ın uygulanmasından sorumlu olan Seyhan İlçe Belediyesi bünyesinde koruma konusunda ya da sit alanındaki yapılaşma konusunda uzman bir birim bulunmamaktadır. Böyle bir birimin İlçe Belediyesi bünyesinde tesis edilmesi yapılaşmanın kontrolünün hem daha sağlıklı hem de daha kolay gerçekleştirilmesini sağlayacaktır.

Adana KAİP hazırlanırken ticari alışveriş (perakende) odaklarını geliştirerek kullanım değerinin koruma uygulamalarına katkısını artırmak stratejilerden birisi olarak belirlenmiştir. Ancak ticaret fonksiyonundan elde edilen gelir koruma uygulamalarına aktarılmamıştır. Kentsel Sit Alanları kendi haline bırakılmış, Özel Proje Alanları için detaylı projeler geliştirilmemiş, Sit Alanındaki yapılaşma kontrol edilmemiş ve ulaşım problemi çözüme kavuşturulmamıştır. Bunun sonucunda bazı bölgelerde ticaret ağırlıklı yapılaşma yoğunluğu artmış, tescilli kültür varlıkları ve geleneksel yapılar yok olmuştur. Bütün bu problemlere rağmen KAİP hala belirli boyutlarıyla uygulanabilir durumdadır. Geçen on yıl içerisinde Sit Alanında gerçekleşen fiziksel, sosyal ve ekonomik değişim Planın orijinaline sadık kalınarak uygulanmasını zorlaştırırsa da, ortaya çıkan olumsuzlukları avantaja çevirmek ve Adana kent merkezini geleneksel tarihi dokusuyla yeniden canlandırmak ana hedef olmalıdır.

17 Mart 2006 tarih ve 77 sayılı kararla Adana Büyükşehir Belediyesi Meclisi'nin kentsel sit alanını "kentsel dönüşüm alanı" olarak ilan etmesi Kentsel Sit Alanının korunması ve iyileştirilmesi yönünde kullanılabilecek bir gelişmedir. Ancak alanın tamamı için geniş bir bakış açısı ile yaklaşarak, dönüşümün/yenilemenin nasıl gerçekleştirileceği belirlenmelidir. Ayrıca kentin mücavir alanının genişlemesi ve Baraj Gölü'nün kuzeyindeki bölgenin imara açılmasıyla yeni bir fırsat daha doğmuştur. İmara açılan alanlarda yapılacak inşaatların Belediye gelirlerinden bir kısmı kent merkezinin kurtarılması için kullanılmak üzere bir havuza aktarılabilir. Bunun için de kapsamlı bir çalışmanın yapılması şarttır.

Çalışma alanındaki mülk sahipleri açısından değerlendirildiğinde, Adana Kentsel Sit Alanında 10 yılda gerçekleşen fiziksel değişim Kuban'ın (2000) yasa zoru ile pasif bir korumanın ancak bir süreliğine yapılabileceği, fakat yapıların tahrip olmasını engellemeyeceği düşüncesini desteklemektedir. Bunun altında yatan ana neden özel mülkiyetteki kültür varlıklarının, sahiplerine yaptırım uygulanarak restore ettirilemeyeceği gerçeğidir (9).

Koruma amaçlı planlama süreci kentsel sit alanlarının ilanı ile başlamakta, KAİ Planının hazırlanması ile sit alanı içindeki yapılaşmayı denetim altına almak için yasal zemin kazanmakta ve uygulama süreciyle devam etmektedir. Planın uygulanması süreci planlama sürecinde en uzun süre devam eden, ancak izleme ve gözden geçirmenin ihmal edildiği süreçtir. Belediyelerin ve Valiliklerin görev alanına giren uygulama aşamasında, uzmanlar tarafından KAİP stratejilerinin gerçekleştirilip gerçekleştirilmediğinin düzenli aralıklarla kontrol edilmesi, aksayan noktaların tespit edilerek çözüm önerilerinin geliştirilmesi imar planlarının doğru ve eksiksiz bir şekilde uygulanmasını sağlamak için yerine getirilmesi gereken görevlerdir. Kısaca mevcut yasal çerçeve tam olarak uygulanmalı, görev dağılımı organize edilmeli ve düzenli olarak kontrol edilmelidir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Larkham, P.J., "Conservation and the City", London: Routledge, 1996.
2. Reade, E., "The Little World of Upper Banghor: part 1: how many conservation areas are slums?", *Town and Country Planning*, Vol. 60, s: 340–343, 1991.
- www.kultur.gov.tr
3. Adana Seyhan Koruma İmar Planı, Plan Kararları (1998).
4. 1/5000 Ölçekli Adana Koruma Amaçlı İmar Planı Plan Notları, Adana Koruma Amaçlı İmar Planı Raporu (1996).
5. Madran, E., "Adana Sit Alanı –Koruma Planı ve Deprem", Adana'da Deprem ve Kültürel Miras, Mimarlar Odası Adana Şubesi yayını, s: 40–47, Adana, 1998.
6. Ekinci, O., "Adana'da Deprem ve Kültürel Miras", Mimarlar Odası Adana Şubesi yayını, 1998, s: 2–6, Adana, 1998.
7. Gök, T., "Tepebağ ve Sarıyakup Mahallelerinde Koruma Kararları", Adana'da Deprem ve Kültürel Miras, Mimarlar Odası Adana Şubesi yayını, s: 34–40, Adana, 1998.
8. Karaman, F., "Kentsel Alanlarda İşlevsel Değişim ve Tarihi Dokuya Etkileri", Adana'nın Kentsel Sorunları ve Koruma Amaçlı Planlama, Tasarım, Uygulama Hedefleri Sempozyumu, TMMOB Mimarlar Odası Adana Şubesi, Ç.Ü. Mimarlık Bölümü, s: 45–53, Adana, 1996.
9. Kuban, D., "Tarihi Çevre Korumanın Mimarlık Boyutu", YEM Yayın, İstanbul, 2000.

**BELEN – TOPBOĞAZI (HATAY) ARASI YOL YAPIM ÇALIŞMALARI****Fırat YELKEN**

Tüsan Yapı San. A.Ş.

**Mesut ANIL**

Ç.Ü., Maden Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** *Bu çalışmada, Belen-Topboğazi Yolunun yapımında kullanılan agregaya ve asfalt bitümlerinin uygun karışım yapılarak yola çeşitli tabakalar halinde serildikten sonra kontrol testleri yapıp Karayolları Teknik Şartnamesine uygunluğu irdelenmiştir. Şartnamede belirtilen deneylerin tamamı standartlara uyularak müteahhit firmanın laboratuvarında Karayolları laboratuvar teknisyeninin kontrolünde yapılmıştır. Ayrıca yol yapımında kullanılan iş makinaları tanıtılarak bunların nasıl daha verimli çalıştırılabileceği irdelenmiştir. Sonuç olarak kullanılan yol malzemesinin şartname sınırları içerisinde kalınarak uygun kalitede yol yapımının gerçekleştirildiği görülmüştür.*  
**Anahtar Kelimeler:** *Belen-Topboğazi, Agregaya, Asfalt, Yol.*

**ROAD OF BETWEEN BELEN-TOPBOGAZI (HATAY) BUILDING WORKS**

**ABSTRACT :** *In this study, it was aimed at ensuring the compliance with the technical requirements of highway by means of implementing some kinds of tests and making a appropriate mixture of agregate and asphalt bitumens used at building the road of Belen-Topboğazi after spreading out in the form of miscellaneous layers. All the tests have been performed during building stage at the contractor's firm lab. by Highway laboratory technician acc. to standards identified at the spesifications. Moreover, it is explicated how to be run the machines by means of introducing the ones used at building roads. As a result, used materials of road were into limit of specifications and build of road was materialized at appropriate quality.*

**Key words:** *Belen-Topboğazi, Agregate, Asphalt, Road.*



Bu yol yapım projesinde önceden bilinen bir yöntemin (Esnek Kaplama-Beton Asfalt) Belen – Topboğazi yolunda uygulanması, yapılan kontrol deneylerinde elde edilen sonuçların Karayolları Teknik Şartname verileri ile uygunluğu irdelenmiştir.

Mevcut yolun banket kısmında kalan yüksek yerlerin 59 cm kazılması, çukur olan yerlerin de mevcut yola 59 cm'lik bir seviyeye kadar da dolgu yapılması şeklinde yol yapımına başlanmıştır ve bütçe durumunun elverişli olmaması sebebiyle yol yapımı ancak 2 yılda tamamlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu proje için hazırlanan şartname Karayolları Genel Şartnamesi' ne uygun olarak hazırlanmış ve tüm işlemler bu teknik şartname çerçevesinde sonuçlandırılmıştır.

Yol yapımında birçok malzeme kullanılmıştır. Bunlar;

### 2.1. Agregalar

Yol kaplamalarında agregalar stabiliteden sorumlu başlıca parametre olup kullanım payı olarak da önemli paya sahiptir. Gerçekten de bağlayıcısız temel ve alttemel tabakalarının tamamı bitümlü sıcak karışımların ağırlıkça %90-95'i ve hacimce %80-85'i beton (rijit) kaplamaların ağırlıkça %70-80'i ve hacimce %60-75'i agregadır.

### 2.2. Karışımda Kullanılacak Bitümlü Bağlayıcılar

Bitümlü tabakaların yapımı için agregaya ilave edilmek suretiyle hazırlanacak karışımda bitümlü bağlayıcı olarak TS 1081 EN 12591- "Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-Kaplama Sınıfı Bitümler-Özellikler" standardına uygun 40/60 penetrasyonlu bitüm, 50/70 penetrasyonlu bitüm 70/100 penetrasyonlu bitüm kullanılmaktadır. Hangi bitümün hangi bölge ve yörede kullanılacağı hususu iklim koşullarına bağlı olarak Karayolları Genel Müdürlüğüne belirlenmektedir.

Karışımda soyulmaya karşı mukavemeti düşük olan agregalar kullanılması halinde, soyulma mukavemetini artırıcı katkı maddeleri kullanılıp; katkı ilavesi servis tankında yapılır. Servis tankının ihtiva ettiği bitümlü bağlayıcının en az 3/4 ü, sirkülasyona veya karıştırma işlemine tabi tutulmadan kesinlikle kullanılmamaktadır. Karıştırma işlemi karışım homojen oluncaya kadar sürdürülür. Bu projede Hatay bölgesinin sıcak ılıman iklimi göz önüne alınarak diğer bitüm çeşitlerine göre daha yüksek yumuşama noktasına sahip AC 50/70 penetrasyonlu bitüm kullanılmıştır.

### 2.3. Yapıştırıcı ve Astar Olarak Kullanılacak Bitümlü Malzemeler

Astar malzemesi olarak TS 1083 e uygun MC-30, TS 1082 ye uygun SS-1, SS-1h, CSS-1, CSS-1h olarak kodlanan malzemelerden biri kullanılır.

Yapıştırıcı olarak, TS 1082-"Yol Üstyapılarında Kullanılan Asfalt Emülsiyonları" Standardına uygun RC250, RC70, RS-1, RS-2 ve CRS-1 ve CRS-2 malzemelerinden biri seçilmektedir. Belen-Topboğazi arası yol yapımında çabuk kür olan RC250 ve RC70 kodlu yapıştırıcılar tercih edilmiştir.

### 2.4. Yol Yapımı İçin Kullanılan Makineler

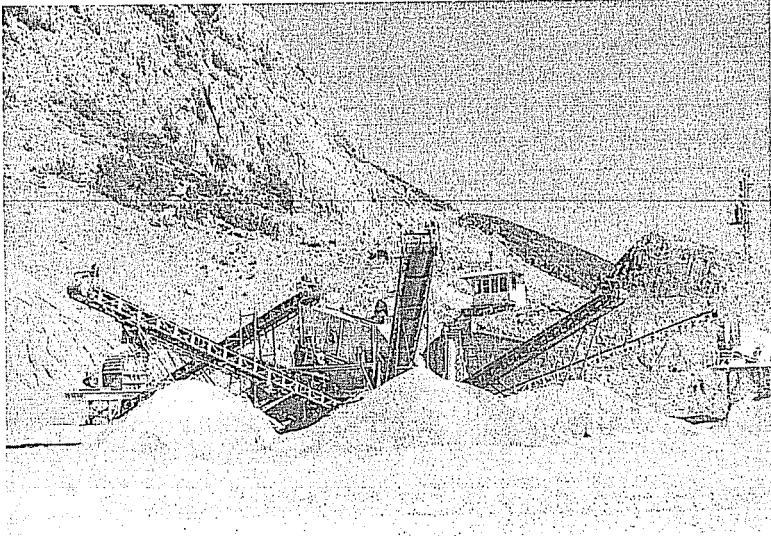
Belen – Topboğazi yolunun yapımında kullanılan makinelerin tamamı projenin yapımını üstlenen firmanın bünyesinde bulunmaktadır. Taşocağından agreganın

üretilmesi, mekanik tabakası için uygulanacak plent-miks temelini üretmesi, asfaltın üretmesi, yol serme ve sıkıştırmada kullanılan makine ve teçizatlar şunlardır.

## 2.5. Konkasör Tesisi

Yol yapım çalışmalarında kullanılan agreganın üretimi konkasör tesisinde gerçekleşmektedir (şekil 2). Na-Ca marka olan primer kırıcı alt kısmı sabit üst kısmı hareketli çeneden ibarettir. 110 cm çene açıklığına sahip olup saatte 150 ton taş kırma kapasitesine sahiptir. Tesiste primer kırıcıdan başka 2 adet daha kırıcı olup bunlardan biri ikincil kırıcı diğeri ise tersiyer toz makinesidir. İkincil kırıcıdan geçen malzeme 2000 x 5000 mm ebatlarındaki elek takımına dökülmekte ve burada sınıflara ayrılmaktadır. En üstteki eleğin üzerinde kalan malzeme tersiyere beslenmekte ve buradan çıkan kırılmış malzeme de 1600 x 5000 mm ebatlarındaki elek takımına dökülüp sınıflandırılmaktadır. Elek üstü iri malzeme bir başka bant aracılığı ile tekrar kırıcıya beslenmektedir. Her bir elek takımından birbirinden farklı boyutlarda 3 çeşit (0-5 mm, 5-10 mm, 10-19 mm) malzeme elde edilmektedir.

Elek takımına yerleştirilen elekler kare düzen ile örülmüş eleklerdir. 5 mm, 10 mm, 19 mm, 25 mm ve 38 mm açıklıklarındaki elekler kullanılarak yol yapım çalışmalarında kullanılacak malzemenin teknik şartname sınırları içerisinde istenilen gradasyondaki malzeme elde edilir. Örneğin 5, 10, 19 mm göz açıklığına sahip eleklerin en alttan üste doğru sıralanmasıyla 0-5 mm, 5-10 mm 10-19 mm ebatlarında malzeme elde edilmiştir. Bu elekler yer değiştirilerek ilaveten 19-25 mm, 25-38 mm ebatlarında malzemelerde elde edilmiştir.

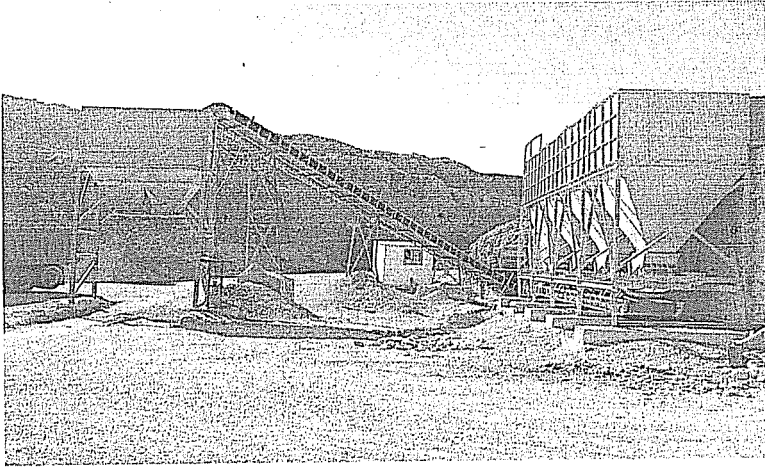


Şekil 2. Konkasör Tesisi



## 2.6. Mekanik Plent

Vuruşkan Makine imalatı olan ve 4 silodan oluşan şekil 3'te görülen plentmiks temel üretim tesisi saatte 300 ton temel malzemesi üretme kapasitesine sahiptir. Siloların ağzında açıklığı ayarlanabilen kapak mevcuttur. Konkasörde üretilen agreganın (0-5 mm, 5-10 mm, 10-19 mm, 19-25 mm ebatlarında) her grubunun ayrı ayrı silolara doldurularak siloların ağzındaki kapak açıklığı istenilen oranda ayarlanır. Akıtılan malzeme belirtilen oranda su eklenerek karıştırma tankında homojen bir şekilde karıştırılıp stok bunkerinde biriktirilir. Bunkerin altına yanaşan nakliye kamyonuna pnömatik sistemle çalışan tahliye kapağı açılarak mekanik malzeme yüklenir.



Şekil 3. Dört Silodan Oluşan Plent – Miks Temel Üretim Tesisi

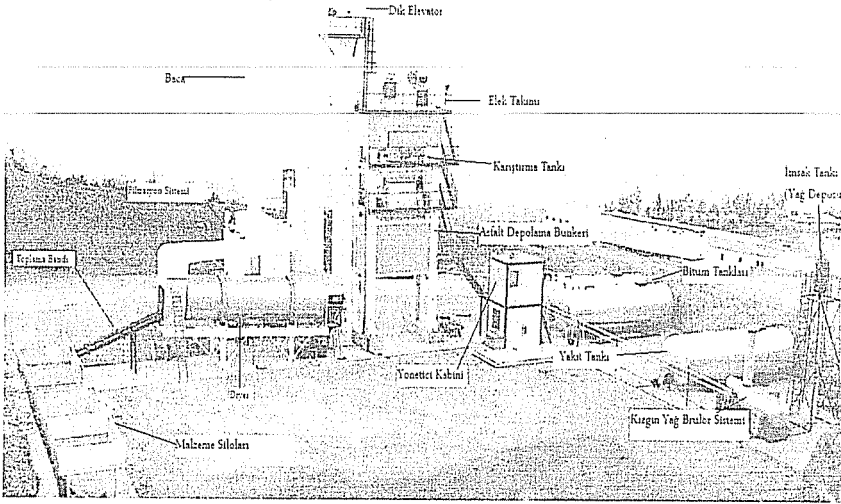
## 2.7. Asfalt Üretim Plenti

Asfalt plent tesisi; Şekil 4.'te görüldüğü gibi 5 adet malzeme besleme silosu, 2 adet 40 tonluk bitüm depolama tankı, 1 adet 30.000 lt'lik sıvı yakıt(kalyak) tankı, sistem yönetici kabini (bilgisayar destekli), 1 adet yağ kızdırma brülör sistemi, 1 adet dryer (malzeme kurutucu ve ısıtıcı), 1 adet dryer ateşleme brülör sistemi, kül ve duman filtrasyon sistemi, dik elevatör, elek takımı, bitüm ve agrega karıştırma tankı, sıcak asfalt karışımı depolama bunker ve pnömatik sistem besleyici hava kompresöründen oluşmaktadır.

Tanklardaki bitümün sıcaklığını şartnamede belirtilen sıcaklığa ulaşması için normal hava koşullarında 1 ton bitümü ısıtmak için 5 lt kalyak kızgın yağ brülöründe yakılmaktadır. Brülör ile ısıtılan kızgın yağ kalorifer tanklarının içerisine döşenmiş serpantinlerin içerisinden geçirilip döngü haline getirilerek ısıtma işlemi yapılır. Asfalt üretme esnasında saatte yaklaşık 300 Kg kalyak tüketilmektedir.

Malzeme silolarının birincisine 0-5 mm, ikincisine 5-10 mm, üçüncüsüne 10-19 mm, dördüncüsüne 19-25 mm, beşincisine de 25-38 mm aralıklarındaki agregalar doldurulur.

Serimi yapılacak tabakanın cinsine göre şartnamede belirtilen gradasyonu sağlayacak agregalar karışıma alınarak taşıma bandı vasıtasıyla dryer'e uc kısmından dökülerek belirli bir süre ısıtmaya alınır. Malzeme akışı süreklidir ve 165<sup>0</sup>C'ye ısınan agrega dik elevatör vasıtası ile plentin en üst kısmında bulunan elek takımına dökülür, laboratuarda önceden hazırlanan reçetede belirtilen orandaki malzeme elenip otomatik tartıldıktan sonra karıştırma tankına (bir alt kat) alınır. Tartımda ihtiyaç fazlası plentin dışına tahliye edilir. Reçetede belirtilen oranda ve 160<sup>0</sup>C'ye ısıtılmış 50/70 penetrasyonlu bitüm karışım tankına alınarak agrega ile 30-35 sn karıştırıldıktan sonra nakledilmek üzere yükleme bunkerine (bir alt kat) alınır. Yükleme bunkerine pnömomatik sistemle çalışan kapakla kapalıdır. Alta kamyon yanaşıp kapak açılarak yükleme yapılır.



**Şekil 4.** Saatte 160 Ton Kapasiteli ÇESAN Marka Yerli Asfalt Plenti

Karıştırma tankı 1500 kg'lık kapasiteye sahiptir, buda 1 batch olarak telaffuz edilir ve reçeteler de 1 bathe göre hazırlanır.

Her üretim bitiminden sonra karışım tankının içerisi ve bitümlle temas eden bütün yüzeyler mazotla mutlaka temizlenmelidir. Aksi taktirde bitüm birikiminden dolayı bir müddet sonra tıkanma ve kirlilik oluşacaktır.

## 2.8. Serme Ve Sıkıştırırmada Kullanılan Makineler

Zeminin gerektiğinde tesviye edilip sıkıştırılması ve alttemel tabakasının serilip sıkıştırılması 230 Hp gücünde bir greyder ve 18 tonluk vibrasyonlu toprak silindiri ile yapılmaktadır. Toprak silindiri önde demir bandaj ve arkada içi sıvı dolu iki adet kaymaya dirençli lastiği olan bir iş makinesidir.

Malzemenin ihtiyacı olan nemi sağlamak için de 20.000 lt'lik su tankı bulunan arazöz kullanılmaktadır.

Plentmiks temel, bitümlü temel, binder ve aşınma tabakalarının serme ve sıkıştırma işlerinde kullanılan makineler aynıdır. Malzeme serimi elektronik duyargalı finişerler ile yapılmaktadır. Kamyonun geri yanaşıp yükünü finişerin önünde bulunan haznenin içine damper kaldırmasıyla serim işlemine başlanabilir. Tabaka kalınlığı, eğimi ve genişliği önceden ayarlanan finişer, önündeki merdaneli iki kolu kamyonun arka tekerleklerine dayayarak vitesi boшта olan kamyonu itip ilerlemeye başlar. Kamyondaki malzeme tamamen boşalana kadar serim işlemi aralıksız devam eder. Kamyondaki malzeme boşaldığında finişer durdurularak bir diğer kamyonun yanaşması sağlanır ve böylece serime devam edilir.

Finişer ile serilen malzemenin sıkıştırılmasında ilk silindirajda tamamı lastik tekerlekli olan silindirler kullanılır, ön ve arka lastik grubu şeş beş düzende olup lastik basınçları silindirin kendi üzerinde bulunan hava kompresörü ile ayarlanmaktadır. Sıkıştırma esnasında malzemenin ötelenmesini engelleyerek yolda ondülasyon oluşumunu enaza indirgemeyi sağlamaktadır.

İzlerin tamamen ortadan kalkması için (ütüleme işlemi) sıkıştırmada 18 tonluk çift demir bandajlı silindirler kullanılmaktadır. Çift bandajlı silindirler vibrasyon darbesi yaparak etkili sıkışma sağlamaktadırlar. Asfaltın sıkıştırılması esnasında demir bandajlara temiz su püskürtülerek yapışma önlenmektedir.

### 3. METOD

Projenin birinci aşamasında yol yapımına kazı dolgu işlemi yapılarak başlanmıştır. 20 cm alttemel, 20 cm plentmiks temel 11 cm bitümlü temel, 8 cm binder tabakası uygulanarak mevcut eski yol seviyesinde tamamlanmıştır. Bir sonraki aşamada ise aynı yola satıh boyunca 5 cm aşınma tabakası ilave edilmiştir.

Tabakaların tümünde serme ve sıkıştırma işlemi uygulanır. Plentmiks temel ve sıcak asfalt karışımları elektronik duyargalı finişerle serilirken alttemel tabakası greyder ile serimi yapılmaktadır.

. Malzeme ve yol tabakalarına uygulanan bazı deneyler şunlardır;

#### 3.1. Zemin ve Agrega Deneyleri:

- Elek Analizi,
- Atterberg Limitleri,
- Proctor deneyi (normal ve modifiye),
- CBR deneyi,
- Özgül ağırlık deneyleri,
- Agrega dane şekli ve yüzey yapısı deneyleri (AFNOR P18-564, ASTM C1252),
- Kum eşdeğerlik deneyi,
- Porozite deneyi

#### 3.2. Asfalt Deneyleri:

- Penetrasyon deneyi,
- Düktilite deneyi,
- Saybolt Fural Viskozimetre deneyi,
- Yumuşama noktası deneyi,

- Isıtma kaybı deneyi,
- İnce film halinde ısıtma kaybı deneyi,
- Soyulma deneyleri (Nicholson, Texas, AASHTO T283),
- Karışımlarda asfalt %' si kontrol deneyi,
- Yanma ve parlama noktası deneyi.

### 3.3. Bitümlü Karışımlar Üzerinde Yapılan Deneyler ve Karışım Dizaynı:

- Marshall Metodu ile asfalt betonu karışım dizaynı,
- Sünme deneyi,
- İndirek çekme deneyi,
- Cilalanma Deneyi,
- Yeniden kullanım (recycling) deneyleri

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Konkasör tesisinde kırılıp elenerek elde edilen 4 sınıf agrega karıştırılarak alttemel malzemesi elde edilmiştir. Farklı boyuttaki agregaların dağılım oranları çizelge 1'de verilmektedir. Şartnameye uygun olarak hazırlanmış bu karışımın elek analizi çizelge 2'de görülmektedir. Çizelge 3'te alttemel tabakasına ait sıkışma raporu verileri görülmektedir. Arazi kesafeti ve sıkışma oranlarına bakıldığında uygun sıkışmanın sağlandığı anlaşılmaktadır.

**Çizelge 1.** Konkasörde Elde Edilen Malzemenin Alttemel Dizaynı

Elek Aralığı (mm)	Karışım Oranı
0-5	%40
5-10	%28
10-19	%22
19-38	%10

**Çizelge 2.** Alttemel Malzemesinin Gradasyonu

ELEK AÇIKLIĞI		Konkasörde Üretilen Malzeme Karışımı
mm	inç	% GEÇEN
75	3	-
50	2	100
37.75	1 <sup>1/2</sup>	99
25	1	86
19	3/4	85
9.5	3/8	73
4.75	No.4	55
2.00	No.10	35
0.425	No.40	18
0.075	No.200	11

**Çizelge 3.** Alttemel Tabakası Sıkışma Raporu

YERİN		Kaçınca Tabakada n Alındığı	Optimum Rutubet	Max. Kesafet	Rutubet %	Arazi Kesafeti	Sıkışma %
Kilom etresi	Metres i						
D	E	L	M	N	P	R	S
12	750	SON	5,4	2,219	2,5	2,211	100
12	900	SON	5,4	2,219	2,5	2,219	100
13	50	SON	5,4	2,219	2,3	2,241	101
13	200	SON	5,4	2,219	1,5	2,217	100
13	350	SON	5,4	2,219	2,9	2,227	100
13	450	SON	5,4	2,219	1,8	2,219	100
13	450	SON	5,4	2,219	2,6	2,240	101
13	600	SON	5,4	2,219	2,0	2,217	100
13	750	SON	5,4	2,219	1,6	2,237	101
13	850	SON	5,4	2,219	1,6	2,211	100
14	50	SON	5,4	2,219	1,9	2,200	99
14	200	SON	5,4	2,219	3,5	2,233	101
14	350	SON	5,4	2,219	3,1	2,251	101
14	450	SON	5,4	2,219	2,4	2,229	100
14	550	SON	5,4	2,219	2,6	2,211	100
14	650	SON	5,4	2,219	2,4	2,236	101
14	570	SON	5,4	2,219	2,8	2,218	100
14	700	SON	5,4	2,219	2	2,215	100
14	900	SON	5,4	2,219	2,4	2,217	100
15	50	SON	5,4	2,219	2	2,229	100
15	80	SON	5,4	2,219	1,7	2,241	101
15	180	SON	5,4	2,219	1,8	2,196	99
15	200	SON	5,4	2,219	2,1	2,215	100

Plent-miks temel üretim tesisinde gruplandırılarak silolara doldurulan agrega çizelge 4'te verilen karışım oranlarına %5 oranında su ilave edilip karıştırılarak PMT (plent-miks temel) elde edilmiştir. Şartnameye uygun olarak hazırlanmış olan plent-miks temel malzemesinin elek analizi çizelge 5'te olduğu gibi sonuçlanmıştır. Karışımın yola serilmesi ve sıkıştırılması sonucunda elde edilen sıkışma oranları çizelge 6'da verilmektedir.

**Çizelge 4.** Konkasörde Elde Edilen Malzemenin PMT Dizayını

Elek Aralığı (mm)	Karışım Oranı
0-5	%57
5-10	%12
10-19	%19
19-25	%12

Çizelge 5. PMT Malzemesinin Gradasyonu

ELEK AÇIKLIĞI		Konkasörde Üretilen Malzeme Karışımı
mm	inç	% GEÇEN
75	3	-
50	2	-
37.75	1 <sup>1/2</sup>	100
25	1	100
19	3/4	85
9.5	3/8	74
4.75	No.4	56
2.00	No.10	44
0.425	No.40	24
0.075	No.200	9

Çizelge 6. PMT Sıkışma Raporu

YERİN		Kaçınıcı Tabakadan Alındığı Optimum Rutubet	Max. Kesafet	Rutubet %	Arazi Kesafeti	Sıkışma %	
Km	m						
D	E	L	M	N	P	R	S
14	900	SON	5,4	2,218	4,8	2,227	100,4
14	990	SON	5,4	2,218	4,6	2,222	100,2
15	400	SON	5,4	2,218	4,7	2,225	100,3
15	300	SON	5,4	2,218	4,9	2,231	100,6
14	750	SON	5,4	2,218	4,9	2,229	100,5
18	850	SON	5,4	2,218	5,1	2,234	100,7
19	0	SON	5,4	2,218	4,8	2,225	100,3
28	600	SON	5,4	2,218	4,9	2,238	100,9
28	400	SON	5,4	2,218	5,1	2,225	100,3
28	200	SON	5,4	2,218	5,2	2,220	100,1
28	0	SON	5,4	2,218	4,7	2,234	100,7
27	800	SON	5,4	2,218	4,9	2,229	100,5

Bitümlü karışımlarda Marshall yöntemi ile işyeri yoğunluğu belirlenen asfalt tabakalarının gradasyonu asfalt üretimi yapan tesisin karışım miktarına yani 1 batch (1500 kg)'e göre ayarlanmıştır. Bitümlü temel tabakasının karışım dizaynı çizelge 7'te verilmiştir. Aynı şekilde binder ve aşınma tabakalarının karışım dizaynları da çizelge 8 ve 9 görülmektedir. Bu karışım oranları proje içerisinde zaman zaman değişiklikler gösterebilmektedir.

Çizelge 7. Bitümlü Temel Karışım Reçetesi

Elek Aralığı (mm)	Karışımındaki oranı (%)	1 Batch'teki Miktarı
0-5	43	645 Kg
5-10	13	195 Kg
10-19	17	255 Kg
19-38	23,2	348 Kg
Bitüm (50/70)	3,8	57 Kg

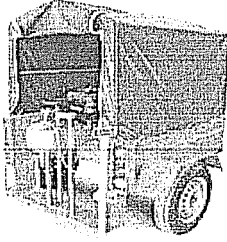
Çizelge 8. Binder Tabakası Karışım Reçetesi

Elek Aralığı (mm)	Karışımındaki oranı (%)	1 Batch'teki Miktarı
0-5	45	675 Kg
5-10	13	195 Kg
10-19	23	345 Kg
19-25	18,75	281,25 Kg
Bitüm (50/70)	4,25	63,75 Kg

Çizelge 9. Aşınma Tabakası Karışım Reçetesi

Elek Aralığı (mm)	Karışımındaki oranı (%)	1 Batch'teki Miktarı
0-5	52	780 Kg
5-10	22	330 Kg
10-19	21	315 Kg
Bitüm (50/70)	5	75 Kg

Asfalt tabakalarının sıkışmasını kontrol etmek amacıyla şekil 5'te görülen römorklu karot alma makinesi ile 10 cm çapında karotlar alınarak yoğunluk, stabilite, stünme ve indirekt çekme deneyleri uygulanıp yolun kalitesi belirlenmiştir. Testlerin sonucu şartnameye uymaması durumunda satıh sökülerek yeniden yapılır. Çizelge 8 ve 9'da bitümlü temel tabakasına ait test sonuçları görülmektedir. Çizelgede 10 ve 11'de verilen bitüm, agrega ve karışıma ait özelliklerin incelenmesiyle projenin şartnameye uygunluğu irdelenebilir. Aynı şekilde sıkışma oranlarında işyeri yoğunluğu ve alınan karot numunelerinin yoğunlukları karşılaştırılarak yorumlanabilmektedir. Aynı durum Çizelge 12 ve 13 te görülen binder tabakaları analiz sonuçları içinde geçerlidir.



Şekil 5. Römorklu Karot Alma Makinesi ve Aldığı Karotlar (d=10cm)

Çizelge 10. Alınan Karot Numunesi (Bitümlü Temel Tabakası) Analiz Sonuçları

		Astar		Yapıştırma		Karışımda kullanılan bitümlü bağlayıcı							
Cinsi				RC-70		Sınıfı				AC 50/70			
Özgül Ağ.(25°C / 25°C)				1,011		Penetrasyon				53			
Miktarı L / m <sup>2</sup>	Tesbit edilen					Özgül Ağırlığı (25°C / 25°C)				1,026			
	Dökülen			0,27		Kür Süresi				0,5			
Uygulama sıcaklığı				60		A G R E G A				SOĞUK SİLO BESLEME			
İŞYERİ KARIŞIM FORMÜLÜ (Dizayn)		Optimum bitüm ( 100 e )		3,80		Ocak Adı				Malzeme		Oran	
		Stabilite (Marshall) Kg.		1650		Kaba Ağr.Öz.Ağ.		2,646		Kaba		58,2	
		Yoğunluk,Ton/m3,(Lab.Dp )		2,394		İnce Ağr.Öz.Ağ.		2,606		İnce		37,1	
		Boşluk %		5,13		Filler Özgül Ağ.		2,725		Filler		4,7	
		Asfaltla dolu boşluk %		58,80		Kaba Ağr.Su.Abs.%							
		Akma		3,88									
G R A D A S Y O N	S I C A K S İ L O	No	%	37.5 mm (1 1/2)	25 mm (1")	19 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	4.75 mm (No.4)	2.0 mm (No.10)	0.425 mm (No.40)	0.180 mm (No.80)	0.075 mm (No.200)
		1-	27	100	67,8	26,7	2	0,7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
		2-	16			100	54,5	8,6	1,7	0,5	0,3	0,3	0,3
		3-	17				100	89,2	14,5	4,1	3,2	1,8	1,8
		4-	37					100	97,5	65,3	17,9	9,9	5,9
	Filler	3								100	96,4	86,7	
	Hesap			100	100	91	80	66	57	42	28	10	
	Harman												
	Dizayn			100	90	66	58	41	32	15	9	5.6	
	Malzeme sıcaklığı °C	Saat	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	
	Agrega	158	158	160	160	160							
	Bitüm	155	155	155	155	155							
	Karışım	157	157	159	158	158							



Çizelge 11. Alınan Karot Numunesi (Bitümlü Temel Tabakası) Analiz Sonuçları

KARIŞIMNUMUNESİ	Marshall Biriketi	No.	Alındığı Saat	Sıcaklığı °C	Pratik Yoğ. (Dp)	Teorik Öz.Ağ.	Boşluk %	Asf.Dol Boşluk %	Stabilite Kg.	Akma	WMA			
		1	9,20	157	2,396	2,525	5,1	58,8	1823	3,58	12,37			
KARIŞIMNUMUNESİ	Bit. Miktarı (100 e)	37.5 mm	25 mm	19 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.0 mm	0.425 mm	0.180 mm	0.075 mm			
		3,77	100	92	77	67	59	39	28	11	7	4,4		
Hava Sıcaklığı °C		Silindirin Cinsi ve Ağırlığı				Başlama - Bitiş Sıcaklığı °C		Günlük Kaplama Uzunluğu, m.		Günlük İmalat Ton				
Saba h	Öğle Sonra	LASTİKLİ TANDEN				140 C-90 C		240,00						
26	30													
KAPLAMADAN ALINAN NUMUNE	Şerit - Km.	Alındığı Saat	Proje Kalınlığı (mm)	Kalınlık (mm)	Yoğunluk (Yol Dp)	Sıkışma % YolDp.X100 Lab Dp.	Boşluk %							
								SOL-25+840	09:00	110	110,5	2386	99,6	5,5
								SAĞ-25+940	09:20		111,5	2389	99,7	5,4

Çizelge 12. Alınan Karot Numunesi (Binder Tabakası) Analiz Sonuçları

KARIŞIMNUMUNESİ	Marshall Biriketi	No.	Alındığı Saat	Sıcaklığı °C	Pratik Yoğ. (Dp)	Teorik Öz.Ağ.	Boşluk %	Asf.Dol Boşluk %	Stabilite Kg.	Akma	WMA			
		1	10:20	157	2,41	2,531	4,8	64,3	1683	3,85	13,44			
KARIŞIMNUMUNESİ	Bit. Miktarı (100 e)	37.5 mm	25 mm	19 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.0 mm	0.425 mm	0.180 mm	0.075 mm			
		4,2	100	88	68	60	44	32	13	8	5,5			
Hava Sıcaklığı °C		Silindirin Cinsi ve Ağırlığı				Başlama - Bitiş Sıcaklığı °C		Günlük Kaplama Uzunluğu, m.		Günlük İmalat Ton				
Saba h	Öğleden Sonra	LASTİKLİ TANDEN				140 C-80 C		520,0						
26	30													
KAPLAMADAN ALINAN NUMUNE	Şerit - Km.	Alındığı Saat	Proje Kalınlığı (mm)	Kalınlık (mm)	Yoğunluk (Yol Dp)	Sıkışma % YolDp.X100 Lab Dp.	Boşluk %							
								SOL-19+095	09:40	70	65,5	2410	100	4,8
								SAĞ-19+240	09:50	70	79,5	2347	97,3	7,3

**Çizelge 13. Alınan Karot Numunesi (Binder Tabakası) Analiz Sonuçları**

		Astar	Yapıştırma		Karışımda kullanılan bitümlü bağlayıcı								
Cinsi			RC-70		Sınıfı		AC 50/70						
Özgül Ağ.(25°C /25°C)			1,011		Penetrasyon		53						
Miktarı L / m <sup>2</sup>	Tesbit edilen												
	Dökülen		0,27										
Uygulama sıcaklığı			60		Özgül Ağırlığı (25°C / 25°C)		1,026						
Kür Süresi			0,5										
İŞYERİ KARIŞIM FORMÜLÜ (Dizayn)	Optimum bitüm ( 100 e )		4,25		A G R E G A				SOĞUK SİLO BESLEME				
	Stabilite (Marshall) Kg.		1590		Ocak Adı				Malzeme		Oran		
	Yoğunluk,Ton/m <sup>3</sup> .(Lab.Dp.)		2,411		Kaba Ağr.Öz.Ağ.		2,657		Kaba		58,9		
	Boşluk %		4,66		İnce Ağr.Öz.Ağ.		2,683		İnce		35,5		
	Asfaltla dolu boşluk %		65,30		Filler Özgül Ağ.		2,755		Filler		5,6		
	Akma		4		Kaba Ağr.Su.Abs.%								
G R A D A S Y O N	S I C A K S İ L O	No	%	37,5 mm (1 1/2)	25 mm (1")	19 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	4,75 mm (No.4)	2,0 mm (No.10)	0,425 mm (No.40)	0,180 mm (No.80)	0,075 mm (No.200)
		1-	25		100	58,6	2,1	0,8	0,6	0,4	0,2		
		2-	18			100	41,2	7,1	2,8	1,1	0,8	0,5	0,4
		3-	16				100	89,2	12,8	3,2	2,9	1	0,7
		4-	38					100	98,9	69,8	30,5	12,5	5,8
	Filler	3								100	96,4	86,7	
	Hesap				100	90	65	57	43	30	15	8	4,9
	Harman												
	Dizayn				100	90	66	58	41	32	15	9	5,6
	Malzeme sıcaklığı °C		Saat	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
		Agrega		158	158	158	160	160	160	160			
		Bitüm		150	150	150	150	150	150	150			
		Karışım		157	157	157	159	159	159	159			

Ödenek eksikliği dolayısıyla ve eski mevcut yolun iyileştirilerek tam kesit üzerinde bir aşınma tabakası uygulanmasının daha verimli olacağı düşünülerek yolda yapılması gereken son tabaka olan aşınma tabakası bir başka ihaleye ertelenmiştir. 2008 yılında yapılan ihaleyi yine aynı firma kazanmış olup 2009'un ilk ayında yol yapımı tamamlanmıştır. 5 cm aşınma tabakası ilave edilmiş olup oto korkuluk ve yolun güvenliğini sağlayan beton refujlar tamamlanmıştır.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Yolun yöntem ve işleyiş açısından Karayolları Genel Müdürlüğünün yayınlamış olduğu "Genel Şartname" nin Yol Teknik Şartnamesine uygunluğu takip edilmiş yapılan kontrol deneyleri neticesinde de elde edilen sonuçların bu şartnameye uyduğu anlaşılmaktadır.

2. Projede tasarlanan 20 cm alttemel, 20 cm Plent-miks temel, 8 cm bitümlü temel, 6 cm binder ve 5 cm aşınma; Yol yapım aşamasında idare tarafından değiştirilerek 20 cm alttemel, 20 cm plentmiks temel 11cm bitümlü temel, 8 cm binder uygulanarak mevcut eski yol seviyesinde tamamlanmıştır. Buda aşınma tabakası yapılacağı zamana kadar ara verilmesi binder tabakası ile son bulmuş yolda büyük çapta bozulmalara yol açmıştır.

3. Yolu oluşturan tabakaların tamamlanmadan yarım bırakılması ve mevcut halin üzerinden en az bir kısım bile geçmesi yolda büyük zararlara yol açtığından yolun aynı

sezonda tamamlanması gerektiği hakikatini gözler önüne sermiştir. Bu şekilde devlet büyük zararlara uğramakta ve yapılan işlemin tekrarlanması hammadde ziyanına yol açmaktadır.

4. Her ne kadar aşınma tabakasının aşınmaya dayanıklı olan bazalt malzemeden yapılması idarece öngörülmüş ise de; bölgede bulunan bazaltın fazla poroz olmasından dolayı tekrar kalker malzemesi kullanılmıştır.

5. Bu şekilde yolun tamamlanmasıyla İskenderun – Hatay arası yolun tamamı çift gidiş ve geliş olarak düzenlenmiş olup uluslar arası güzergâh trafik açısından büyük bir rahatlığa kavuşmuştur

6. Karayolları genel müdürlüğünün teknik şartnamesine uyulduğu taktirde yüksek kalitede yollar elde edilmektedir. Bu şartnameye uyulması ve ülkemize daha kaliteli yollar kazandırılması ülke ekonomisine yüksek katkılar sağladığı gibi bu yolu kullanan vatandaşlara da büyük rahatlık sağlamaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

1. Demirel,Z., Kadioğlu,M., Toprak ve Stabilizasyon Laboratuvarı El Kitabı, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, 1991.

2. İter,A., Yol Yapımında Agregat ve Bitümlü Malzemeler, K.G.M, No:153, Ankara, 1967.

3. Karayolları Genel Müdürlüğü “Karayolu Teknik Şartnamesi”; Ankara, 2006.

4. Keçeciler,A.F. ve Gümrükçioğlu,A., Bitümlü Malzemeler Laboratuar El Kitabı, K.G.M., Araş. Dairesi Başk., Yayın No:239, Ankara, 1988.

5. Kuloğlu,N., Agregat Gradasyonunun Asfalt Muhtevasına Etkisi, İnşaat Mühendisleri Odası IV. Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı, Denizli, 271-280, 1998.

6. Önal,M.A., Karaca,S., Asfalt Betonunu ve Diğer Sıcak Karışım Tipleri İçin Karışım Dizayn Metodları, Ankara, 1990.

8. Postalcıoğlu,B., Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton II, İ.T.Ü. İstanbul, 1987.

9. T.C.K. 5. Bölge Müdürlüğü Yol Yapım Baş Mühendisliği Arşivi

10. Tunç,A., Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, İstanbul, 2001.



Midyat taşının fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Midyat Barıştepe Bölgesi'ndeki doğal taş ocaklarından numuneler alınarak incelenmiştir. Alman numuneler, Midyat taş kesme ve işleme atölyelerinde ve Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği laboratuvarlarında, TSE standartlarına uygun olarak deneyler için hazırlanmıştır. Kayacın fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri belirlenerek kaplamada ve yapı taşı olarak kullanılabilişliliği, hususunda TSE standartları ile karşılaştırılmıştır. İncelemeler sonucunda Midyat taşının TSE standartlarına tam uygun sağlamayan parametreleri bulunmasına rağmen yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği görülmüştür.

**ÖZET :** Bu çalışmada, Midyat taşının kaplama ve yapı taşı olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi amacıyla Midyat Barıştepe Bölgesi'ndeki doğal taş ocaklarından numuneler alınarak incelenmiştir. Alman numuneler, Midyat taş kesme ve işleme atölyelerinde ve Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği laboratuvarlarında, TSE standartlarına uygun olarak deneyler için hazırlanmıştır. Kayacın fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri belirlenerek kaplamada ve yapı taşı olarak kullanılabilişliliği, hususunda TSE standartları ile karşılaştırılmıştır. İncelemeler sonucunda Midyat taşının TSE standartlarına tam uygun sağlamayan parametreleri bulunmasına rağmen yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği görülmüştür.

**ÖZET :** Bu çalışmada, Midyat taşının kaplama ve yapı taşı olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi amacıyla Midyat Barıştepe Bölgesi'ndeki doğal taş ocaklarından numuneler alınarak incelenmiştir. Alman numuneler, Midyat taş kesme ve işleme atölyelerinde ve Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği laboratuvarlarında, TSE standartlarına uygun olarak deneyler için hazırlanmıştır. Kayacın fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri belirlenerek kaplamada ve yapı taşı olarak kullanılabilişliliği, hususunda TSE standartları ile karşılaştırılmıştır. İncelemeler sonucunda Midyat taşının TSE standartlarına tam uygun sağlamayan parametreleri bulunmasına rağmen yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği görülmüştür.

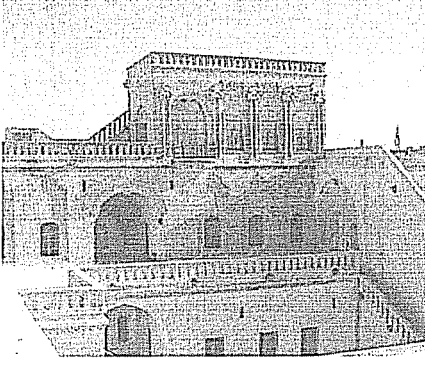
**Anahitir Kelimeler:** Midyat Taşı, Mermer, Fiziko-Mekanik ve Kimyasal Özellikler.

**THE USAGE OF MIDYAT STONE AS A COVERING AND BUILDING MATERIAL RESEARCHING**

**ABSTRACT :** In this study, samples were received from natural stone mines of Midyat Barıştepe land to determine the usage of Midyat stone as a covering and building material. At first, taken samples were prepared as Standard appropriate at stone cutting-processing factory and Faculty of Engineering-Architecturing Mining Engineering laboratory of Çukurova University. In the next step, physioo-mechanical and chemical characteristics of standardized samples were determined. In the last step, use of Spss Software was evaluated between relationship in statistical analyse of physico-mechanical characteristics. After the analysing Midyat Stone is approved to be used as a building material for Standard appropriate.

**Key Words:** Midyat Stone, Marble, Physico-chemical and Chemical Characteristics.





Şekil 2. Midyat Taşı ile yapılmış sanat yapılarından örnekler

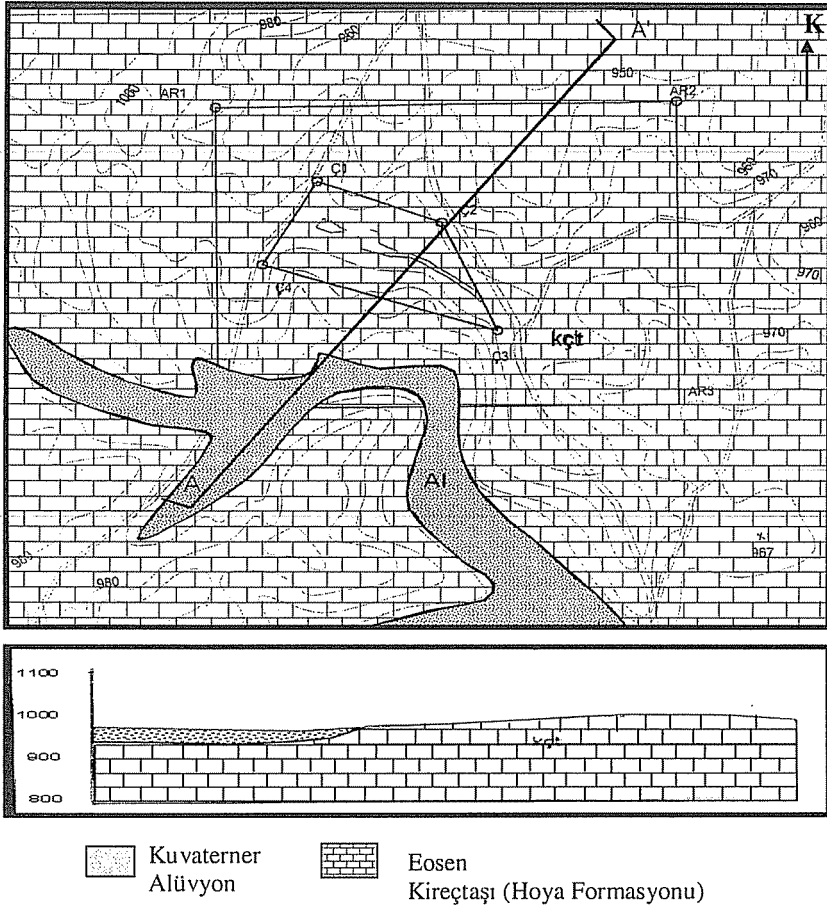
Gaziantep-Adıyaman-Urfa illeri arasında Midyat Grubu veya Midyat Formasyonu diye tanımlanan ve Alt Eosenen başlayarak Alt Miyosen sonuna kadar devam eden bir karbonat serisi gelişmiş bulunmaktadır. Bu grup veya formasyon içerisinde: Hoya formasyonu veya Alt dolomitik Kireçtaşı üyesi; Midyat kireçtaşı veya Çörtlü kireçtaşı üyesi; Gaziantep tebeşirli marınları Fırat kireçtaşı veya Üst kireçtaşı üyesi gibi litolojik birimler mevcuttur (1).

Çalışma alanımız, Eosen yaşlı resifal kökenli Hoya Formasyonu içinde bulunmaktadır. Karbonatlardan oluşan birim Sungurlu tarafından adlandırılmıştır (2). Formasyonun egemen kayacıdır kireçtaşıdır. Altta çakıllı kireçtaşı ile başlar. Gri, bej, yer yer kırmızı renkli, kalın – çok kalın tabakalı olan bu kireçtaşları, üste doğru krem – kirli beyaz – açık gri renkli, orta-kalın tabakalı, yer yer tabakasız, bazı düzeyleri bol fosilli, bol çatlaklı ve makro fosil kavkılı kireçtaşlarına geçer. Bölgede, birimin ortalama kalınlığı 50-600 metreler arasında olup, renkleri; sarı, pembe, kırmızı, beyaz, kirli beyaz, gri renklidir. Formasyon, sığ deniz-şelf kenarında oluşmuş ve yer yerde resifal karakterli türler sunmaktadır (Şekil 3).

Bölge oldukça yumuşak bir rölüfeye sahip olup, yüzlek veren kayaç birliği oldukça kolay bir şekilde araziden alınmaktadır (Şekil 4).

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmanın gerçekleştirilmesi amacıyla, kireçtaşlarının bulunduğu bölge, yerinde incelenmiştir. Bu bölgeden, gerekli laboratuvar deneylerini gerçekleştirmek için sistematik olarak yeterli miktarda örnek alınmıştır. Araziden alınan örnekler uygun boyutlara getirilmesi amacı ile midyat taş kesme atölyelerinde işleme tabii tutulmuştur. Hazırlanan küp, plaka ve silindirik şeklindeki örneklerin *fiziksel olarak*; birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, porozite, ağırlıkça su emme ve sonik hız deneyleri, *mekanik olarak*; tek eksenli basma dayanımı, nokta yük indeksi, darbe dayanımı, sürtünme ile aşınma kaybı, eğilme dayanımı deneyleri yapılmış sonuçlar TS 1910, TS 2513, TS 10449 ve ASTM (C97,C170, C99, C241) standartları ile karşılaştırılmıştır.



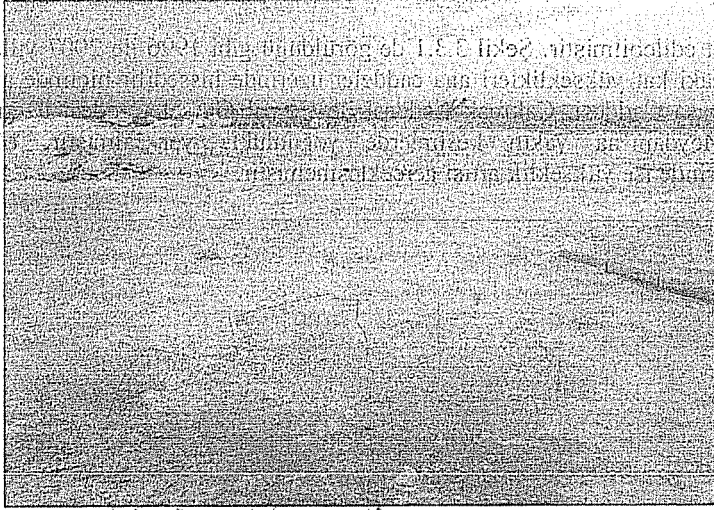
**Şekil 3.** Mardin ili Midyat ilçesi Barıştepe mevkiinde bulunan kalker sahasına ait topografik – jeolojik harita ve A-A<sup>1</sup> Kesiti (ölçek 1/10000) (MİGEM 2004).

## 2. İŞLETME YÖNTEMİ

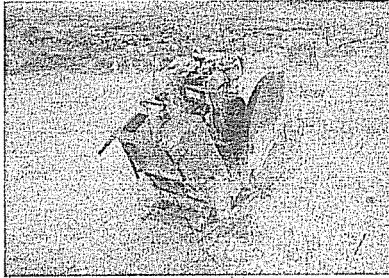
Bölgede, üretim açık işletme yöntemiyle yapılmaktadır. Doğal taş alımı için önce üst tabakalardaki bozulmuş kısımların dekapajı yapılmakta, daha sonra üretime geçilmektedir. Bu işlem uzun zaman almaktadır. Doğal taş üretiminde, beton kesme makineleri esas alınarak tasarlanan makinelerde, taşın yapısı incelenerek o özelliklere uygun motor gücü, devir ve bıçak seçimi yapılmaktadır. Üstten kesme ve alttan kesme olarak iki makine kullanılmaktadır. Şekil 5’de görüldüğü gibi kullanılan bu makinelerle ayda 3000 adet, haftada ortalama 1000 blok elde edilmektedir. Blok boyutları;  $100 \times 45 \times 35 \text{ cm}^3$  dür.



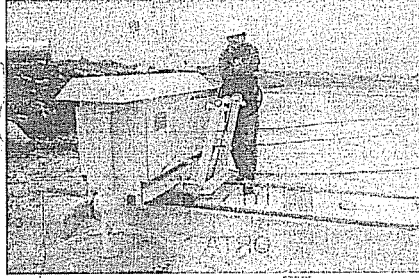
112  
113  
114  
115  
116  
117  
118  
119  
120  
121  
122  
123  
124  
125  
126  
127  
128  
129  
130  
131  
132  
133  
134  
135  
136  
137  
138  
139  
140  
141  
142  
143  
144  
145  
146  
147  
148  
149  
150  
151  
152  
153  
154  
155  
156  
157  
158  
159  
160  
161  
162  
163  
164  
165  
166  
167  
168  
169  
170  
171  
172  
173  
174  
175  
176  
177  
178  
179  
180  
181  
182  
183  
184  
185  
186  
187  
188  
189  
190  
191  
192  
193  
194  
195  
196  
197  
198  
199  
200



Şekil 4. Midyat taşının arazideki görünümü



Üstten Kesme



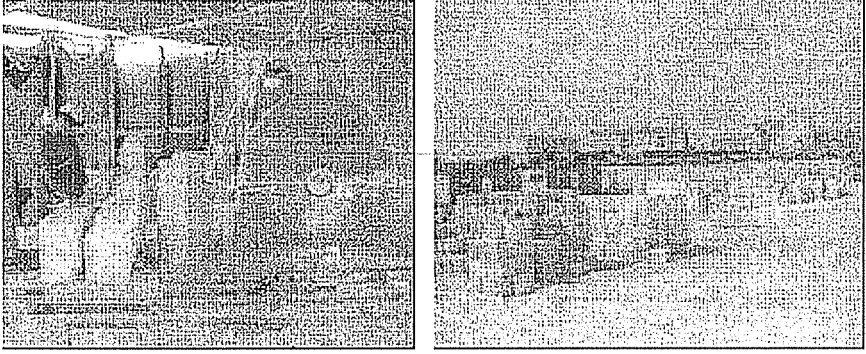
Altından kesme

Şekil 5. PD20DT Kesme Makinesi

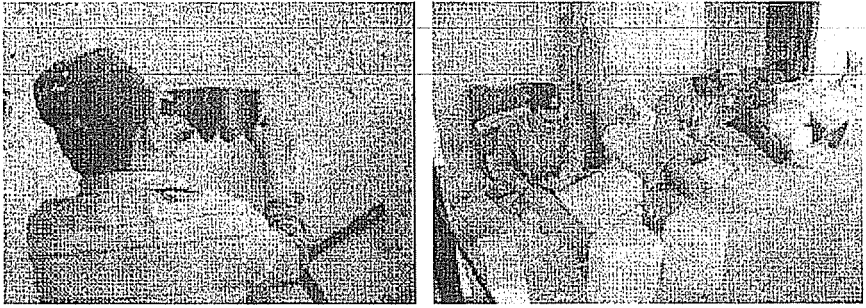
Okakta üretilen bloklar boyutlara göre tasnif edilip atölyelerde siparişe göre kesilerek kullanıma hazır hale getirilmektedir (Şekil 6).

İşlenmeye hazır hale getirilen küçük bloklar, işleme atölyelerinde öncelikle hazır şablonlarla, verilecek şekle göre işaretlenir. İşaretlenmiş bloklar, keski terası vasıtasıyla işçiler tarafından şekillendirilmektedir (Şekil 7). Midyat taşı yapı itibarıyla, kolay tıraşlanabilir ve şekil verilebilir olduğu için işlem, diğer taş işleme yöntemlerine göre daha kolaydır.

Büyük yapılarda, örneğin bina giriş kapıları, bina dış kaplamaları, peyzaj düzenlemeleri vb. yapılacak işlemlerin detayları ve işaretlemelerin hassasiyetleri artmakta, buna paralel olarak işlemlerin süresi uzamaktadır.



Şekil 6. Atölyelerde büyük blokların küçük bloklara bölünmesi ve stoklanması.



Şekil 7. Atölyelerde Midyat Taşı'nın işlenmesi

### 3. MİDYAT TAŞININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Bölgeden derlenen örnekler, laboratuarda TSE standartlarına uygun olarak kesilerek deneyler gerçekleştirilmiş ve bulunan sonuçların ortalamaları Çizelge 1'de verilmiştir. Aynı zamanda bölgede kiliselerde, evlerde, camilerde kullanılan ve en az 20 yıllık olan kayaç numuneleri de aynı deneylerde kullanılmış ve farklı iki örnek arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Çizelge 1. Midyat Taşı'nın fiziksel özellikleri

Kayaç Cinsi	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Özgül ağırlık do(gr)	Porozite (%)	Su Emme (%)	Sonik Hız (km/sn)
Kireçtaşı (Güncel)	1,69	2,20	27,63	11,81	2,49
Kireçtaşı (20 yıllık)	1,70	2,22	18,88	10,05	2,52

### 3.1. Fiziksel Özelliklerin Standartlar Açısından Değerlendirilmesi

1. TS 1910'a göre ağırlıkça su emme oranı (<0,75) sınır değerini taşımadığı, birim hacim ağırlığı (>2,55) sınır değerini taşımadığı ve porozitesinin (<2) sınır değerini taşımadığı saptanmıştır. Dolayısıyla Midyat Barıştepe Ocağı kireçtaşı, kaplama olarak kullanılan doğal kayaların sahip olmaları gereken fiziksel özelliklere sahip değildirler.

2. TS 2513'e göre ağırlıkça su emme oranı (<1,80) sınır değerini taşımadığı, birim hacim ağırlığı (>2,55) sınır değerini taşımadığı belirlenmiştir.

3. TS 10449'a göre ağırlıkça su emme oranı (<0,4) sınır değerini taşımadığı belirlenmiştir.

4. ASTM (C97,C170, C99, C241)'ye göre ağırlıkça su emme oranı en fazla (<0,75) sınır değerini taşımadığı, birim hacim ağırlığı en az (2,595) sınır değerini taşımadığı belirlenmiştir. Dolayısıyla Midyat Barıştepe ocağı kireçtaşı, kayaların doğal yapı taşı olarak kullanılabilmesi için sahip olmaları gereken fiziksel özelliklere sahip değildirler.

Kayacın kullanımında atmosferle temas ettiği süre arttıkça, porozite ve su emmesinde azalma görülmüştür. Bu durum bölgedeki eski yapıların sapsasağlam ayakta kalabilmesi ile de doğrulanmaktadır.

### 4. MİDYAT TAŞININ KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI

Çalışma alanındaki kireçtaşlarının taban ve tavana doğru sistematik olarak alınan 4 adet örnekten, TÜBİTAK/MAM'a Philips PW-2404 model dalga boyu dağılımlı X-ışını Flüoresan Spektrometre cihazı ile yaptırılmış kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Midyat Barıştepe Ocağından alınan numunelerin kimyasal analizi

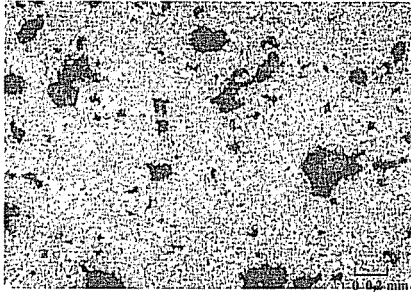
Örnek NO	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	BaO %	CaO %	Cr <sub>2</sub> O %	
1	1,136	0,321	0,019	0,085	56,376	0,111	
2	1,102	0,312	0,011	0,067	56,452	0,103	
3	1,147	0,315	0,020	0,083	56,371	0,109	
4	1,128	0,347	0,024	0,089	56,379	0,118	
	CuO %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MgO %	SrO %	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	PbO %	SO <sub>3</sub> %
1	0,034	1,040	40,701	0,018	0,025	0,016	0,117
2	0,019	1,028	40,770	0,006	0,012	0,007	0,103
3	0,025	1,037	40,693	0,013	0,024	0,013	0,115
4	0,036	1,046	40,712	0,020	0,029	0,021	0,123
Element %							
	Si	Al	As	Ba	Ca	Cr	Cu
1	0,531	0,170	0,015	0,076	40,292	0,076	0,027
2	0,490	0,159	0,009	0,063	40,236	0,062	0,018
3	0,520	0,163	0,017	0,078	40,356	0,081	0,023
4	0,543	0,178	0,029	0,086	40,389	0,086	0,034
	Fe	Mg	Sr	V	Pb	S	
1	0,727	24,544	0,015	0,014	0,015	0,047	
2	0,712	24,498	0,006	0,011	0,009	0,036	
3	0,732	24,532	0,013	0,017	0,019	0,054	
4	0,739	24,568	0,021	0,021	0,025	0,063	

Kimyasal analiz sonuçlarından da açıkça görüldüğü gibi Midyat Taşı aslında dolomitik kireçtaşı sınıfına giren bir kayadır. Hatta bir çok örnekte MgO yüzdesi %40'lara dayanmıştır. Bu sebeple saf dolomitik olarak ta değerlendirilebilir.

## 5. MİDYAT TAŞINDA PETROGRAFİK TANIMLAMA

Barıştepe mevkiinde oldukça geniş bir alanda yüzlek veren ve piyasada Midyat taşı olarak bilinen karbonatlı kayaç örneklerinden yaptırılmış ince kesit numuneleri, polarizan mikroskopta incelenmiş ve kesit fotoğrafları çekilmiştir. Kayacın oldukça yumuşak ve gözenekli olması yapım aşamasında zorluklara sebep olmuştur. Kayaçta hakim mineral kalsit'dir. Dolomit kristallerine de yoğun bir şekilde rastlanılmıştır. Mikritik bir özellik gösteren kayaç içinde yer yer sparikalsite de rastlanır. Dolomit kristalleri daha koyu ve yüksek röliyefi ile kalsitten ayırt edilir. Taneler arası boşluk oranı oldukça fazladır. Kesitlerde fosil izlerine rastlanılmamıştır (Şekil 9).

Ayrıca bölgedeki 20 yıllık binalardan alınan kayaçlardan yaptırılmış ince kesit numunelerindeki incelemelerde, dokusal farklılık hemen göze çarpmaktadır (Şekil 10). Gözeneklilik oranının azaldığı kristallerin birbirleri ile adeta lehimlendiği ve atmosferik şartlardan etkilendiği görülmüştür.



Şekil 9. Mikrokristalen doku gösteren kalsit ve dolomit mineralleri. //N.



Şekil 10. Boşluk oranı az, yer yer demir alterasyonu gözlenmektedir. //N

## 6. MİDYAT TAŞININ MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Midyat, Barıştepe Ocağından ve 20 yıllık binadan Alınan Numunelerin mekanik özellikleri Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında tek eksenli basma dayanımı, nokta yük dayanım indeksi, darbe dayanımı, sürtünme sonrası aşınma kaybı, eğilme dayanımı ve don sonrası tek eksenli basma dayanımı deneylerle tespit edilerek sonuçlar, Çizelge 3'de sunulmuştur.

**Çizelge 3. Midyat taşı'nın Mekanik Özellikleri**

Mermer Cinsi	Tek Eksenli Basma Day. (MPa)	Nokta Yük İndeksi (Is)	Darbe Dayanımı (Kgcm / cm <sup>3</sup> )	Aşınma Dayanımı d <sub>1</sub> (cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup> )	Eğilme Dayanımı Feğ (kgfcm/cm <sup>3</sup> )
Kireçtaşı (Güncel)	9,61	1,81	6	48,02	12,10
Kireçtaşı (20 yıllık)	12,75	2,19	8,4	34,20	16,16

### 6.1. Mekanik Özelliklerin Standartlar Açısından Değerlendirilmesi

Midyat Barıştepe Ocağından ve 20 yıllık binadan Alınan Numunelerin tek eksenli basınç direnci ortalama, Güncel: 9.61MPa – 20 yıllık: 12.75MPa, böhme yüzeysel aşınma direnci Güncel: 48.02 cm<sup>3</sup>/50cm<sup>2</sup>, 20 yıllık: 34.20 cm<sup>3</sup>/50cm<sup>2</sup>, darbe dayanımı Güncel: 6 kgcm/cm<sup>3</sup> - 20 yıllık: 8.4 kgcm/cm<sup>3</sup>, eğilme direnci Güncel: 12.10 kgfcm/cm<sup>3</sup> - 20 yıllık: 16.16 kgfcm/cm<sup>3</sup> olarak saptanmıştır. Buna göre Midyat Barıştepe Ocağından ve 20 yıllık binadan alınan numunelerin;

1. TS 1910'a göre tek eksenli basınç direnci (>500) sınır değerini taşımadığı, eğilme direnci (>50) sınır değerini taşıdığı ve böhme yüzeysel aşınma direnci (<15) sınır değerlerini taşımadığı belirlenmiştir. Dolayısıyla Midyat Barıştepe Ocağından ve 20 yıllık binadan Alınan Numunelerinin, kaplama olarak kullanılan doğal kayaların sahip olmaları gereken mekanik özelliklerden tek eksenli basınç direnci ve böhme yüzeysel aşınma direnci sınır değerine sahip değildir.

2. TS 2513'e göre tek eksenli basınç direnci(>500) sınır değerini taşımadığı, eğilme direnci(>50) sınır değerini taşıdığı ve böhme yüzeysel aşınma direnci (<15) sınır değerini taşımadığı, darbe dayanımı (>6) sınır değerini taşımadığı belirlenmiştir. Midyat Barıştepe Ocağından ve 20 yıllık binadan Alınan Numunelerin, doğal kayaların sahip olmaları gereken mekanik özelliklerden tek eksenli basınç direnci, böhme yüzeysel aşınma direnci ve darbe dayanımı sınır değerini taşımadığı belirlenmiştir.

3. TS 10449'a göre tek eksenli basınç direnci (döşeme için) (>500) sınır değerini taşımadığı ve (kaplama için) (>300) sınır değerini taşıdığı, eğilme direnci (>60) sınır değerini taşıdığı, ve böhme yüzeysel aşınma direnci (döşeme için) (<15) sınır değerini taşımadığı ve (kaplama için) (<25) sınır değerini taşıdığı, darbe dayanımı (döşeme için) (>6) sınır değerini taşımadığı ve (kaplama için) (>4) sınır değerini taşıdığı belirlenmiştir.

4. ASTM (C97, C170, C99, C241)'ye göre tek eksenli basınç direnci (Min) (520) sınır değerini taşımadığı, eğilme direncinin (Min) (70) sınır değerini taşıdığı, ve böhme yüzeysel aşınma direnci (Max) (10) sınır değerini taşımadığı belirlenmiştir.

### 6.2. Midyat Taşma Uygulanan Diğer Testler ve Sonuçları

#### 6.2.1. Asitlere Karşı Dayanıklılık Testi

Baca gazları ile havada bulunan diğer zararlı gazlar havanın nemi ile birleşerek asitler oluşturmaktadırlar. Bu asitlerin yapı taşlarının dayanıklılığı nasıl etkileyeceğinin

tayini amacı ile asitlere karşı dayanıklılık testi yapılmıştır. Numuneler asitlere karşı dayanıklılık cihazının içerisinde sülfüroz asit bulunan kabın üzerine uygun bir düzenele asılarak burada 28-gün bekletilmiştir. Yapılan deney sonucunda Midyat Barıştepe Ocağından ve 20 yıllık binadan alınan örneklerin renk ve görüntüş değişikliğine uğramadığı görülmüştür.

### 6.2.2. Açık Hava Tesirlerine Dayanıklılık

TS 699'a göre hazırlanan yaklaşık el büyüklüğünde numunelerin kesme yüzeyleri parlatılarak parlak yüzeyler haline getirilmiştir. Elde edilen çiftlerin yarısı karşılaştırma için saklanmış, diğer yarısı da deneye tabi tutulmuştur. Numunelerin yüzeylerine sürmek üzere % 1'lik Hidroklorik asit (HCl) çözeltisi hazırlanmıştır. Daha sonra HCl çözeltisi numune yüzeylerine bir pamuk yardımıyla sürülmüştür. Bu işlem 10'ar kez tekrarlanmıştır. Son olarak deneye tabi tutulan numunelerle saklanan numuneler karşılaştırılmış ve renk değişikliği olup olmadığına bakılmıştır.

## 7. SONUÇLAR

Midyat taşının yapı malzemesi olarak kullanılması ve fiziko-mekanik özelliklerinin incelenmesi için bölgeden alınan numunelerin TS standartlarına göre yapı ve kaplama taşı olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve bir çok parametresi TSE standartlarına uymamasına rağmen yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğine karar verilebilir. Yapılan bu değerlendirmelere göre:

- Midyat taşının ortalama birim hacim ağırlığı  $1,69 \text{ g/cm}^3$  tür yaklaşık olarak traverten  $2,2 \text{ g/cm}^3$ , granit ise  $2,5 \text{ g/cm}^3$  kabul edildiğinde göreceli olarak midyat taşı daha hafiftir.
- Özgül ağırlık değeri  $2,20 \text{ g/cm}^3$  olup bu değer kireç taşı standartlarını sağlamaktadır. Ancak birim hacim değeri arasındaki farkın yüksek olması doğal taşın poroziteli bir yapıya sahip olduğunun işaretidir.
- Su emme deneyi sonucunda ortalama su emme değeri % 11,81 bulunmuş bu değer doğal yapı taşı standartlarının çok üstünde olup bu tür doğal taşların bünyesine alacağı su miktarının fazla olmasından yapı taşı olarak kullanılmasında olumsuzluk yaratabilir.
- Görünür porozite değeri % 27,63'tür. Bu değer TS 2513'te olması gereken değerden çok üstündedir.
- Basınç dayanımı ortalama değeri 9,61 MPa'dır. 20 yıllık örneklerde ise tek eksenli basma değerinde değişiklikler gözlenmiş  $12,75 \text{ MPa}$  bulunmuştur.
- Ortalama darbe dayanımı değerleri  $6 \text{ Kg.cm/cm}^3$ , 20 yıllık örneklerde ise  $8,4 \text{ Kg.cm/cm}^3$  olup bu değerler, TS 2513'da istenilen  $0.4-0.6 \text{ Nmm/mm}^3$  değerlerinin üzerindedir.
- Eğilme dayanımı ortalama değerleri  $12,10 \text{ kgf/cm}^2$  bulunmuştur. TS 2513'de kireçtaşı için önerilen  $30 \text{ kgf/cm}^2$  altında olması yapı taşı olarak kullanılamayacağını göstermektedir.
- Aşınma dayanımı değeri  $48,02 \text{ d (cm}^3/50\text{cm}^2)$  olarak belirlenmiştir. Aşınma değeri standartların çok üstündedir. Bu yüzden aşınması fazla olduğu yerlerde kullanılması elverişsizdir.

Basma dayanımının 9,61 MPa basma dayanımı göz önüne alındığında, yüksek dayanımlı doğal yapı taşlarına göre düşük olmasına karşılık beton, briket, tuğla, gaz beton gibi yapay malzemelere yakın dayanıma sahiptir.

Alınan örneklerin kimyasal içerikleri ile petrografik özellikleri belirlenmiş ocaktan yeni çıkarılmış bir taşın kolayca işlenebildiği ve oldukça yumuşak bir özellik gösterdiği halde zamanla yüzeyden başlayarak sertleştiği ve gözenek yapısının nispi olarak azaldığı anlaşılmıştır. Kimyasal bileşimdeki yaklaşık MgO (%40'lara ulaşan) içeriği ile de dolomit ve dolomitik kireçtaşı sınıfına giren bir karbonat olduğu görülmüştür.

## 8. KAYNAKLAR

1. Tolun, N., ve Ternek, Z., *Mardin Bölgesinin Jeolojisi T.T.K. Bült, Cilt 3, Sayı 2 1-20 Ankara, 1960.*
2. Sungurlu, O., *VI bölge kuzey sahalarının jeolojisi Türkiye ikinci petrol kongresi tebliğlerinden 85-107, 1974.*
3. T.S.E., *TS 1910 Kaplama Olarak Kullanılan Doğal Taşlar, Ankara, 1977.*
4. T.S.E., *TS 2513 Doğal Yapı Taşları, Ankara, 1977.*
5. T.S.699, *Doğal Yapı Taşları – Muayene ve Deney Metotları. Ankara, 1987.*
6. T.S.10449, *Mermer – Kalsiyum Karbonata Esaslı – Yapı ve Kaplama Taşı Olarak Kullanılan. Ankara, 1992.*
7. T.S.11137, *Kireçtaşı, Kalker Yapı ve Kaplama Taşı Olarak Kullanılması, 1993.*





Ceyhan Kireçtaşlarından Üretilen ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanılan Kireçlerin Radyoaktivite Ölçümleri <i>Natural Radioactivity Measurements of Limes used as Building Materials (Ceyhan-Adana) in East Mediterranean Region</i>	
<b>Ahmet Ş. AYKAMIŞ, Ahmet Mahmut KILIÇ</b> .....	237
Küçük Ölçekli İnsansız Helikopter Kontrol Denei Seti Tasarımı ve Simulasyonu <i>Design of a Small Scale Unmanned Helicopter Control Experiment Set and Its Simulation</i>	
<b>Ercan KÖSE, Serhan YAMAÇLI, Y. Gürcan ÜLTANIR, Bekir ÖZÇELİK, Murat AKSOY</b> ...	247
Destek Vektör Motorları ile Protein Yapısındaki Düzensiz Bölgelerin Tahmini <i>Prediction of Protein Disorder Regions with Support Vector Machines</i>	
<b>İrem ERSÖZ KAYA, Turgay İBRIKÇİ, Okan ERSOY</b> .....	257
Yatay Gölge Elemanı Tasarımına Bir Yaklaşım ve Adana Örneği <i>An Approach of Overhang Design and Adana Example</i>	
<b>Nilgün Sultan YÜCEER</b> .....	269
Enerji Etkin Bina Tasarım Teknikleri, Adana Örneği <i>Energy Efficient Building Design Techniques, Adana Example</i>	
<b>Nilgün Sultan YÜCEER</b> .....	279
Kentsel Tasarım Kalitesi ve Mimarlık Politikaları <i>Urban Design Quality and Arcitectural Politics</i>	
<b>Serpil ÇERÇİ</b> .....	287
Enerji Tasarrufu İçin Bir "Güneş Evi" Örneği <i>A Model Solar House for Saving Energy</i>	
<b>Serpil ÇERÇİ, İbrahim ŞAHALİ</b> .....	299
Adana Yüksekbaş Dokuma ve İplik Fabrikası Yönetim Binası <i>Adana Yüksekbaş Weaving and Yarn Factory Administration Building</i>	
<b>Ayça Aşlıhan ÖZÜDOĞRU, Onur ERMAN</b> .....	311
Adana Kentsel Sit Alanındaki Fiziksel Değişim ve Sonuçları <i>The Implications of Physical Changes in the Adana Conservation Area</i>	
<b>Duygu SABAN ÖKESLİ, Figen KARAMAN, Tevfik YILDIRIM</b> .....	325
Belen-Topboğazı (Hatay) Arası Yol Yapım Çalışmaları <i>Road of Between Belen-Topboğazı (Hatay) Building Works</i>	
<b>Fırat YELKEN, Mesut ANIL</b> .....	341
Midyat Taşının Kaplama ve Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması <i>The Usage of Midyat Stone as a Covering and Building Material Researching</i>	
<b>Alper Cenk KAYA, Nil YAPICI, Mesut ANIL</b> .....	357

STA4-CAD Paket Programı ile SAP2000 Analiz Programının Mod Birleştirme Yöntemi Kullanarak Karşılaştırılması <i>Comparing of STA4-CAD Packaged Programme with SAP2000 Statics Calculation Programme with Mode Superposition Method</i> <b>İrfan S.GELİBOLU, Ali DOĞAN, H.Murat ARSLAN.....</b>	97
Tabakalı Kompozit İnce Plakların Plak Düzlemine Dik Yükleme Etkisi Altındaki Eğilme Analizi <i>Bending Analysis of Laminated Composite Thin Plates Under The Effects of the Transverse Loading</i> <b>Ali DOĞAN, Emel YAĞCI, H.Murat ARSLAN.....</b>	109
Değişken Kesitli Kompozit Çubukların Serbest Titreşim Analizi <i>Free Vibration Analysis of Composite Rods with Variable Cross-Section</i> <b>Faruk Fırat ÇALIM, Murat BİNGÖL, Beytullah TEMEL.....</b>	127
Beton Yollarda Karışım İncelik Modülünün Sürtünme Kaybına Etkisi <i>The Effect of Concrete Pavement Fineness Modulus on Friction Loss</i> <b>Orhan KARPUZ, Muhammet Vefa AKPINAR, Tuba SERT, Murat ÖRNEK.....</b>	137
Yapay Sinir Ağı ve Linear Model ile Köprü Ayaklarında Oyulma Derinliğinin Tahmini <i>Prediction of Scouring Depth at Bridge Pier by Artificial Neural Networks and Linear Model</i> <b>Fikret KOCABAŞ, Burhan ÜNAL, Buğrayhan BİÇKİCİ, Mutlu VARDAR, Yasin KIZIL..</b>	147
Adana İlinde Yer Kaynaklı Isı Pompaları İçin Toprak Sıcaklıklarının Belirlenmesi <i>The Determining of Ground Temperatures for Ground-Source Heat Pumps in Adana</i> <b>Arif ÖZBEK, Tuncay YILMAZ, Alper YILMAZ, Orhan BÜYÜKALACA.....</b>	159
Farklı Sayıdaki Silindirler Etrafında Faz Değişiminin Sayısal Olarak İncelenmesi <i>Numerical Investigation of Phase Change Around Different Numbers of Cylinder</i> <b>Ertan BUYRUK, Ahmet FERTELLİ, Nesrin SÖNMEZ.....</b>	171
Bucak (Karaisalı) ve Yakın Dolayının Jeolojisi ve Demiryolu Güzergahı Açısından Değerlendirilmesi <i>Geological Investigation of Bucak (Karaisalı) and Its Near Surroundings Area and Utilization with in the Railway Route Concept</i> <b>Cengiz KÖSE, Cavit DEMİRKOL, Ulaş İnan SEVİMLİ.....</b>	181
Farklı Kökenlere Sahip Killerin Kompaksiyon Özelliklerinin Karşılaştırılması <i>Correlation of Compact Properties of Clays with Distinct Origin</i> <b>Hakan GÜNEYLİ.....</b>	199
Uçucu Küllerin Killi Zeminler Üzerindeki Etkileri <i>Effects For Fly Ash on Clayey Soils</i> <b>Sinem AYTEKİN, Hakan GÜNEYLİ, Özgür YÜKSEL.....</b>	207
Farklı Kökenlere Sahip Killerin Şişme Özelliklerinin Karşılaştırılması <i>Correlation of Swelling Properties of Clays with Distinct Origin</i> <b>Hakan GÜNEYLİ.....</b>	219
Kompaksiyon Parametrelerinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmini <i>Estimation of Compaction Parameters Using Artificial Neural Networks</i> <b>Osman GÜNAYDIN, Bekir Sami TEZEKİCİ, Burak YILDIRIM, Ali ÖZVAN.....</b>	229