



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ



ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT
VOL 19

SAYI
NO 1

Haziran
June 2004

ISSN 1019-1011

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Tekstilde Kullanılan Ekstrüderlerde Tasarım Esasları ve Eritme Mekanizmalarının İncelenmesi <i>Design Principles of Extruders in Textile and Investigation of Melting Mechanism</i> Oğuz DEMİRYÜREK, Erdem KOÇ	1
Havlu Dokuma İşlemi ve Üretim Planlaması Terry Weaving and Production Planning Nihat ÇELİK, Erdem KOÇ, Belkis ZERVENT	15
The Factors Affecting The Structural Efficiency of Double-Layer Grids: A Case Study <i>Çift Tabakalı Izgaraların Yapısal Etkinliğini Etkileyen Faktörler: Bir Örnek Çalışma</i> Hakan T.TÜRKER, Hilmi COŞKUN, Orhan AKSOĞAN	29
Susceptibility of Double_Layer Grid Structures to Progressive Collapse <i>Çift Tabakalı Grid Yapıların Zincirleme Çöküşüne Karşı Hassasiyetleri</i> Hakan T.TÜRKER, Celal KÖSTEM, Orhan AKSOĞAN	39
Çok Sıra Boşluklu Deprem Perdelerinin Değişik Yöntemlerle Analizi <i>Analysis of Multi-Bay Coupled Shear Walls with Different Methods</i> Ziya ÜNSAL, Orhan AKSOĞAN, Engin EMSEN	53
Farklı Sıklıktaki Kumlu Zeminlere Oturan Şerit Temeller Altında Gerilme Analizi <i>Stress Analysis of the Strip Footings Rested on Sandy Soils with Various Densities</i> Mustafa LAMAN, Salih KESKİN	71
Çağdaş Proje Yönetimi Uygulamaları Kapsamında Türkiye'deki İnşaat Mühendisliği Eğitim Programlarının İrdelenmesi <i>A Research on Civil Engineering Education Programs in Turkey within Context of Contemporary Project Management Applications</i> M.Emin ÖCAL, Ömer Latif ÖMÜR, Ercan ERDİŞ	83
İdestatik Hazır Programının 1998 Deprem Yönetmeliği Bakımından İrdelenmesi <i>Investigation of İdestatik Computer Program in Terms of Turkish Earthquake Code</i> Koray İÇÖZ, Beytullah TEMEL	93
Güçlendirilmiş Plak Döşemelerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Çözümü <i>Finite Element Analysis of Stiffened Slabs</i> Beytullah TEMEL	109
Osmaniye'de Üretilen Betonların Basınç Dayanımlarının İncelenmesi <i>An Experimental Study on Compressive Strength of Concretes used in Osmaniye</i> Hanifi BİNİCİ, İsmail Hakkı ÇAĞATAY	129

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ**

Çukurova University, Journal of Faculty of Engineering and Architecture

Sahibi

Tuncay YILMAZ
Çukurova Üniversitesi
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanı

Editör

Mesut ANIL

YAYIN KURULU

Mesut ANIL Beşir ŞAHİN
Recep YURTAL Hasan ÇETİN
Osman BABAARSLAN

YAZI İNCELEME KURULU (Editorial Board)
(SÜREKLİ)

İ.Deniz AKÇALI (Ç.Ü.)	Orhan AKSOĞAN (Ç.Ü.)
Ahmet AYHAN (S.Ü.)	Sedat TEMUR (S.Ü.)
A.Feyzi BİNGÖL (F.Ü.)	Cavit DEMİRKOL (Ç.Ü.)
İlhan ERHAN (M.S.Ü.)	Aziz ERTUNÇ (S.D.Ü.)
Cahit HELVACI (D.E.Ü.)	M.Baki KARAMIŞ (E.Ü.)
Erdal KEREY (İ.Ü.)	Salih KIRKGÖZ (Ç.Ü.)
Erdem KOÇ (Ç.Ü.)	Güven ÖNAL (İ.T.Ü.)
Işık ÖZPEKER (İ.T.Ü.)	Kazım PIHTILI (F.Ü.)
Hamit SERBEST (Ç.Ü.)	Bedri TUÇ (G.Ü.)
İbrahim UZMAY (E.Ü.)	Servet YAMAN (Ç.Ü.)
Cengiz YETİŞ (Ç.Ü.)	Tuncay YILMAZ (Ç.Ü.)

(Bu Sayıda Görüşlerinden Yararlanılan Diğer Hakemler)

Mustafa AKYILDIZ (Ç.Ü.)	Mehmet ARDIÇLIOĞLU (E.Ü.)
H.Murat ARSLAN (Ç.Ü.)	Mesut BAŞIBÜYÜK (Ç.Ü.)
Ali BERKTAY (S.Ü.)	Hüsamettin BULUT (Har.Ü.)
Orhan BÜYÜKALACA (Ç.Ü.)	Nihat ÇELİK (Ç.Ü.)
Hasan ÇETİN (Ç.Ü.)	Rızvan EROL (Ç.Ü.)
Özer GÖKTEPE (S.D.Ü.)	Selçuk KAÇIN (M.K.Ü.)
Bekir KARA (E.Ü.)	Emel LAPTALI ORAL (M.K.Ü.)
Ahmet ÖZEL (Sak.Ü.)	Erol ÖZER (M.Ü.)
Emel Ceyhan SABİR (Ç.Ü.)	Meltem SARIOĞLU (Ç.Ü.)
Zeliha SELEK (Ç.Ü.)	A.Hamza TANRIKULU (Ç.Ü.)
Hakan T. TÜRKER (M.K.Ü.)	Gürhan YALÇIN (N.Ü.)
Hüseyin R. YERLİ (Ç.Ü.)	Çetin YILMAZ (O.D.T.Ü.)
Recep YURTAL (Ç.Ü.)	

YAZISMA ADRESİ

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

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

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



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ



ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT
VOL 19

SAYI
NO 1

Haziran
June 2004

ISSN 1019-1011

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Tekstilde Kullanılan Ekstrüderlerde Tasarım Esasları ve Eritme Mekanizmalarının İncelenmesi <i>Design Principles of Extruders in Textile and Investigation of Melting Mechanism</i> Oğuz DEMİRYÜREK, Erdem KOÇ	1
Havlu Dokuma İşlemi ve Üretim Planlaması Terry Weaving and Production Planning Nihat ÇELİK, Erdem KOÇ, Belkis ZERVENT	15
The Factors Affecting The Structural Efficiency of Double-Layer Grids: A Case Study <i>Çift Tabakalı Izgaraların Yapısal Etkinliğini Etkileyen Faktörler: Bir Örnek Çalışma</i> Hakan T.TÜRKER, Hilmi COŞKUN, Orhan AKSOĞAN	29
Susceptibility of Double_Layer Grid Structures to Progressive Collapse <i>Çift Tabakalı Grid Yapıların Zincirleme Çöküşüne Karşı Hassasiyetleri</i> Hakan T.TÜRKER, Celal KÖSTEM, Orhan AKSOĞAN	39
Çok Sıra Boşluklu Deprem Perdelerinin Değişik Yöntemlerle Analizi <i>Analysis of Multi-Bay Coupled Shear Walls with Different Methods</i> Ziya ÜNSAL, Orhan AKSOĞAN, Engin EMSEN.....	53
Farklı Sıklıktaki Kumlu Zeminlere Oturan Şerit Temeller Altında Gerilme Analizi <i>Stress Analysis of the Strip Footings Rested on Sandy Soils with Various Densities</i> Mustafa LAMAN, Salih KESKİN	71
Çağdaş Proje Yönetimi Uygulamaları Kapsamında Türkiye'deki İnşaat Mühendisliği Eğitim Programlarının İrdelenmesi <i>A Research on Civil Engineering Education Programs in Turkey within Context of Contemporary Project Management Applications</i> M.Emin ÖCAL, Ömer Latif ÖMÜR, Ercan ERDİŞ	83
İdestatik Hazır Programının 1998 Deprem Yönetmeliği Bakımından İrdelenmesi <i>Investigation of İdestatik Computer Program in Terms of Turkish Earthquake Code</i> Koray İÇÖZ, Beytullah TEMEL.....	93
Güçlendirilmiş Plak Döşemelerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Çözümü <i>Finite Element Analysis of Stiffened Slabs</i> Beytullah TEMEL	109
Osmaniye'de Üretilen Betonların Basınç Dayanımlarının İncelenmesi <i>An Experimental Study on Compressive Strength of Concretes used in Osmaniye</i> Hanifi BİNİCİ, İsmail Hakkı ÇAĞATAY.....	129

Osmaniye İli Agregalarının Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi <i>Investigation of Engineering Properties of the Aggregates in Osmaniye</i> Hanifi BINİCİ, İsmail Hakkı ÇAĞATAY.....	137
Betonarme Yapıların Perde Takviyesi ile Güçlendirilmesi <i>Strengthening of RC Buildings by Adding Shear Walls</i> M. Serhat KÖRLÜ, İbrahim Ö. DENEME, Hüseyin R. YERLİ	149
Segman Yerleştirilmiş Borularda Isı Transferi ve Basınç Kaybının Sayısal Analizi <i>Numerical Heat Transfer Enhancement in Pipes with Ring Inserts</i> Orhan BÜYÜKALACA, Hakan AKGÜN	159
Merkezi İklimlendirme Santrallerinde Soğutma Serpantini Yüzey Sıcaklığının Matematiksel İfadesi <i>Mathematical Expression of the Cooling Coil Surface Temperature at the Central Station Air Handling Unit</i> Mehmet Azmi AKTACİR, Alper YILMAZ	169
Hava Kirliliği Dağılımının Belirlenmesinde ISCST3 Model Programının Kullanımı: AÇS Örneği <i>The use of ISCST3 Model Program for Determination of Air Pollution Distribution: A Case Study for AÇS</i> Ahmet ATLI, Ahmet YÜCEER ve Fuat BUDAK.....	177
Bazik Mavi 41 Boyar Maddesinin Canlı Aktif Çamur Biyokütlesi Tarafından Adsorpsiyonunun Yalancı İzotermelere Uygulanması <i>Application of Pseudo Isotherms on the Adsorption of Basic Blue 41 Onto Live Activated Sludge</i> Mesut BAŞIBÜYÜK, M.Ekrem ÇAKMAK, Olcayto KESKİNKAN, Hamza A.ARSLAN	187
Montaj Hattı Dengeleme Algoritmalarının Karşılaştırılması <i>Comparison of the Assembly Line Balancing Algorithms</i> Funda KAHRAMAN ve Adem İSPİR	195
Oto Korelasyonlu Verilerde Proses Kontrol Tekniklerinin Uygulanması <i>A Research Related to the Applications of Process Control Techniques for Correlated Processes</i> Funda KAHRAMAN, Fatma BİLİRGEN	205
Örneklem Büyüklüğünün Shewart ve Cusum Kontrol Şemalarının Performanslarına Etkisinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi <i>The Practical Research on The Subject of the Statistical Quality Control and Statistical Process Control</i> Funda KAHRAMAN, A.Nilgün KAYADELEN	217
Samandağ (Antakya) Civarının Jeolojik İncelemesi <i>Geological Investigation of Samandağ (Antakya) and its Near Surroundings</i> Tolga MİSTİK, Ulvi Can ÜNLÜGENÇ	231
Ceyhan Beji (Ceyhan-Adana) Kireçtaşı Mermerlerinin Teknomekanik Özellikleri <i>Determination of Technomechanical Properties of Ceyhan Beige (Ceyhan-Adana) Limestone Marbles</i> Nuri LAÇİNBALA, Mesut ANIL	243

ÖNSÖZ

Fakülte Dergimizin 19. cilt 1. sayısını kısa bir gecikmeyle yayınlamış bulunuyoruz. 2004 yılına ait bu ciltde 21 adet makale yer almaktadır. Bundan sonra yayınlanacak olan 2004 yılı 2. sayısını da Aralık ayında yayınlamayı planlıyoruz. Bu sayımızda da değerli öğretim elemanlarımızın güncel çalışmalarını bekler, dergimize gösterdikleri ilgiye teşekkür ederiz.

Bu sayımıza makale vererek yayın hayatımızı sürdürmemize olanak tanıyan değerli yazarlarımıza, Fakülte bütçesinde yeterli ödenek olmadığı için dergimizin baskısını gerçekleştiren Çukurova Mühendisler-Mimarlar Güçlendirme Derneği'ne ve büyük bir özveriyle derginin dizgisini yapan Yazım-Yayın Bürosu sekreteri Filiz Demirkıran'a ve basımını büyük bir titizlikle gerçekleştiren Üniversitemiz Matbaası yetkililerine teşekkür etmeyi görev biliriz.

Yayın Kurulu

TEKSTİLDE KULLANILAN EKSTRÜDERLERDE TASARIM ESASLARI VE ERİTME MEKANİZMALARININ İNCELENMESİ

Oğuz DEMİRYÜREK ve Erdem KOÇ
Ç.Ü., Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Ekstrüderler sentetik lif üretiminde önemli bir fonksiyona sahiptirler. Bu çalışmada tekstilde kullanılan bazı ekstrüderler ve özellikle tek vidalı ekstrüderlerin tasarım esasları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ayrıca polimerin tek vidalı ekstrüder içerisindeki hareketi, ekstrüderin çeşitli bölgelerinde oluşan basınç eğrileri ve polimerin ekstrüder içerisinde ergime mekanizmasının oluşumu konuları incelenmiştir.

DESIGN PRINCIPLES OF EXTRUDERS IN TEXTILE AND INVESTIGATION OF MELTING MECHANISM

ABSTRACT : Extruders have an important function in synthetic fibre production. In this study, different extruders' -especially single-screw extruder's- construction basics and also polymer behaviour in single-screw extruder, pressure curves in different extruder zones and polymer melting mechanism have been investigated.

1. GİRİŞ

1940-1950 yılları arasında sentetik esaslı polimerlerin oldukça hızlı bir şekilde bulunmaya başlanması ve üretilmesi bunların işlenmesi için de bir sektör oluşturmuştur. Polimerlerin elde edilmesi ve bunların işlenmesi, birbiriyle ilişkili olduğundan polimer işleme endüstrisi de hızlı bir gelişme göstermiştir. Polimer işleme endüstrisi, kimyasal işleme elde edilen polimerin ısı ve mekanik işlemlere tabi tutulmasıyla istenen son ürünün elde edilmesini sağlayan endüstri dalıdır. Polimer işleme endüstrisinin gelişmesinde ekstrüzyon işleminin büyük önemi olmuştur. Ekstrüzyon prosesinin en temel özelliği silindirik bir barel ve içinde dönen vidadır. Bu proses günümüzün en önemli polimer işleme tekniği olup polimerlerin yaklaşık %60'ı bu yöntemle işlenerek son ürün haline almaktadır (1,2)

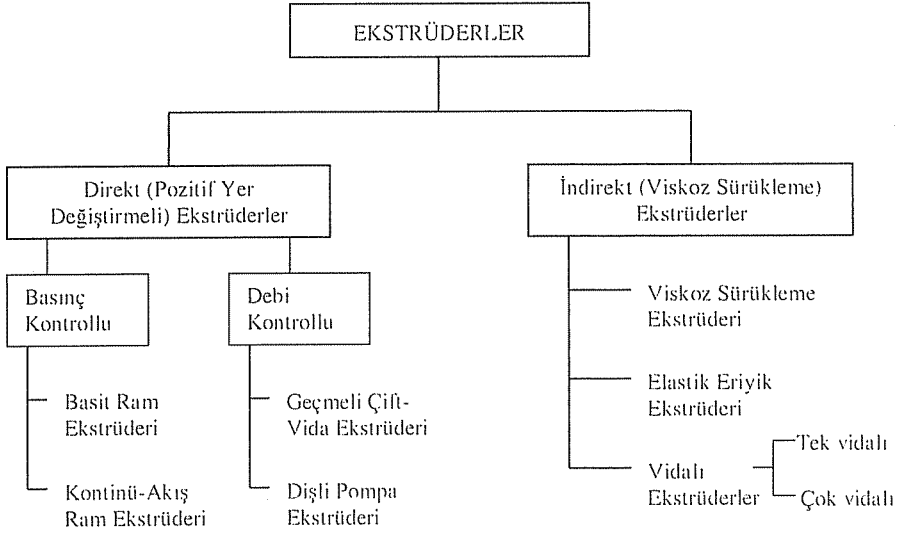
Latince olan "extrude" kelimesi "ex" (out, dışarı) ve "trude" (to thrust, itmek) kelimelerinin birleşmesiyle oluşur. Ekstrüder ise anlaşılacağı üzere bir malzemeyi cebri olarak iterek dışarı sevkeden bir makina olarak düşünülebilir. Vidalı ekstrüder, katı polimeri etkin ve kesintisiz bir şekilde eriyik haline getirip yüksek viskozitedeki eriyiği pompalayarak basınç altında çıkışı gönderir (2).

Termoplastik polimerler (ısı ile şekil alabilen polimerler), ekstrüzyon sistemleri vasıtasıyla film, iplik, plaka vb. ürünler haline dönüştürülebilirken, bu proses ile enjeksiyonlu kalıplama, tüp ve borular gibi içi oyuk parçalar, elektrik yalıtımı ve koruma amaçlı olarak kabloların kaplanması, levha film, müzik, video kaset bantları ve paketleme amaçlı bantların yapımı, iplik için lif üretimi, üfleterek şişirme yöntemi ile pet şişe elde edilmesi, köpük yapımı gerçekleştirilebilir. Ayrıca alüminyum üretimi ve inşaat sektöründe de ekstrüderler kullanılmaktadır. Farklı veya aynı türdeki eriyiklerin harmanlanması, gaz uzaklaştırma, filtreleme, eriyikten suyun uzaklaştırılması da ekstrüderin fonksiyonları arasındadır (3). Bu çalışmada endüstride kullanılan çeşitli ekstrüderlerin çalışma prensipleri, mekanik özellikleri ve ısıtma sistemleri üzerinde durulmuştur. Tekstilde sentetik lif üretiminde yaygın olarak kullanılan tek vidalı ekstrüderlerin barel ve vida mekanik özellikleri, üretim kapasitesi incelenmiştir. Vida kanalları içerisindeki eritme mekanizması ise ayrıca ele alınmıştır.

2. EKSTRÜDER TASARIM ESASLARI

Ekstrüder sayılabilecek ilk makina 19. yüzyılın ikinci yarısında imal edilmiştir. Bu ekstrüderde selülozik polimerler işlenirken, 1940'lı yıllarda sentetik polimerlerin bulunmasıyla çeşitli ekstrüderler dizayn edilmeye başlanmıştır. Ekstrüderleri basınç oluşturma metoduna göre direkt ve indirekt (viskoz sürüklenme) olarak ikiye ayırmak mümkündür. Şekil 1'de ekstrüderlerin basınç oluşturma metoduna göre sınıflandırılması görülmektedir.

Direkt iletimin (pozitif yer değiştirme) olduğu ekstrüderler basınç ve debi kontrollü olmak üzere ikiye ayrılırlar. İlk ekstrüderlerden basit ram ve kontinu-ram ekstrüderleri basınç kontrollü, geçmeli çift vida ve dışı pompa ekstrüderleri ise debi kontrollü pozitif yer değiştirmeli ekstrüderlerdir. İndirekt veya viskoz sürüklenme ekstrüderleri, viskoz sürüklenme, elastik eriyik ve günümüzde en çok kullanılan modern vidalı ekstrüderlerdir. Vidalı ekstrüderler tek ve çok vidalı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Çok vidalı ekstrüderler ise çoğunlukla iki vidalı olmaktadır. Şekil 1'de gösterilen ekstrüderler aşağıda sırasıyla anlatılmaktadır.



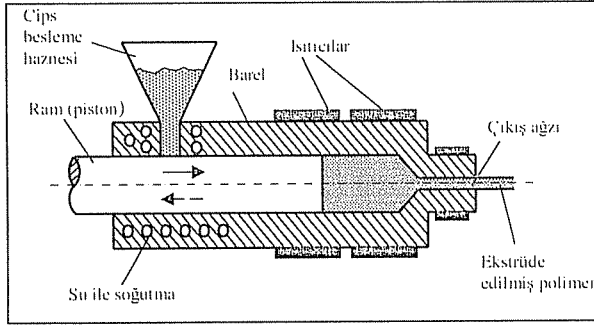
Şekil 1. Ekstrüderlerin basınç oluşturma mekanizmasına göre sınıflandırılması (3)

2.1. Pozitif Yer Değiştirmeli Ekstrüderler

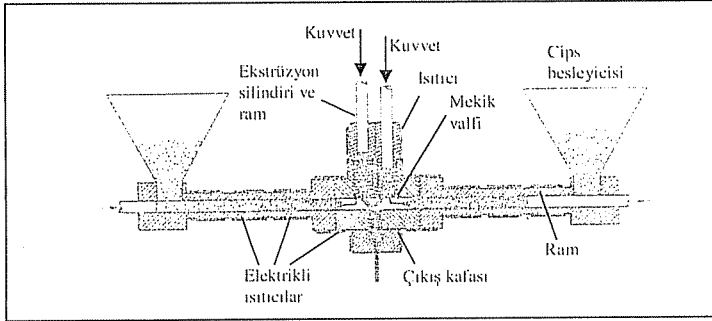
Pozitif yer değiştirme, malzemeye verilecek itme hareketinin dolaylı veya döndürerek değil doğrudan öteleme yoluyla yapıldığı sistemlerde kullanılan bir kavramdır. Geometrik yapıları gereği belirli kaçakların olduğu, eritilen akışkanın çıkışa doğrudan sevk edildiği sistemler pozitif yer değiştirmeli sistem olarak bilinir. Bir silindir içerisinde eritilen polimerin bir piston ile itilerek çıkışa sevk edildiği sistemlere pozitif yer değiştirmeli ekstrüder denilmektedir. Pozitif yer değiştirmeli ekstrüderler basınç kontrollü ve debi kontrollü olmak üzere ikiye ayrılırlar. Basit ram ve sürekli-ram ekstrüderi basınç kontrollü, dişli pompalı ve çift vidalı ekstrüderler ise debi kontrollü mekanizmalara sahiptirler. Kontrolün basınç veya debiye bağlı olması kullanılan sistemlerin yapısal özelliğinden kaynaklanmaktadır. Şekil 2’de basit ram (a) ve sürekli (Kontinü)-akış ram ekstrüderleri (b) görülmektedir.

Basit ram (piston) ekstrüderlerinde (Şekil 2a) silindirik bir gövde içerisine yerleştirilen bir piston ve silindir çevresine yerleştirilmiş ısıtıcılar mevcuttur. Polimer, piston en geri pozisyonda iken katı parçacıklar halinde (cips) ekstrüder içerisine sevk edilir. Polimerin erimesiyle birlikte piston hareketine başlar ve itme neticesinde ekstrüderin çıkış kesitinde polimere basınç kazandırılır. Basit ram ekstrüderlerinde piston (ram) aldığı malzemeyi iterek çıkışa sevk ettikten sonra tekrar malzeme almak için geriye döndüğünden ekstrüzyon işlemi kesiklidir. Aynı zamanda, ekstrüder içerisindeki polimere karıştırma hafeketi verilmediğinden ısıl homojenite az olmaktadır. Bu da çıkışta polimer içerisinde varyasyonlara sebep olmaktadır. Termoset malzemeler için prosesin diskontinü olması avantajlı olmakla birlikte termoplastik malzemeler için bu durum iyi değildir.

Sistemin sürekli olması için **Sürekli-akış piston ekstrüderleri** (Şekil 2b) geliştirilmiştir. Şekilde iki adet besleme haznesi, eksenel ve düşey yönde ikişer adet silindir ve bu silindirlere toplam dört adet ram (piston), ısıtıcı elemanlar, mekik valfleri (iki adet) ve çıkış bölgesi vardır. Sistem iki adet ekstrüderin bir arada kullanılması ile oluşturulmuştur. Sol taraftaki ekstrüzyon sisteminde eksenel silindir içerisindeki ram, besleme haznesinden polimeri alıp hareketine başlar ve bu yöndeki mekik valfinin açılmasıyla sol düşey yöndeki ekstrüzyon silindirine eriyen polimeri biriktirir. Eksenel yöndeki ram strokunun sonuna geldiğinde geriye döner ve düşey yöndeki ram biriken polimeri itmek suretiyle çıkışa sevk eder. Sağ taraftaki ekstrüder ise sol taraftakinin hareketinin tersini yapar. Yani, eksenel yöndeki ramlardan birisi hareketine başladığında diğeri hareketini bitirerek polimeri düşey yöndeki silindire sevk etmiştir. Düşey yöndeki ramlardan biri dolmuş yaparken, diğeri boşaltım yapmaktadır. Dolayısıyla sürekli bir üretim vardır ve bu sisteme sürekli-akış denilmesinin sebebi de budur. Bu ekstrüderde istenen sıcaklık seviyesi ram ekstrüderlerine göre biraz daha iyileştirilmiş olsa da polimer karışımı tam olarak sağlanamamakta ve hidrolitik parçalanmalar olabilmektedir. Hidrolitik parçalanma, polimerin kimyasal yapısındaki oksitlenmeye denilmektedir.



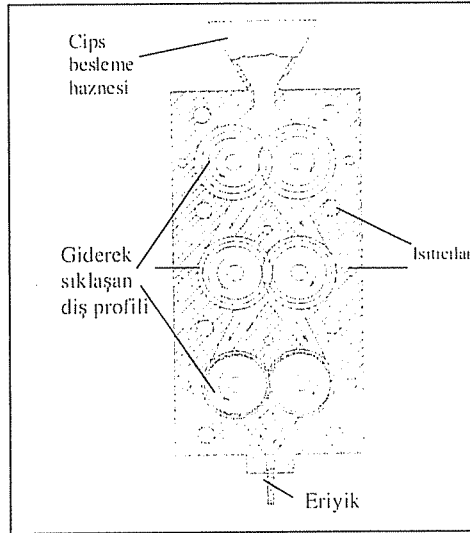
a) Basit ram ekstrüderi (7)



b) Sürekli (Kontinü)-akış ram ekstrüderi (1)

Şekil 2. Ram ekstrüderleri

Dişli Pompa Ekstrüderleri pozitif yer değiştirmeli pompalar olarak kullanılırlar ve bir çok uygulamada etkinliği, güvenilirliği ve basitliği için tercih edilirler. Şekil 3’de üç çift dişli pompanın ekstrüder elemanı olarak kullanıldığı bir dişli pompa ekstrüderi görülmektedir. Şekilde bir besleme bölgesi, gövde, gövde içerisinde üç çift dişli ve ısıtıcılar yer almaktadır. Dişliler aynı devir sayısında çalışmaktadırlar. Şekilden dişlilerin diş geometrisinin gittikçe küçülerek sıklığının arttığı ve buna bağlı olarak taşıyıcı bölge hacminin gittikçe azaldığı görülmektedir. Şekilde dikkati çeken bir diğer husus, dişlilerden sonra, gövde içerisinde malzemenin ikiye ayrılarak diğer dişli çiftine sevk edilmesidir. Böylece eriyik, dişlilerin birbiri ile temas eden bölgesinde değil, dişli ile gövdenin temas ettiği bölgelerde taşınarak basınç oluşumu sağlanır. Bu taşınma iki türlü avantaj sağlar. Birincisi; eriyik, dişlilerin pozitif basınç oluşturduğu bölgede taşındığından daha yüksek basınç değerleri elde edilir. İkincisi ise; polimerin dişliler arasında taşındığında moleküllerin kesilmeye maruz kalması neticesinde düşük moleküler ağırlıklı polimer üretimini engellemesidir. Polimer basıncını arttırmak için daha sık vida profilli dişliler kullanılmaktadır. Sistemde ısıtıcılar yer almakta ve polimeri eritmektedirler. Burada malzeme, yerçekimi kuvveti ve dişli pompalar arasındaki basınç kuvvetiyle hareket ettirilir. Silindirik çevre ile pompa dişleri arasındaki mesafenin az olması ve malzemenin bu dişler arasına dolması sebebiyle polimer hızı dişlilerin dönüş devrine bağlıdır. Dolayısıyla bu ekstrüdere sabit-debili ekstrüder denilebilir. Dişli pompalar, konvansiyonel tek vidalı ekstrüderlerde vida kapasitesinin üzerindeki basınç ihtiyacı için kullanılabilir. Özellikle filament lif üretiminde ekstrüder sonrasında kullanım için uygundur.



Şekil 3. Pasquetti dişli pompa ekstrüderi (1)

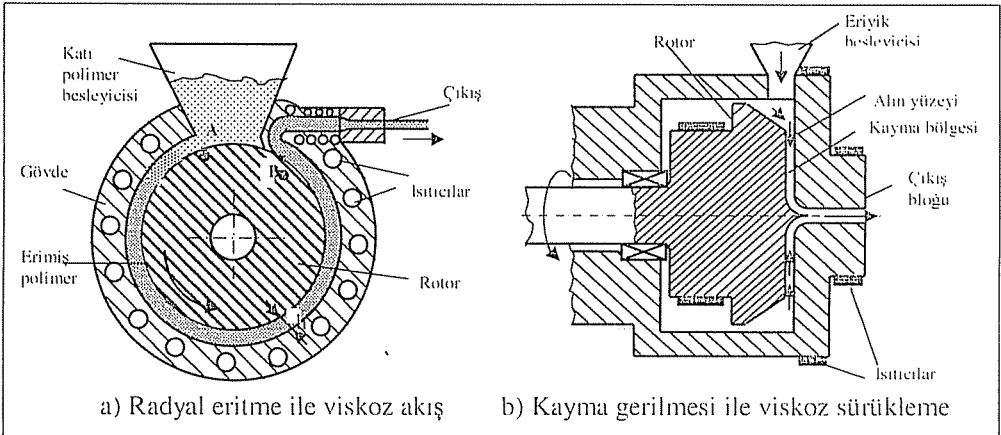
Geçmeli Çift-Vida Ekstrüderleri işlenen malzemenin vida dişleri arasında izole bir şekilde hapsolmasıyla taşınmasından dolayı pozitif-yer değiştirmeli ekstrüder olarak

düşünülür. Ram ekstrüderleri kadar pozitif yer değiştirme belirgin olmasa da bu ekstrüderleri de pozitif yer değiştirmeli olarak kabul etmek gerekir (1). Vida adımları arasında kaçak akış ihmal edilebilecek seviyededir. Bu ekstrüderler, iki vidanın birbirine geçmesi ve birlikte dönerek çalışması esasına dayanır.

2.2. Viskoz-Sürükleme Ekstrüderleri

Bir gövde içerisinde gövde ile çok az bir radyal açıklıkta bulunan rotorun dönmesiyle polimerin rotor-gövde arasında sürüklenerek taşındığı sistemlerdir. Polimer eriyiği rotor ve gövdeye yapışarak film tabakası oluşturur ve radyal açıklıktaki hacimde yer alan polimer akış özelliklerinden dolayı viskoz bir sürüklenmeye maruz kalır. Bu ekstrüderler, mekanik hareketlere duyarlı polimerler için uygun olmaktadır. Bu sistemlerde yüksek basınç değerleri elde edilememektedir. Ekstrüder çıkışından sonra basıncın yükseltilmesi için dişli pompa veya vidalı ekstrüderler kullanılabilir. Şekil 4'te radyal eritme ve kayma gerilmesiyle akışın oluştuğu ekstrüderler bir arada verilmektedir.

Radyal eritme ile viskoz akış ekstrüderlerinde (a) silindirik bir gövde ile çok az bir radyal açıklıkta bulunan rotorun dönmesi neticesinde ergimiş polimerin viskoz sürüklenmesi söz konusudur. Kayma gerilmesi ile viskoz akışta (b) alın yüzeyli bir gövdeye dik olarak dönen rotor eriyiğe yüksek kayma kuvveti uygular ve eriyik ekstrüder çıkışına düşük basınçta sevk edilir.



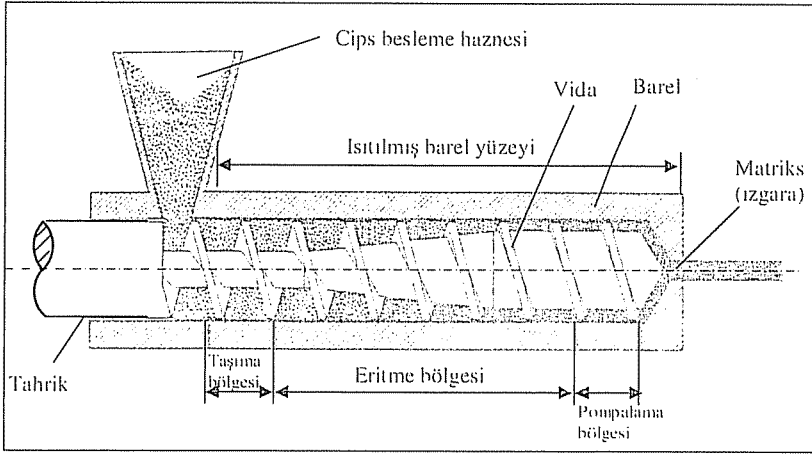
Şekil 4. Viskoz-sürükleme ekstrüderleri şematik gösterimi (rotor-silindir) (7)

3. TEK VİDALI EKSTRÜDERLER VE ERİTME MEKANİZMASI

3.1. Tek Vidalı Ekstrüderde Ekstrüzyon İşlemi

Tek vidalı ekstrüderler hem pozitif-yer değiştirmenin, hem de viskoz sürüklenmenin oluştuğu sistemlerdir. Şekil 5'te tek vidalı bir ekstrüder görülmektedir. Bu ekstrüderler besleme, eritme ve basınç bölgeleri denilen üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bu bölgelerin geometrisi üretim koşullarına, polimerin fiziksel özelliklerine ve vida konstrüksiyonuna bağlı olmaktadır. Vidanın ekstrüder boyunca artan konikliği, oluşan

polimer eriyiğinin sıkıştırılmasına ve basınç oluşumuna yardım etmektedir (Şekil 5'de eritme bölgesi). Tamamen eriyen polimer ekstrüder çıkışında basınç artırıcı bölge olan pompalama bölgesinden geçerek basınç kazanır. Basıncılı polimer **matriks** denilen çıkış ızgarasından geçerek helisel (öteleme+dönme) hareket yapan polimerin doğrusal hareket yapması sağlanır. Matriks bu fonksiyonuyla bir titreşim sönümleyici eleman gibi görev yapar. Ayrıca bu eleman eriyik içerisindeki yabancı maddeleri tutarak filtreleme işlemi görür ve eriyiği daha da homojen hale getirir. Çıkıştan sonra ise üretim amacına uygun olarak polimerin şekil kazanması için çeşitli işlemler yapılabilmektedir (tel kaplama, boru, filament üretimi vb.). Polimer ekstrüder içerisinde yüksek basınç ve sıcaklıkta pompalanarak ekstrüder çıkışına gönderildiği için ekstrüderi bir **ön pompa** gibi düşünmek uygun olmaktadır.



Şekil 5. Tipik bir ekstrüder ve kısımları (2)

İşlenecek katı polimerler cips, toz veya küçük tanecikler halinde üretilirler. Polimerin verimli bir şekilde işlenmesine yardımcı olan; antioksidant, plastikleştirici madde, pigment, yağlayıcı madde gibi yardımcı maddeler de cips besleme haznesinden ekstrüdere verilebilir (2).

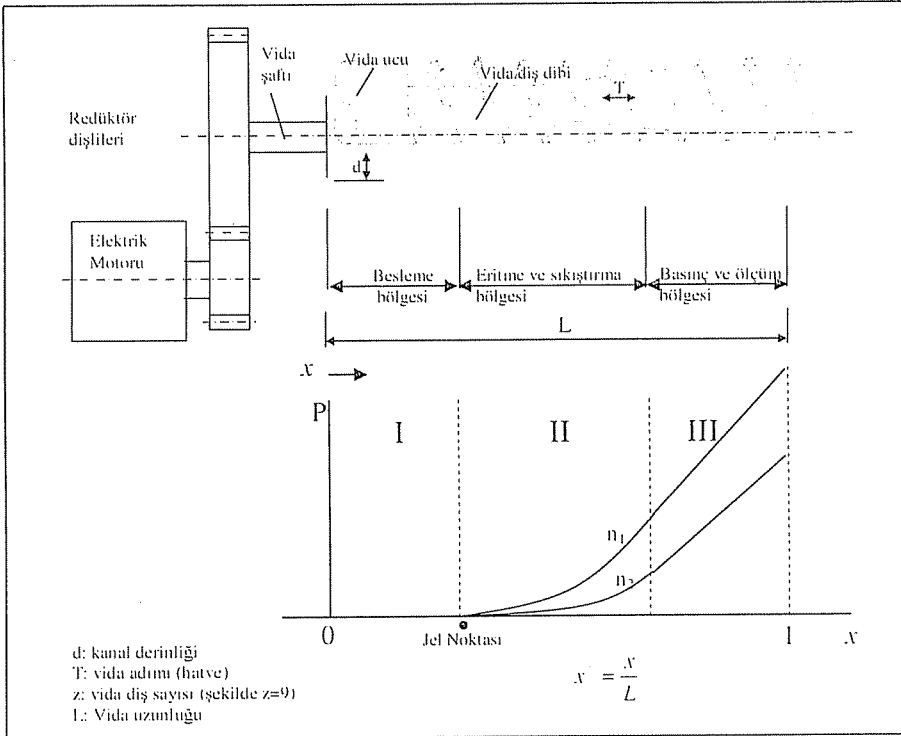
Polimer kalitesini etkileyen faktörler, ekstrüderi terk eden polimerin homojenliği ve sıcaklığın üniform olmasıdır. Eriyik ekstrüzyonunda bu sorun çok önemli derecede aşılarak polimerin ısıl dengesizliği (degradasyonu) önlenmiştir (2)

Katı ve erimiş polimer, barel ve vidanın bağıl hareketinden dolayı ileri doğru itilerek pompalanır. Bu mekanizmayı civata-somun mekanizmasına benzetmek mümkündür. Somunu çevirerek hareket sağlanabileceği gibi civatayı çevirerek de hareket sağlanabilir. Şekil 5'de ekstrüder içerisindeki tipik bir vida (helisel) görülmektedir. Vida, bir tahrik motoru ile mekanik olarak döndürülür. Barel ile vida çok az bir radyal açıklıkta hareket yaparlar ve polimer, vida ile barel arasında yağlayıcı madde gibi davranır (2).

3.2. Ekstrüder Vidası ve Barel Tasarım Esası

Ekstrüderin performansı büyük ölçüde vida dizaynına ve çalışma koşullarına bağlıdır. Vidanın temel geometrik değişkenleri: vida sayısı ve geometrisi, kanal derinliği ve ekstrüder boyunca derinlik değişimi, vida ile barel arasındaki radyal açıklık olarak gösterilebilir. Vida ve barel malzemesi çeliktir ve aşınmaya karşı sertleştirilebilir. Şekil 6'da örnek bir ekstrüder vidası, kısımları ve bu kısımlarda oluşan basınç eğrileri gösterilmiştir. Tek vidalı ekstrüderlerde, polimer malzemesine ve istenen çıkış özelliklerine göre eritme ve basınç bölgeleri daha uzun olabilirken iki veya daha fazla vidanın bir arada kullanıldığı ekstrüderlerde bölüm sayıları birden fazla (örneğin iki eritme bölgesi, iki basınç bölgesi) olacak şekilde dizayn edilebilmektedir.

Vidanın en belirgin özelliği, ekstrüder içerisinde barel ile arasındaki açıklık bakımından, daralan bir "kana" gibi davranmasıdır. Vida boyunca değişen kanal derinliğinin ekstrüderin performansına önemli etkisi olduğu bilinmektedir. Ekstrüdere beslenen katı polimer çeşitli boşluklara (cipsler arası boşluklar, cips içerisindeki hava vs.) sahiptir. Eritme işlemi ile bu boşlukların hacmi azaldığından polimer daha sıkı (kompakt) bir yapıya sahip olmakta ve bu yüzden yoğunluğu artmaktadır. Polimerin sıkıştırılan yoğunluğunun (bulk density) artması basıncın artmasına sebep olur. Aynı kütleye sahip olan polimerin yoğunluğunun artması, hacmini azalmaktadır. Hacmi azalan polimere basınç kazandırmak ve kanal içerisinde boşluk kalmadan taşıma yapılabilmesi için taşıma kanallarının hacmi ekstrüder boyunca gitgide azalmalıdır.



Şekil 6. Ekstrüder vidası ve eriyik basınç eğrileri (7)

Vidanın **daralan kama** gibi davranması, barel ile vida arasındaki hacmin ekstrüder boyunca gitgide azalmasından dolayı basınç artışına sebep olmasındandır. Şekil 6'da tipik bir ekstrüder vidasının tahrik sistemi, fonksiyonel bölgeleri ve bu bölgelerde oluşan eriyik basınç eğrileri verilmektedir. Vida bir elektrik motorundan hareket alan redüktör ile tahrik edilmektedir. Vidanın proses için istenen dönüş hızı elektrik motorunun hızından çok daha küçük olduğundan redüktöre ihtiyaç duyulmaktadır. Şekilde yer alan grafikte; P: vida boyunca oluşan basınç, $x' = x/L$: boyutsuz vida uzunluğunu göstermekte olup grafikte 0...1 arasında değer almaktadır. n_1 : yüksek vida devri, n_2 : düşük vida devri olarak gösterilmektedir. I no'lu bölgede eritme gerçekleşmediğinden basınç oluşmamaktadır. II no'lu bölge eritme bölgesi olup polimerin erimesi ve vida konikliğinin artmasıyla, basınç üstel olarak artmakta ve büyük devir sayıları için büyük basınç değerleri elde edilmektedir. III no'lu bölge ise basınç bölgesi olup tamamen erimiş polimer, küçük ve sabit kanal hacminde sıkıştırılarak basınç daha da arttırılmaktadır. Buradaki basınç artışı, kanal hacmi sabit olduğundan lineerdir. Doğrunun eğimi devir sayısının artmasıyla daha da artmaktadır.

Yukarıdaki şekilde, vidanın besleme bölgesinde vida dış dibi-barel arası boşluğu (kanal hacmi) büyük olduğu ve kanal derinliğinin bölge boyunca değişmediği (sabit kaldığı) görülmektedir. Basınç eğrisinden anlaşılacağı gibi besleme bölgesinde (I) basınç oluşturacak bir eritmenin oluşmadığı gözlenmektedir. Basıncın oluşması için polimerin sıvı halde olması gerekir, katı halde bir basınçtan söz edilemez. Eritme bölgesinde ise (II) polimer jel noktası denilen yerde erimeye ve basınç oluşturmaya başlamaktadır. Bu bölgede kanal derinliği hacmi giderek azalmakta ve polimer daha sıkı (kompakt) bir hal kazanmaktadır. Vida konikliğinin artmasıyla vida daralan kama gibi davranır ve polimer basıncı artırılır. Basınç ve ölçüm bölgesinde ise (III) vida kökü-barel arasında taşınan polimer hacmi (kanal) minimum ve sabit olmaktadır. Eriyen polimerin basıncı burada daha da artırılır ve çıkışa sevk edilir.

Ekstrüzyon işlemi sırasında kontrol edilmesi gereken bazı temel değişkenler vida hızı, barel sıcaklığı ve çıkış basıncı olarak gösterilebilir. Vida hızı ekstrüderin büyüklüğüne ve üretim kapasitesine bağlıdır. Filament üretimi için düşük hızlardaki ve orta büyüklükteki (örneğin: 1...10 inç vida çapı ve 200...400 dev/dak) ekstrüderler tercih edilirken, horu üretimi için büyük ekstrüderler kullanılabilir (12...36 inç vida çapı ve 100...300 dev/dak). Ekstrüder vidalarının bir çoğu 20-200 dev/dak dönüş hızında çalışır ve ekstrüder büyüklüğüne göre 2000 kg/saat'lik bir üretim hızına ulaşılabilir. 20-200 dev/dak çok düşük hızlardır. Ekstrüderin tahrik aldığı elektrik motorunun devir sayısı genellikle 1500 dev/dak'dan büyük olduğundan elektrik motoru kullanılarak düşük hızların sağlanabilmesi için elektrik motoru ve vida tahrik şaftı arasında **redüktör** kullanılmaktadır.

Üretim hızının limitini belirleyen asıl faktör polimerin kaliteli bir şekilde işlenebilmesidir. İstenen sıcaklık ve basınç değerlerinin çıkışta elde edilmesi ve polimerin ısıl olarak homojen olması, polimerin kaliteli işlendiğini gösteren parametrelerdir. Yüksek hızlarda çalışan ekstrüderlerde veya büyük vida çaplı ekstrüderlerde polimerin ekstrüder içerisinde tam olarak eritilmesi ve homojen bir yapı elde edilmesi zor olmaktadır. Büyük vida çaplı ekstrüderlerde, eritme yapılan hacmin büyük olmasından dolayı yeterli eritmenin sağlanabilmesi için daha yavaş bir çalışma hızı ve daha uzun bir vida gerekmektedir. Hızlı çalıştırılan ekstrüderlerde ise yeterli

eritme için daha uzun vida gerekmektedir. Yapılan deneylerde 1000-2000 dev/dak hızda çalıştırılan ekstrüderlerde üretilen polimerler düşük hızda çalıştırılanlara göre daha kalitesiz olmaktadır. Çalışma parametreleri, dizayn parametreleri ve üretim ihtiyaçları (son ürün ve kullanım amacı) dikkate alındığında; kaliteli polimer üretimi için, küçük veya orta boy ekstrüderlerde (1-10 inç vida çapı) ve düşük-orta hızlarda (100-500 dev/dak) üretim yapılmalıdır (2).

Barel, silindirik bir eleman ve bu silindir üzerindeki ısıtıcılardan oluşur. Barelın ısıtılması elektrik rezistansı, sıcak gaz, ve diğer ısıtıcı akışkanlar ile sağlanabilir. Uygun ve yaygın ısıtma yöntemi ise elektrik rezistansı ile ısıtmaktır. Bu yöntemde elektrik rezistansları barelin değişik yerlerine monte edilir ve düzgün bir ısı transferi gerçekleştirilir. Ekstrüder kısımlarındaki sıcaklık farkları ayrı kontrol mekanizmalarıyla sağlanır. Fakat bu yöntemde barelin polimerin işlenmesinden önceki ön ısıtılması uzun süre aldığından dezavantaj oluşturabilir (6). Barel sıcaklığı işlenen polimere göre ayarlanır. Bu sıcaklık polimeri ertecek ve ısı bozulmaya uğramayacak kadar yüksek seçilmelidir.

Ekstrüzyonda temel işlem değişkenleri vida hızı ve sıcaklık değişimidir. Temel konstrüksiyon parametreleri ise vida uzunluğu (L) ve çapı (D) olup bunların birbirine oranı (L/D) ekstrüder karakteristiğini belirlemektedir. L/D büyük ölçüde ekstrüderden çıkışı, polimer çıkış süresini ve polimere ısı transferi için uygun silindir yüzeyini belirler. Ekstrüder tasarımı yapılırken vida geometrisi önemli olmaktadır. Çizelge 1 filament üretiminde kullanılan standart bir ekstrüder vidasının temel geometrik büyüklüklerini göstermektedir (5).

Çizelge 1. Standart bir ekstrüder vidasının temel geometrik büyüklükleri (5)

Vida uzunluğu	20D...30D
Besleme bölgesinin uzunluğu	4D...8D
Basınç bölgesinin uzunluğu	6D...10D
Vida adımı	1D
Vida dış genişliği	0.1D
Vida ucu-barel arası radyal açıklık	0.015D

L/D, ekstrüderi tanımlamakta önemli bir orandır. Ekstrüder konstrüksiyonunda önceleri 24/1 L/D oranı kullanılırken şimdiki eğilim 32/1 olmuştur. Bu da üretilen polimer kalitesini artıran önemli bir parametredir. Eriyiğin homojenliği daha iyi sağlanır. Monofilament üretiminde 1.5...2.5 inç çapında (D) ekstrüderler kullanılabilir (6). Çeşitli büyüklüklerde ve L/D oranlarındaki tek vidalı ekstrüderlerin polimer üretim kapasiteleri Çizelge 2'de görülmektedir. Bu çizelgede genellikle 24:1 (L/D) oranındaki ekstrüderler kullanılmıştır. Vida çapı (D) arttıkça aynı L/D oranındaki ekstrüderler için üretimin arttığı görülmektedir. Çizelgede 3.5"lik ekstrüder için 24:1 ve 30:1 L/D oranlarındaki üretim kapasitesi de görülmektedir. Buradan, L/D oranı arttığında üretimin de arttığı anlaşılmaktadır. Çizelgede, monofilament lif üretiminde kullanılan ekstrüderlerin (1.5"...2.5") polimer üretim kapasitesinin 22...115 kg/saat arasında olduğu görülmektedir.

Çizelge 2. Tek vidalı ekstrüderler için bazı dizayn-üretim büyüklükleri (1)

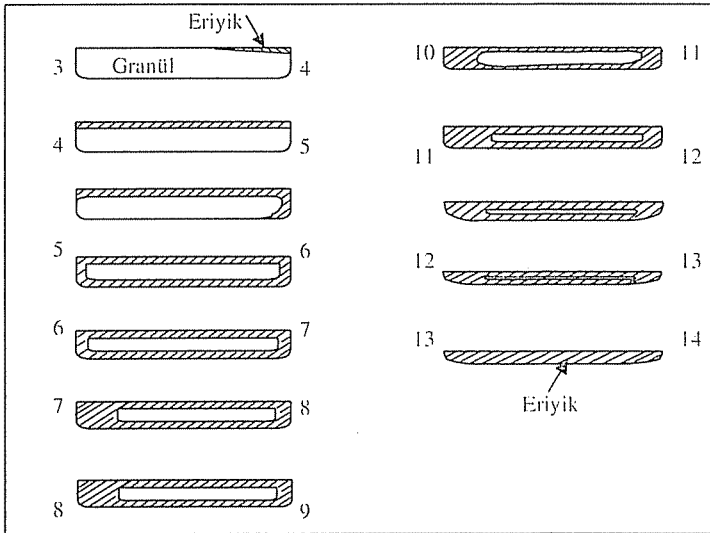
Vida çapı (D)	Vida uzunluğu/çapı (L/D)	Üretim (kg/saat)
1.5" (3.81 cm)	24:1	22.65...27.18
2" (5.08 cm)	24:1	40.77...54.36
2.5" (6.35 cm)	24:1	67.95...113.25
3.5" (8.89 cm)	24:1	135.9...181.2
3.5" (8.89 cm)	30:1	158.55...203.85
4.5" (11.43 cm)	24:1	317.1...453.59
6" (15.24 cm)	24:1	543.6...724.8

Ekstrüder motor gücü ekstrüder büyüklüğüne göre değişmektedir. Örneğin 9 inç çapında ve 24/1 L/D oranındaki bir ekstrüder için 110 kW (150 HP)'lık bir motor kullanılabilirken 32/1'lik bir ekstrüder için 183 kW (250 HP)'lık tahrik gücü uygun olmaktadır. Küçük ekstrüderler için ise (örneğin 2.5 inç çapındaki bir ekstrüder için) 36 kW (50 HP)'lık bir motor yeterli olabilmektedir (6).

3.3. Tek Vidalı Ekstrüderde Eritme Mekanizması

Ekstrüderin besleme, eritme ve pompalama bölgelerinde granül veya cips halindeki katı polimer karıştırılarak ve eritilerek kademeli bir şekilde eriyik halini alır. Besleme bölgesinde katı polimer eritme bölgesine taşınır, burada polimer eritilir ve eriyik basınç bölgesinden sonra çıkışa sevk edilir. Polimerin hacmi eriyince azalacağından taşıma bölgesindeki kanal hacmi basınç bölgesindeki kanal hacminden daha fazla olmalıdır.

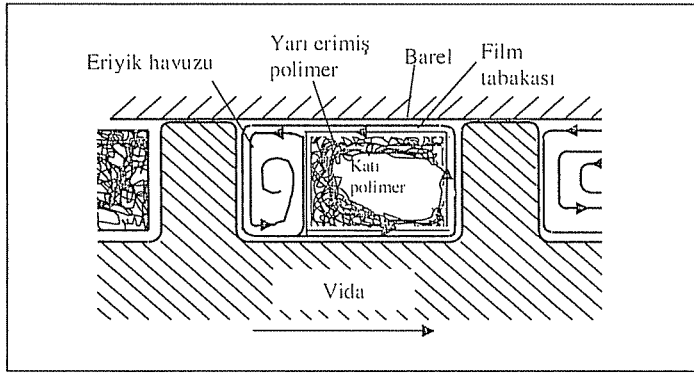
Şekil 7'de birbirini izleyen vida kanalları içerisindeki eriyik oluşumu şematik olarak verilmektedir. Burada, ekstrüder girişinden itibaren 3 ve 4 no'lu vida dişleri arasında kalan kanalda erime işlemi başlamakta ve daha sonraki kanalda vida-barel arasında film tabakası oluşmaktadır. Eritme işlemi ve vida dönüşünün etkisiyle polimer



Şekil 7. Tek vidalı ekstrüderde kademeli olarak eriyik oluşumu (7)

vida kanalı içerisinde bir "havuz" oluşturmaya başlar ve katı polimerin bu havuz içerisine hapsolmesiyle (6-7 vida dişleri arasındaki kanal) eritme işlemi daha etkili olmaktadır. Eriyen polimer vida hareketine ters olacak şekilde (vida giriş bölgesine doğru) eriyik havuzu oluşturmaya başlar (8-9 vida dişleri arasındaki kanal). Katı polimerin kütlelerinin hacmi gitgide azalarak 14-15. vida kanalında %100 erimiş polimer halini almaktadır.

Taşıma bölgesinden basınç bölgesine geçiş cips veya granül halindeki katı polimerin ısıtılmış barel ve erimiş polimerlerle ısı teması geçerek iletim yoluyla ısınması ve erimesi sonucu kademeli olarak gerçekleşir. Vida kanalı içerisindeki eritme mekanizmasının anlaşılabilmesi için Şekil 7'de verilen 9. ve 10. vida kanallarında katı ve eriyik haldeki polimerin durumu Şekil 8'de ayrıca verilmiştir. Polimerin ısıtıcı eleman olan barel ile temas ettiği yerlerde eriyerek ince film tabakası oluşturduğu ve barel-vida arasında yağlayıcı madde gibi davrandığı görülmektedir. Eriyen polimer vidanın öteleme hareketine ters olacak şekilde vida kanalının ön kısmına doğru eriyik havuzu oluşturmaya başlar. Havuzdaki malzeme, sıcaklık artışı ve vida hareketine bağlı olarak tedrici bir şekilde hacmini artırır ve katı polimeri hapsederek basınç bölgesine yakın vida kanallarında tamamen eriyik halini alır.



Şekil 8. Tek vidalı ekstrüderde eritme mekanizması (7)

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Çalışmada polimer işleme endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ekstrüderler incelenerek teknolojik farklılıkları ortaya konulmuş ve tek vidalı ekstrüderler ele alınarak eritme mekanizması, kapasite ve geometrik büyüklükler ile ilgili elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Ekstrüderler basınç oluşturma metodlarına göre direkt ve indirekt olarak ikiye ayrılırlar. Bu çalışmada incelenen tek vidalı konik ekstrüderler polimerin daha çok viskoz sürüklenme ile taşındığı ekstrüderlerdir.
2. Tek vidalı ekstrüderler genelde, üzerinde ısıtıcı elemanların bulunduğu silindirik bir kovan (barel), helisel konik bir vida ve tahrik elemanlarından oluşur. Ekstrüder; besleme, eritme ve basınç bölgelerinden oluşan, polimeri eriterek karıştıran ve basınç kazandırarak çıkışa sevkeden bir elemandır. İçerisinde 50 bar'a kadar basınç

sağlandığından, ekstrüderi dişli pompadan önce basınç oluşturuvcu bir ön pompa gibi düşünmek mümkün olmaktadır.

- 3- Polimerin yüksek basınçta çıkışa sevk edilmesi istendiğinden ekstrüder vidası genellikle konik olarak tasarlanmaktadır. Vidanın geometrik büyüklükleri, vida çapı (D) esas alınarak yapılır. Vida uzunluğu (L) 20D...30D, vida adımı 1D, vida diş genişliği 0.1D ve vida ucu-barel arası açıklık genellikle 0.015D olarak belirlenebilmektedir.
4. L/D ekstrüder karakteristiğini belirlemede önemli bir orandır. Eskiden bu oran 24:1 olarak belirlenirken günümüzde 32:1'lik ekstrüderler imal edilmektedir. Vida hızı ise 100...300 dev/dak arasında seçilmektedir Ekstrüder üretim kapasitesi ve polimer eriyik kalitesi L/D oranının büyük seçilmesiyle artmaktadır. Vida hızının artırılması kapasiteyi arttırırken polimer kalitesini düşürmektedir. Vida çapı 2.5" iken L:D. 24:1 seçildiğinde 67.95...113.25 kg/saat'lik bir üretim olmaktadır. Vida çapı 3.5" ve L:D. 24:1 ve 32:1 seçildiğinde üretim kapasiteleri sırasıyla 136...182 ve 160...204 kg/saat olmaktadır. Buradan vida çapı ve L/D artışının kapasiteyi arttırdığı anlaşılmaktadır. L/D oranı arttığında polimer ekstrüder içerisinde daha uzun kalacağından daha iyi karışım ve ısı homojenite sağlanmaktadır.
5. Ekstrüder için gerekli tahrik gücü ekstrüder büyüklüğüne göre belirlenmektedir. 2.5" çapındaki bir ekstrüder için 36 kW'lık bir tahrik gücü yeterli olabilirken 9" çapındaki bir ekstrüder için 110...183 kW'lık bir güç gerekmektedir.
6. Barel üzerindeki ısıtıcı elemanlar polimere ısı geçişini sağlarlar. Besleme bölgesinde belirgin bir erime söz konusu değildir. Eritme bölgesi polimerin erimeye başladığı "jel noktası" denilen yer ile polimerin tamamen eriyik halini aldığı nokta arasındaki bölgedir. Katı polimer, barele yakın yerlerde eriyerek film tabakası oluşturur. Barele yakın yerdeki katı polimerlere ısı geçişinin sağlanmasıyla bir eriyik havuzu oluşur ve katı polimer bu havuz içerisinde hapsolarak daha sonraki vida kanallarında tamamen eriyik halini alır. Ekstrüder içerisinde polimerin ısı dengesinin ve homojenitesinin sağlanması çok önemli olmaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. Levy S., "Plastics Extrusion Technology Handbook", Industrial Press Inc., Newyork, 1981.
2. Tadmor,Z., Klein,I., "Engineering Principles of Plasticating Extrusion", Van Nostrand Reinhold Company, Canada, 1970.
3. Stevens,M.J, Covas,J.A., "Extruder Principles and Operation", Chapman&Hall, London, 1995.
4., Melt Extrusion Vol.8, pp.533-536.
5. Altun,Ş., "Polyester Lif Üretim Atıklarından Granül Eldesi İçin Ekstrüder Dizayını ve Elde Edilen Granül Özelliklerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bursa, 1999.
6. www.dow.com
7. Demiryürek,O., "Sentetik Lif Üretiminde Kullanılan Ekstrüderler ve Ekstrüder-Pompa Sisteminin Tasarım Esasları", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana, 2004.

HAVLU DOKUMA İŞLEMİ VE ÜRETİM PLANLAMASI

Nihat ÇELİK, Erdem KOÇ ve Belkıs ZERVENT
Ç.Ü., Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET: Bu çalışmada, piyasada yaygın olarak dokuma havlulara rastlandığı için dokuma havlu üretim sürecinde yer alan dokuma hazırlık ve dokuma işlemleri incelenmiştir. Ayrıca gerçekleştirilecek bir dokuma işlemi öncesi gerekli iplik miktarı, çekilecek levant sayısı gibi bilgilere ulaşmak amacıyla kullanılacak eşitlikler belirlenmeye çalışılmış, hesapların yapılabilmesi için gerekli olan teknik parametreler ve mamul özellikleri üzerinde de durulmuştur. Bunun yanı sıra seçilmiş üç farklı sipariş için üretim hesabı yapılmış olup siparişlerin farklı özelliklere sahip havluları kapsamasına özen gösterilmiştir. Bu amaçla söz konusu siparişlerin birinde bordürsüz, birinde bordürlü ve diğerinde de renkli havlular seçilmiştir.

Anahtar kelimeler: Dokuma, dokuma kumaş, havlu dokuma, havlular

TERRY WEAVING AND PRODUCTION PLANNING

ABSTRACT : In this study, preparation and processes of terry weaving are examined. Considering all system parameters, including the machine and the fabric properties, i.e. equations for the number of the ends and picks and their weights necessary for weaving, the number of warp beams and expressions for other technical parameters are given. These formulations were performed for three different towel fabric's order information. In the formulas, not only the order information given basically, but also technical parameters of the products are taken into account. All results and calculated parameters for production of the towels are represented by tables in the paper.

Key words: Weaving, Woven fabric, terry weaving, towels

1. GİRİŞ

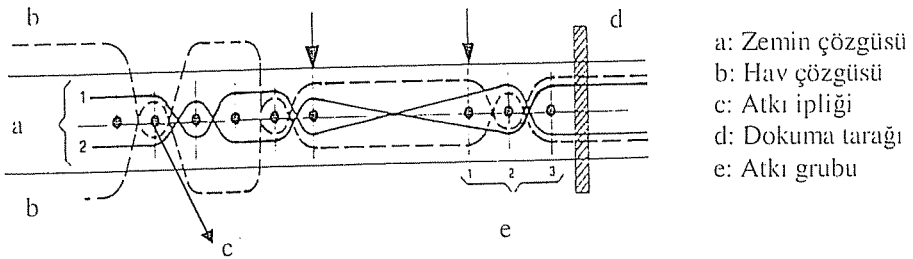
Havlular biri hav, diğeri zemin olmak üzere iki çözgü iplik sistemi kullanılarak üretilmektedirler. Çözgü hazırlama makinasında levent haline getirilen çözgü iplikleri haşılama işlemine tabi tutulmaktadır. Haşılama ile ipliğin kopma mukavemeti % 20–40 arasında artmakta, ipliğin kopma uzaması % 10–40 arasında azalmakta, aşınma ve sürtünme mukavemeti artmakta ve iplikler arasındaki sürtünmeden kaynaklanan elektrostatik etki azalmaktadır [1].

Normal taharlamada, çözgü iplikleri önce gerginlik kontrolü yapan silindirlerden daha sonra sırasıyla lamellerden, çerçevelere bağlı gücülerden ve son olarak tarak dişleri arasından geçirilmektedir. Ancak havlu dokuma işleminde hav ve zemin çözgüleri kullanıldığı için bu işlemlerin her iki çözgü sistemine ait iplikler için ayrı ayrı uygulanması gerekmektedir. Bu yüzden havlu dokuma makinalarında iki ayrı lamel grubu, hav ve zemin çözgüleri için ayrı ayrı çerçeveler, iki ayrı gerginlik kontrol sistemi bulunmaktadır.

Bu çalışmada, havlu kumaşların dokuma yöntemine göre üretimi, dokuma işleminin temel prensibi ve havlu dokuma makinaları irdelenmiş, gerçekleştirilecek bir dokuma işlemi öncesi gerekli iplik miktarı, hazırlanması gereken levent sayısı gibi verilere ulaşmak için kullanılabilir eşitlikler toplu olarak verilmiştir. Söz konusu çalışma, daha önce hazırlanmış bir yayında yer alan eşitliklerin yeniden ele alınması ve biçim olarak düzenlenmesiyle oluşturulmuştur [2].

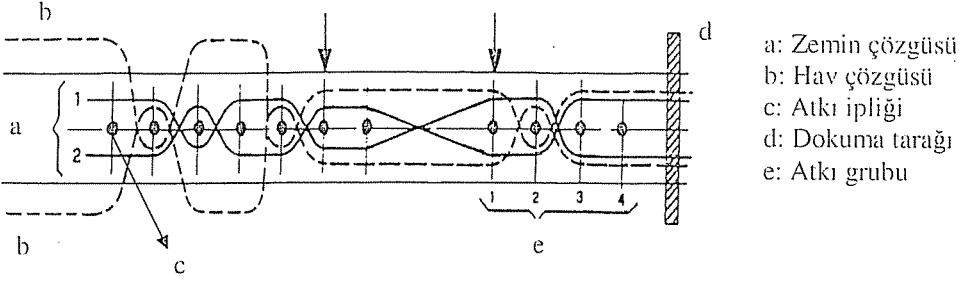
2. DOKUMA İŞLEMİ VE MAKİNALARI

Desensiz havluların dokunmasında genellikle armürlü tezgâhlar kullanılmakta olup özellikle desenli plaj havlularının üretiminde jakarlı dokuma makinaları tercih edilmektedir. Hem jakarlı hem de armürlü dokuma tezgâhlarında çeşitli zemin örgüleri kullanarak havlu dokular oluşturulabilmekte ve bu örgü şekli doku konstrüksiyonunu doğrudan etkilemektedir. Zemin örgü raporu, bir sıra havın oluşması için gerekli atkı ipliği sayısına göre belirlenmekte olup 2,3,4 veya 5 atkılı olabilmektedir. Ancak sıklığın 2 atkılı sistemde çok düşük, 5 atkılı sistemde ise çok fazla olması nedeniyle 2 atkılı ve 5 atkılı havlu dokular bugün önemini yitirmiştir. En yaygın olarak kullanılanlar 3 ve 4 atkılı havlu dokulardır. Üç atkılı havlu dokuma tekniğinin bu adı almasının nedeni: her üç atkıda bir hav bağlantısı oluşturulmasıdır. Şekil 1'de görüldüğü gibi ilk 2 atkı kumaş çizgisine kadar taşınmamakta ancak 3. atkı atıldıktan sonra tam bir tefeleme gerçekleşmektedir. İlk iki atkı ile daha önceki grubun son atkısı arasında uzanan hav çözgü ipliği tefeleme ile havı oluşturmaktadır. Üç atkılı havlu dokuma tekniği, dört atkılı sisteme göre birim zamandaki üretim miktarının yüksek olması nedeniyle en yaygın kullanılan sistemdir [3- 6].

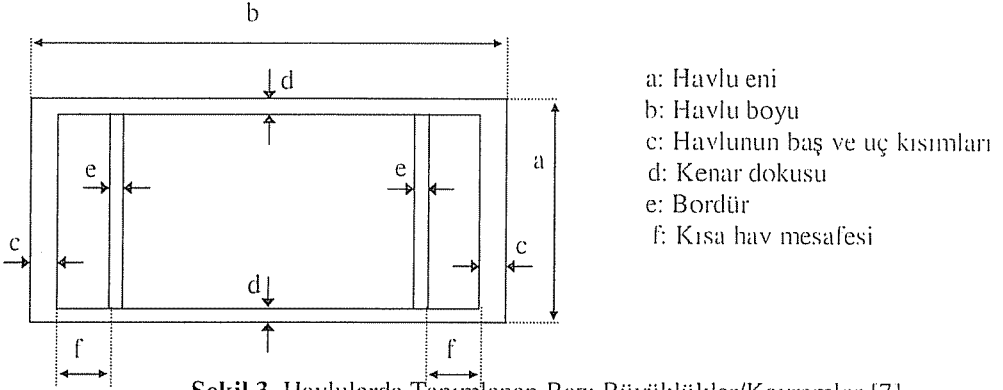


Şekil 1. Üç Atkılı Havlu Kesiti [7]

Dört atkılı havlu dokuma tekniğinde ise arka arkaya dört atkı ipliği atıldıktan sonra gerçekleşen tefeleme ile bir sıra hav oluşturulmakta olup desen oluşumu üç atkılı sisteme göre daha düzgün olduğundan özellikle jakarlı dokuma tezgâhlarında tercih edilmektedir. Şekil 2'de verilmiş olan dört atkılı havlu kesitinde görüldüğü gibi 4. atkıdan sonra tefeleme gerçekleşmiş ve gevşek bırakılmış olan hav çözgüsü ilmek oluşturmuştur. Üç atkılı ve dört atkılı havlu dokular tutum ve görünüm bakımından farklılık göstermekte olup, üç atkılı dokular düz bir görüntü yansıtarken ve ince bir yapıya sahipken dört atkılı havlular daha kalındır [3-6]. Şekil 3'te ise dokunmuş bir havluya ait seçilmiş bazı büyüklükler şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. Dört Atkılı Havlu Kesiti [7]



Şekil 3. Havlularda Tanımlanan Bazı Büyüklükler/Kavramlar [7]

Havluların dokuma makinelerinde hav oluşumu tarağın ileri-geri hareketinin sabit olup olmamasına göre iki şekilde gerçekleşebilmektedir. Tarağın kurs hareketinin sabit olmadığı tezgâhlarda hav oluşumu bir hav otomati ile sağlanırken, sabit olduğu makinelerde ise havlar, zemin çözgü levendinin belirli sayıda atkı atımından sonra geriye salınmasını sağlayan mekanizma ile oluşmaktadır. Ancak ağızlık açma ve atkı atma mekanizmaları iki sistemde de aynı şekilde olabilmektedir. Çalışmada üzerinde durulacak üretim hesapları, VAMATEX marka bir havlu dokuma makinesinde üretilecek havlulara göre yapılmıştır.

3. ÜRETİM HESAPLARI

Çalışma kapsamında havlu üretimi yapan bir işletmeye ait temel bazı veriler esas alınarak seçilmiş bir sipariş için gerekli olan iplik miktarları ve çekilecek çözümlü levendi sayıları hesaplanmıştır. Buna göre söz konusu hesaplamaların yapılabilmesi için gerekli olan bilgiler (dokuma makinasının özellikleri, iplik özellikleri, verilecek fireler vb.) aşağıda kısaca özetlenmiştir. Vamatex Marka dokuma tezgahının tezgah devri 247–300 dev/dak., dokuma tezgah eni (TE) 3.6 m'dir. Ağızlık açma mekanizması armürlü, atkı atma mekanizması esnek kancalıdır. Hav oluşumu zemin levendinin geri salınım hareketi ile sağlanmaktadır. Seçilmiş havlu dokuma makinasında genellikle 14 çerçeve ile çalışılmakta olup bunların 4 adedi hav çözümlü iplikleri, 8 adedi zemin çözümlü iplikleri ve 2 adedi de kenar iplikleri için kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra tarak sıklığı (TS) 24 çözümlü/cm olup bunun 12 adedi hav, 12 adedi zemin çözümlü iplikleridir. Her dış boşluğundan 1'i hav diğeri zemin olmak üzere 2 tel geçmektedir.

3.1. Hav ve Zemin Çözümlü Tel Sayıları

Çizelge 1'de ebatlara göre tarak içi havlu boyutları, toplam hav ve toplam zemin çözümlü tel sayıları (HTS ve ZTS) ve makinede çalışılabilecek en sayıları (yan yana dokunacak havlu adedi) (ES) verilmektedir.

Çizelge 1. Ebatlara Göre Çözümlü Tel Sayıları ve Tarak İçi Ebatlar

Ebat (havlu eni)	Toplam hav çözümlü teli sayısı (HTS)	Toplam zemin çözümlü teli sayısı (ZTS)	Tezgâh üzerindeki en sayısı (ES)	Tarak içi ebatlar	
				Hav + kenar (cm)	Havlı bölge (cm)
30 cm	3528	4864	9	40	32.6
40 cm	3696	4744	7	51.4	44
50 cm	3840	4633	6	60	52.6
60 cm	3840	4590	5	72	63.1
70 cm	3680	4296	4	90	76.6
100 cm	4008	4473	3	120	111
Bornozluk	4160	4344	2	-	-

Çizelge 1'de verilmiş olan çözümlü tel sayıları aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Bu çalışma kapsamında kullanılmış olan tüm semboller, açık tanımları ve eşitliklerde kullanılan birimleri Çizelge 13'te verilmiştir.

$$HTS_{havlu} = TKE \cdot x (TS/2) \quad (3.1)$$

HTS_{havlu} : Bir havlunun hav çözümlü tel sayısı (adet)

TKE : Tarak içi havlu eni (bir havlu için) (cm)

TS : Tarak çözümlü sıklığı (tel/cm)

$$HTS = HTS_{havlu} \cdot ES \quad (3.2)$$

HTS : Toplam hav çözümlü tel sayısı (adet)

ES : Tezgâh üzerindeki en sayısı (adet)

$$ZTS = HTS + A + B \quad (3.3)$$

ZTS : Toplam zemin tel sayısı (adet)

A: Her atkı atımından sonra atkı ipliğinin ucunun tutulması amacıyla kumaş kenarının yanında oluşturulan ve kesilerek üstüpiye ayrılan dokudaki tel sayısı (toplam 40 adet çözgü kullanılmıştır.)

B: Kenar bezlerindeki toplam çözgü teli sayısı (adet) $B = C \cdot x \cdot KS$

KS: Tezgâh üzerindeki havluların toplam kenar sayısı (adet)

C : Bir kenardaki çözgü tel sayısı (adet)

(Genellikle kenar bezleri 3 cm, tarak sıklığı ise 1 cm de 24 tel olup 12 hav 12 zemin çözgüsünden oluşmaktadır. Buna göre 1 kenardaki toplam çözgü tel sayısı $C=12 \times 2 \times 3=72$ tel olacaktır)

3.2. Sıklık

Çözgü sıklığı; gramaj (gr/m^2) ve iplik numaraları esas alınarak, deneyimler göz önünde bulundurularak belirlenmektedir. Genellikle tarak numarası sabit olduğu için hav ve zemin çözgü sıklıkları da sabit olmaktadır. Atkı sıklığı ise bordürlerde ($S_{atkı(bordür)}$) havlı bölgeye ($S_{atkı(hav)}$) göre daha fazla olmaktadır. Havlı bölgelerde genellikle atkı ipliği değiştirilmediği için sıklıkta sabit tutulmaktadır. Bordürdeki atkı sıklığı ($S_{atkı(bordür)}$) ise havlı bölge sıklığının ($S_{atkı(hav)}$) yaklaşık 3 katı kadar olmaktadır. Ancak bu ($S_{atkı(bordür)}$) değeri bordür şekline göre değişiklik gösterebilmektedir. Bağlantı sayısının az olduğu bordürlerde yoğunluk yüksek tutulmaktadır. Bazı durumlarda havlunun kısa kenarlarındaki bez bölge desenlendirilmekte ve bordür yapılmaktadır. Eğer bağlantı sayısı az olan desenler kenar bezine uygulanırsa ve sıklık düşük tutulursa dikiş işlemi esnasında ve sonrasında kenarlarda dağılmalar meydana gelebilmektedir.

3.3. Fireler

Dokuma işlemi veya iplikten kaynaklanan hataların neden olduğu adet bazında 2. kalite üretim fireleri havlu ebatlarına (enlerine) göre değişmektedir. 30'luk (30 cm eninde) havlularda %1, 40-50'lik havlularda %3, 60-70'lik havlularda %4, 100'lük havlularda %6, bornozluk kumaşlarda %8 civarındadır. Başka bir fire şekli ise ham haldeki kumaş gramajına ilave edilmesi gereken %8 civarındaki haşıl firesidir. Renkli ipliklerin kullanılması halinde verilmesi gereken haşıl firesi ise yaklaşık %10 civarında olmaktadır. Ayrıca kadife havlu üretiminde kadife işleminden kaynaklanacak gramaj kaybı nedeniyle ham halde haşıl firesini de kapsayacak şekilde yaklaşık %16-18 oranında fire verilmektedir. Havlu kumaş üretiminde genellikle R 2/1 veya R 2/2 örgüleri kullanılmakta olup yaygın olarak R 2/1 dokusu tercih edilmektedir. Yaygın olarak havlu üretiminde kullanılan iplik numaraları ve kat sayıları hav çözgü iplikleri için Ne 16/1 veya 24/2, zemin çözgü iplikleri için Ne 20/2, havlı bölgedeki atkı iplikleri için Ne 16/1, bordür kısmındaki atkı iplikleri için Ne 20/2'dir [8].

3.4. Bir Havlu İçin Gerekli İplik Miktarlarının Hesaplanması

Bir havlu için gerekli iplik miktarlarının hesaplanmasında kullanılabilir bir dizi eşitlik ifadeleri aşağıda sırasıyla verilmektedir.

$$TKE = TE/ES \quad (3.4)$$

TKE: Tarak üzerindeki havlu eni (m)

TE : Tezgâh eni (tarak eni) (m)

ES : En sayısı (adet)

$$AS_{hav} = S_{atki(hav)} \times L_{havlu1} \quad (3.5)$$

AS_{hav} : Atkı sayısı (havlı bölge) (adet)

$S_{atki(hav)}$: Atkı sıklığı (havlı bölge) (tel/cm)

L_{havlu1} : Bir havlunun boyu (kenar bezi dahil, bordür hariçtir) (m)

$$AS_{bordür} = S_{atki(bordür)} \times BG \times BS \quad (3.6)$$

$AS_{bordür}$: Atkı sayısı (bordür) (adet)

$S_{atki(bordür)}$: Atkı sıklığı (bordür) (tel/cm)

BG : Bordür genişliği (cm)

BS : Bordür sayısı (adet)

$$G_{atki(hav)} = \frac{AS_{hav} \times (TE/ES)}{Ne_{atki(hav)} \times 1.693} \quad (3.7)$$

$G_{atki(hav)}$: Atkı ipliklerinin ağırlığı (g)

$Ne_{atki(hav)}$: Havlı bölgede kullanılacak ipliğin numarası [hank/libre]

$$G_{zemin} = \frac{(ZTS/ES) \times L_{havlu2}}{Ne_{zemin} \times 1.693} \quad (3.8)$$

G_{zemin} : Zemin çözgü ipliklerinin ağırlığı (g)

L_{havlu2} : Kenar bezi ve bordür dâhil bir havlunun boyu (m)

Ne_{zemin} : Zemin çözgü ipliğinin numarası [hank/libre]

$$G_{atki(bordür)} = \frac{AS_{bordür} \times (TE/ES)}{Ne_{atki(bordür)} \times 1.693} \quad (3.9)$$

$G_{atki(bordür)}$: Bordürdeki atkı ipliklerinin ağırlığı (g)

$Ne_{atki(bordür)}$: Bordürlerde kullanılacak ipliğinin numarası [hank/libre]

$$G_{adet} = G_{m^2} \times E_{havlu} \times L_{havlu2} \quad (3.10)$$

G_{adet} : Havlunun adet gramajı (g)

G_{m^2} : Havlunun m² ağırlığı (g)

E_{havlu} : Havlu eni (m)

$$G_{hav} = G_{adet} - (G_{atki(hav)} + G_{atki(bordür)} + G_{zemin}) \quad (3.11)$$

G_{hav} : Hav çözgü ipliklerinin ağırlığı (g)

$$L_{hav} = \left[\frac{G_{hav}}{HTS/ES} \times Ne_{hav} \times 1.693 \right] \quad (3.12)$$

L_{hav} : Hav çözgü ipliğinin uzunluğu (m)

Ne_{hav} : Hav çözgü ipliklerinin numarası [hank/libre]

$$HY = \frac{L_{hav}}{L_{havlu2}} \quad (3.13)$$

HY : Hav yüksekliği, hav verimi (cm)

3.5. Sipariş İçin Gerekli Toplam İplik Miktarlarının Hesaplanması

Sipariş için gerekli toplam iplik miktarlarının hesaplanmasında kullanılabilir eşitlik ifadeleri aşağıda sırasıyla verilmektedir.

$$TG_{hav} = G_{hav} \cdot SPA \quad (3.14)$$

TG_{hav} : Toplam hav çözüğü ipliği ağırlığı (Kg)

SPA : Sipariş adedi (adet)

$$TL_{hav} = \left[\frac{TG_{hav}}{HTS} \cdot xNe_{hav} \cdot x1.693 \right] \cdot x1000 \quad (3.15)$$

TL_{hav} : Toplam hav çözüğü ipliği uzunluğu (m)

$$TG_{zemin} = G_{zemin} \cdot SPA \quad (3.16)$$

TG_{zemin} : Toplam zemin çözüğü ipliği ağırlığı (Kg)

$$TL_{zemin} = \left[\frac{TG_{zemin}}{ZTS} \cdot xNe_{zemin} \cdot x1.693 \right] \cdot x1000 \quad (3.17)$$

TL_{zemin} : Toplam zemin çözüğü ipliği uzunluğu (m)

$$TG_{atki(hav)} = G_{atki(hav)} \cdot SPA \quad (3.18)$$

$$TG_{atki(bordür)} = G_{atki(bordür)} \cdot SPA \quad (3.19)$$

$TG_{atki(hav)}$: Sipariş için gerekli toplam atkı ipliği ağırlığı (havlı bölge) (Kg)

$TG_{atki(bordür)}$: Sipariş için gerekli toplam atkı ipliği ağırlığı (bordür) (Kg)

Gerekli toplam iplik miktarı, tüm ebatlar için ayrı ayrı hesaplanan havlı bölgedeki atkı miktarı ($TG_{atki(hav)}$), bordürdeki atkı miktarı ($TG_{atki(bordür)}$), hav çözüğü miktarı (TG_{hav}), zemin çözüğü miktarlarının (TG_{zemin}) toplamına eşittir. Ancak bunlara % 15 oranında boş patron, çuval, haşıl ve dokuma üstüplerini kapsayan fire ilave edilmelidir [8].

3.6. Dokuma Hazırlık İşlemleri İle İlgili Hesaplamalar

Düz çözüğü makinasında çalgık kapasitesi (CK) maksimum 520 bobin, konik çözüğü makinasında ise maksimum 500 bobindir. Haşıl makinasında maksimum 14 çözüğü levendi birleştirilebilmektedir. Çözüğü hazırlama işlemi ile oluşturulacak her bir çözüğü levendinde bulunması gereken hav çözüğü tel sayısı (LTS) hesaplanırken sırasıyla aşağıdaki işlemler uygulanmaktadır. Zemin çözüğü için de aynı işlemler söz konusudur. Öncelikle dokumada kullanılacak toplam hav çözüğü tel sayısına (HTS) tam olarak bölünecek en büyük sayı, çalgık kapasitesi (CK) de göz önüne alınarak bulunur.

$$TLS = \frac{CK}{HTS} \quad (3.20)$$

TLS : Teorik levent sayısı (adet) (Bu değer, haşıl makinesinin kapasitesi 14 olduğu için maksimum 14 olabilmektedir.)

CK : Çalgık kapasitesi (adet)

(3.20) eşitliği ile bulunan teorik levent sayısı (TLS) değeri tam sayı değilse bir üst değere tamamlanmakta ve düz çözüğü makinasında çekilecek levent sayısı tespit edilmektedir. Toplam hav çözüğü tel sayısı (HTS), tam sayıya dönüştürülmüş teorik levent sayısı (TLS) değerine bölünerek (3.21 eşitliği) her bir leventteki çözüğü tel sayısı (LTS) belirlenmiş olmaktadır.

$$LTS = \frac{HTS}{TLS} \quad (3.21)$$

LTS : Bir çözgü levendindeki toplam çözgü tel sayısı (adet)

4. UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Çalışma kapsamında seçilen siparişlerden A siparişi bordürsüz, 450 gr/m² ağırlığında 3 farklı ebatta havluları, B siparişi bordürlü, 500 gr/m² ağırlığında 3 farklı ebatta havluları, C siparişi desenli (7 farklı renkte iplikler ile desenlendirilmiş), 500 gr/m² ağırlığında tek ebatta havluları kapsamaktadır. Her sipariş için gerekli olan iplik uzunlukları ve ağırlıkları tek bir havlu ve toplam sipariş bazında (3.1)-(3.21) formül/eşitlikleriyle hesaplanabilmektedir. Çizelge 2’de söz konusu siparişler kapsamında ebat bazında istenen havlu adetleri, ikinci kalite fireleri de katılmak suretiyle verilmiştir. Çizelge-3’de ise havluların sahip olması gereken temel bazı fiziksel özellikler ve hesaplamalarda kullanılacak olan tezgâh ile ilgili bazı bilgiler verilmektedir.

Çizelge 2. Sipariş Sayıları

Sipariş Kodu	Ebatlar (cm x cm)	Sipariş Adedi (SPA)	Fireli Adetler
A	40 x 60	8750	8750+%3=9012
	60 x 110	8750	8750+%4=9100
	100 x 150	2370	2370+%6=2512
B	50 x 100	3000	3000+%3=3090
	70 x 140	2000	2000+%4=2080
	100 x 150	1000	1000+%6=1060
C	80 x 145	3000	3700+%20=4440

Çizelge 3. Siparişlerin Teknik Özellikleri

Fiziksel Özellikler	Semboller	Birimler	Sipariş Değerler		
			A	B	C
Gramaj	[G _{m2}]	(gr/m ²)	450	500	500
Çözgü sıklığı	[S _{çözgü}]	(tel/cm)	26	26	20
Atkı sıklığı (havlı bölge)	[S _{atkı(hav)}]	(tel/cm)	16	16	16
Atkı sıklığı (bordür)	[S _{atkı(bordür)}]	(tel/cm)	-	16x3=48	-
Bordür genişliği	[BG]	(cm)	-	2,5	-
Hav çözgü ipliklerinin numarası	[Ne _{hav}]	(hank/libre)	Ne 16/1	Ne 24/2	Ne 16/1
Zemin çözgü ipliklerinin numarası	[Ne _{zemin}]	(hank/libre)	Ne 20/2	Ne 20/2	Ne 20/2
Atkı ipliklerinin numarası (havlı bölge)	[Ne _{atkı(hav)}]	(hank/libre)	Ne 16/1	Ne 16/1	Ne 16/1
Atkı ipliklerinin numarası (bordür)	[Ne _{atkı(bordür)}]	(hank/libre)	-	Ne 20/2	-
Tezgâh eni (Tarak eni, dokuma eni)	[TE]	(m)	3.6	3.6	3.06
Tarak numarası (1 dm)	[TN]	(diş/dm)	120/2	120/2	120/2
Taraktaki çözgü sıklığı (1 cm)	[TS]	(adet)	24	24	24

Çizelge 4'te Formül (3.1), (3.2) ve (3.3) kullanılarak hesaplanmış olan hav ve zemin çözümlü tel sayıları ve (3.5) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanan atılacak atkı sayıları her ebat için ayrı olarak verilmiştir. Her havlu için atılacak atkı sayısının hesaplanabilmesi için gereken ve (3.4) eşitliği ile hesaplanmış olan havluların tarak üzerindeki kısa kenar uzunlukları Çizelge 6'da görülmektedir.

Çizelge 4. Ebatlara Göre Hav ve Zemin Çözgü Tel Sayıları (A Siparişi)

Sipariş Kodu	Ebatlar (cm x cm)	Tezgâh üzerindeki en sayısı [ES]	Çözgü tel sayıları (adet)		Atkı sayıları (1 havlu) (adet)	
			Zemin [ZTS]	Hav [HTS]	Havlı bölge [AS _{hav}]	Bordür [AS _{bordür}]
A	40 x 60	7	4730	3696	68x16=1088	-
	60 x 110	5	4590	3840	120x16=1920	-
	100 x 150	3	4473	4000	160x16=2560	-
B	50 x 100	6	4635	3840	(110-5)x16=1680	(2.5x48)x2=240
	70 x 140	4	4293	3680	(150-5)x16=2320	(2.5x48)x2=240
	100 x 150	3	4473	4000	(160-5)x16=2480	(2.5x48)x2=240
C*	80 x 145	2	3672	2136	155x16=2480	-

* : C siparişi ipliği boyalı olarak jakarlı dokuma makinasında üretilecek bir sipariştir. Bu nedenle bir havluda kullanılması gereken hav çözgü ipliklerinin renklere göre dağılımı, her rengin bir havludaki tekrar sayısı da verilmek suretiyle Çizelge-5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. C Siparişinin Renk Raporuna Göre Çözgü Tel sayıları

	Renk Kodu	Rapordaki çözgü tel sayısı [RTS _i]	Tekrar sayısı (1 havluda)	Toplam çözgü tel sayısı (2 en)
Hav çözgü iplikleri	(R1)	104	2	416
	(R2)	100	2	400
	(R3)	105	2	420
	(R4)	75	2	300
	(R5)	75	2	300
	(R6)	75	2	300
Zemin çözgü iplikleri	(R7)	-	-	3672

Çizelge 6. Tarak Üzerindeki Havlu Ebatları

Sipariş Kodu	Son Ebatlar (cm x cm)	Tarak Üzerindeki Ebatlar (cm x cm)
A	40 x 60	51 x 68
	60 x 110	72 x 120
	100 x 150	120 x 160
B	50 x 100	60 x 110
	70 x 140	90 x 150
	100 x 150	120 x 160
C	80 x 145	100 x 155

A siparişinin dokunabilmesi için gerekli olan hav, zemin çözüğü ve atkı iplikleri için iplik miktarları (3.14), (3.15), (3.16), (3.17), (3.18) ve (3.19) eşitlikleri yardımıyla hesaplanmış ve Çizelge-7’de verilmiştir. Bu hesaplamalarda kullanılan büyüklükler ise (3.4)-(3.13) nolu eşitlikler yardımıyla bulunmuştur. Bunun yanı sıra çekilecek çözüğü levendi sayıları (TLS) ve her levende bulunacak çözüğü tel sayıları (LTS) da her ebat için ayrı hesaplanarak Çizelge 8’de gösterilmiştir.

Çizelge 7. A Siparişi İçin Gerekli İplik Miktarları

İplik Türü	Ebatlar (cmxcm)	Gerekli İplik Miktarları					
		40 x 60		60 x 110		100 x 150	
		Ağırlık (Kg)	Uzunluk (m)	Ağırlık (Kg)	Uzunluk (m)	Ağırlık (Kg)	Uzunluk (m)
Hav Çözüğü		532.6	3854	1629.8	11348	1046.2	6996
Zemin Çözüğü		248.73	872	603.3	2180	360.97	1338
Atkı (havlı bölge)		188.35	-	469.5	-	286.36	-

Çizelge 8. A Siparişi İçin Çekilecek Çözüğü Levendi Özellikleri

İplik Türü	Ebatlar (cmxcm)	40 x 60		60 x 110		100 x 150	
		Levent sayısı	Çözüğü tel sayısı (tel/levent) [LTS]	Levent sayısı	Çözüğü tel sayısı (tel/levent) [LTS]	Levent sayısı	Çözüğü tel sayısı (tel/levent) [LTS]
Hav çözüğü		8	462	8	480	8	500
Zemin Çözüğü		10	473	9	510	9	497

B siparişinin dokunabilmesi için gerekli olan hav, zemin çözüğü ve atkı iplikleri için iplik miktarları Çizelge 9’da, çekilecek çözüğü levendi sayıları (TLS) ve her levende bulunacak çözüğü tel sayıları (LTS) ise her ebat için ayrı ayrı Çizelge 10’da verilmiştir.

Çizelge 9. B Siparişi İçin Gerekli İplik Miktarları

İplik Türü	Ebatlar (cmxcm)	Gerekli İplik Miktarları					
		50 x 100		70 x 140		100 x 150	
		Ağırlık (Kg)	Uzunluk (m)	Ağırlık (Kg)	Uzunluk (m)	Ağırlık (Kg)	Uzunluk (m)
Hav Çözüğü		469.6	2443	627.9	3408	505.6	2525.2
Zemin Çözüğü		158.17	566.42	201.7	778.9	152.3	564.9
Atkı (havlı bölge)		116.4	-	162.3	-	117.8	-
Atkı (bordür)		26.7	-	27.06	-	18.3	-

Çizelge 10. B Siparişi İçin Çekilecek Çözüğü Levendi Özellikleri

İplik Türü	Ebatlar (cmxcm)	50 x 100		70 x 140		100 x 150	
		Levent sayısı	Çözüğü tel sayısı (tel/levent) [LTS]	Levent sayısı	Çözüğü tel sayısı (tel/levent) [LTS]	Levent sayısı	Çözüğü tel sayısı (tel/levent) [LTS]
Hav çözüğü		8	480	8	460	8	500
Zemin Çözüğü		9	515	9	477	9	497

C siparişinin dokunabilmesi için gerekli olan hav, zemin çözgüsü ve atkı iplikleri için iplik miktarları Çizelge 11'de verilmiştir. Ancak bu sipariş boyalı ipliklerle dokunacağından dolayı çözgü ipliği miktarının renklere göre dağılımının da hesaplanması gerekmektedir. Bu amaçla havlunun renk raporu ve (4.1) eşitliği kullanılarak her renk için gerekli çözgü ipliği miktarı hesaplanmış, Çizelge 12'de verilmiştir.

Çizelge 11. C Siparişi İçin Gerekli İplik Miktarları

İplik Türü	Ebatlar (cmxcm)	Gerekli İplik Miktarları	
		80 x 145	
		Ağırlık (Kg)	Uzunluk (m)
Hav Çözgüsü		1181	14839
Zemin Çözgüsü		760.1	3434
Atkı (havlı bölge)		629.5	-

Toplam hav çözgü tel sayısı (HTS) 2136 tel ve toplam hav çözgü ağırlığı (TG_{hav}) 1182 Kg olmak üzere, her renge boyanacak iplik miktarları aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilmektedir:

$$G_R = \frac{TG_{hav} \cdot RTS_i}{HTS} \quad (4.1)$$

G_R : Her renge boyanacak iplik miktarı (Kg)

RTS_i : R rengindeki tel sayısı (i: renk numarası)

Çizelge 12. C Siparişi İçin Gerekli Çözgü İpliğinin Renklere Göre Dağılımı

Renk Kodu	Gerekli İplik Miktarı (Kg)
R1	230
R2	221
R3	233
R4	166
R5	166
R6	166
Toplam	1182

Çizelge 13. Çalışmada Yer Alan Semboller, Tanımları ve Birimleri

Sembol	Tanımlama	Birim
HTS _{havlu}	Bir havludaki hav çözgü tel sayısı	(adet)
HTS	Toplam hav çözgü tel sayısı	(adet)
ZTS	Toplam zemin çözgü tel sayısı	(adet)
TE	Tezgâh eni	(cm)
ES	Tezgâh üzerindeki en sayısı	(adet)
TKE	Tarak içi havlu eni (bir havlu için)	(cm)
TS	Taraktaki çözgü sıklığı	(tel/cm)
TN	Tarak numarası	(diş/dm)
BG	Bordür genişliği	(cm)
BS	Bordür sayısı	(adet)
A	Üstü�ü kenardaki çözgü tel sayısı	(adet)
B	Kenar bezlerindeki toplam çözgü tel sayısı	(adet)
C	Bir kenardaki çözgü tel sayısı	(adet)
KS	Kenar sayısı	(adet)
AS _{hav}	Atkı sayısı (havlı bölge)	(adet)
AS _{bordür}	Atkı sayısı (bordür)	(adet)
L _{havlu1}	Havlulu boyu (kenar bezi dâhil, bordür hariçtir)	(m)
L _{havlu2}	Havlulu boyu (kenar bezi ve bordür dâhil)	(m)
E _{havlu}	Havlulu eni	(m)
L _{hav}	Hav çözgü ipliğinin uzunluğu (1 havlu)	(m)
G _{zemin}	Zemin çözgü ipliklerinin ağırlığı (1 havlu)	(g)
G _{atkı(bordür)}	Bordürdeki atkı ipliklerinin ağırlığı (1 havlu)	(g)
G _{atkı(hav)}	Havlı bölgedeki atkı ipliklerinin ağırlığı (1 havlu)	(g)
G _{hav}	Hav çözgü ipliklerinin ağırlığı (1 havlu)	(g)
G _{adet}	Havlunun adet gramajı	(g/adet)
G _{m²}	Havlunun m ² ağırlığı	(g/m ²)
Ne _{zemin}	Zemin çözgü ipliğinin numarası	(hank/libre)
Ne _{atkı(hav)}	Atkı ipliği numarası (havlı bölge)	(hank/libre)
Ne _{atkı(bordür)}	Atkı ipliği numarası (bordür)	(hank/libre)
Ne _{hav}	Hav çözgü ipliğinin numarası	(hank/libre)
HY	Hav yüksekliği, hav verimi	(cm)
TG _{hav}	Sipariş için toplam hav çözgü ipliği ağırlığı	(Kg)
TL _{hav}	Sipariş için toplam hav çözgü ipliği uzunluğu	(m)
TG _{zemin}	Sipariş için toplam zemin çözgü ipliği ağırlığı	(Kg)
TL _{zemin}	Sipariş için toplam zemin çözgü ipliği uzunluğu	(m)
TG _{atkı(hav)}	Sipariş için toplam atkı ipliği ağırlığı (havlı bölge)	(Kg)
TG _{atkı(bordür)}	Sipariş için toplam atkı ipliği ağırlığı (bordür)	(Kg)
TLS	Teorik levent sayısı	(adet)
CK	Çağlık kapasitesi	(adet)
LTS	Bir çözgü leventindeki toplam çözgü tel sayısı	(adet)
RTS _i	Her renge ait rapordaki tel sayısı (i: renk numarası)	(adet)
R _i	Renk kodu	(-)
G _{Ri}	Renk bazında boyanacak iplik miktarı	(Kg)

5. SONUÇ

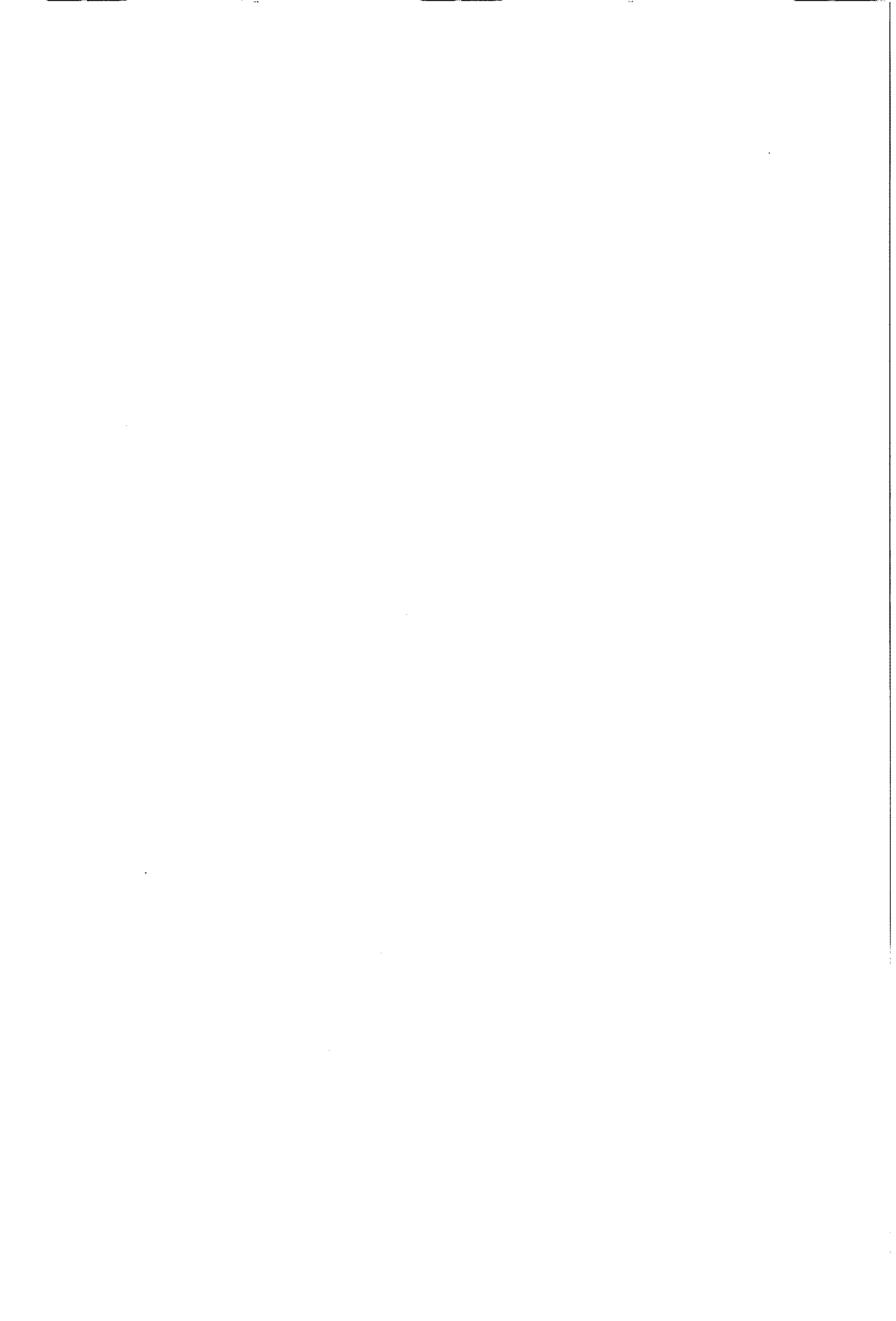
Bu çalışmada genel olarak, havlu kumaş üretim sürecinin başlangıç aşamaları olan dokuma hazırlık, dokuma işlemleri ve makinaları irdelenerek, bu aşamalarda yapılması gereken hesaplamalarda kullanılabilecek eşitlikler verilmiş ve seçilmiş sipariş örnekleri ile bu hesapların uygulaması yapılmıştır. Çalışma kapsamında havlu üretimi yapan bir işletmeye ait bazı temel veriler esas alınarak değişik özelliklerdeki seçilmiş siparişler için gerekli iplik miktarları hesaplanmıştır. Bu amaçla öncelikle hesaplamaların yapılabilmesi için gerekli olan, dokuma makinasının özellikleri, çerçeve ve tarak taharları, iplik özellikleri ve fireler gibi bilgiler özetlenmiştir. Bu bilgilerin yanı sıra ihtiyaç duyulan hav, zemin çözgü iplikleri ile atkı ipliği miktarını ağırlık ve uzunluk bazında hem tek bir havlu için hem de tüm sipariş için hesaplayacak eşitlikler verilmiştir. Ayrıca hesaplanan iplik miktarlarından yola çıkarak dokuma hazırlık dairesinde hazırlanacak çözgü ve dokuma leventlerinin sayısını ve içerecekleri çözgü tel sayılarını her ebat için ayrı olarak verecek şekilde düzenlenmiş formüller irdelenmiş ve bu eşitliklerin uygulaması üzerinde durulmuştur. Bu amaçla farklı özelliklerde (bordürlü, bordürsüz ve renkli iplikli), farklı gramajlarda ve ebatlarda üç sipariş seçilerek bunlarla ilgili hesaplamalar yapılmıştır.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışmadaki katkılarından dolayı Hateks Hatay Tekstil İşletmeleri A.Ş. yetkililerine ve çalışanlarına en içten teşekkürlerimizle...

7. KAYNAKLAR

1. Balı,Y., "Dokuma Hazırlık İşlemleri I-II Teknolojisi", Emel Akın Meslek Yüksekokulu, 283 s., İzmir, 1999.
2. Zervent,B., Çelik,N., Koç,E., "Havlu Dokuma İşlemleri ve Üretim Hesapları", Tekstil Maraton Dergisi, Sayı:66, Mayıs-Haziran, 54-60, 2003.
3. Göksel,İ., "Havlu Dokuma Kumaşların Yapısı", Tekstil ve Teknik Dergisi, 30-36, 1987.
4. Bozgeyik,K., "Havlu Dokuma Tekniği", Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi, Sayı 2, 106-109, 1991.
5. Kerr,P.L., "Havlu Tipi Kumaşlar Yeni Buluşlara Yol Açmaktadır", Tekstil ve Teknik Dergisi, Sayı 77, 34-37, 1991.
6. Hateks Havlu, "Havluculuk ve Havlu Dokuması", Tekstil ve Teknik Dergisi, 51-54, 1989.
7. Vamatex Marka Dokuma Makinası Kataloğu.
8. Zervent,B., "Havlu Üretimi ve Ürün Kalitesine Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 2002.
9. Hateks A.Ş. işletme verileri, 2002.
10. Alpay,H.R., "Dokuma Makinaları", Makina Mühendisleri Odası Yayını, Yayın No 114, 319 s., Bursa, 1985.



THE FACTORS AFFECTING THE STRUCTURAL EFFICIENCY OF DOUBLE-LAYER GRIDS : A CASE STUDY

Hakan T. TÜRKER and Hilmi COŞKUN

Mustafa Kemal University, Department of Civil Engineering, Hatay/Turkey

Orhan AKSOGAN

Çukurova University, Department of Civil Engineering, Adana/Turkey

ABSTRACT : *Double-layer grids (DLGs) are a form of space trusses consisting of two horizontal, square or rectangular grids interconnected by diagonal members. They are structurally efficient, aesthetically pleasing and economic structures to cover large column free areas, such as stadiums, exhibition halls, and convention centers. During the design phase of a DLG, not only structural safety of it but also the economic solution should be considered. The investigation of the minimum weight of DLG is important in both aspects. Therefore, the factors affecting the structural efficiency, i.e., the weight of DLGs were investigated through a case study. These factors are the number of modules, support type, and overall configuration of the DLG.*

ÇİFT TABAKALI IZGARALARIN YAPISAL ETKİNLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER: BİR ÖRNEK ÇALIŞMA

ÖZET : *Çift tabakalı ızgaralar (ÇTI), çapraz elemanlarla birbirlerine bağlanmış, yatay iki adet kare veya dikdörtgen ızgaradan oluşan uzay kafeslerin bir alt grubudur. Bu yapılar geniş ve kolondan arındırılmış alanların, örneğin stadyumların, sergi salonları ve toplantı merkezlerinin üstünü örtmek için kullanılan yapısal olarak etkin, görünüm olarak hoşça giden ve ekonomik yapılardır. Bir ÇTI'nın tasarımı aşamasında sadece yapısal güvenlik değil fakat aynı zamanda ekonomik çözüm de gözönüne alınmalıdır. ÇTI'nın en az ağırlığının araştırılması her iki açıdan da önemlidir. Bu yüzden, ÇTI'nın yapısal etkinliğini, yani ağırlığını etkileyen faktörler örnek bir çalışma ile araştırıldı. Bu faktörler, modüllerin sayısı, mesnet tipi ve ÇTI'nın genel kuruluşudur.*

1. INTRODUCTION

Double-layer grids (DLGs), as seen in Figure 1, consist of two horizontal, square or rectangular grids forming the top and bottom layers. These layers are parallel to each other, but the grid intersections of the top layer are located over the centers of the bottom layer grid intersections. The diagonal members interconnect the top grid intersections with the bottom grid intersections. This type of structures are becoming increasingly popular for providing large column free areas.

DLGs are considered to be an efficient system, with a large stiffness to weight ratio, and they are also aesthetically pleasing. Double-layer grid structures have been utilized in many applications requiring enclosure of large open areas. The typical application of these systems has been for exhibition halls, convention centers, auditoriums, stadiums, warehouses, and industrial buildings. In these roofing uses, DLG structures offer an economic, structurally efficient, and practical solution to cover large areas.

2. DOUBLE LAYER GRID STRUCTURES

Double layer grid (DLG) structures are lattice space structures formed with an upper and lower grid of chord members connected by a layer of inclined web or diagonal members. These members work together to transmit the loads in an indeterminate manner through multiple load paths to the supports [1, 2].

Double-layer grid structures have high bar density. This leads to difficulty in joining a large number of members in-situ, so the joint systems are usually prefabricated. Due to their high member densities, DLGs often have high degree of internal static redundancy. Despite their high internal redundancy, they may have low external redundancy.

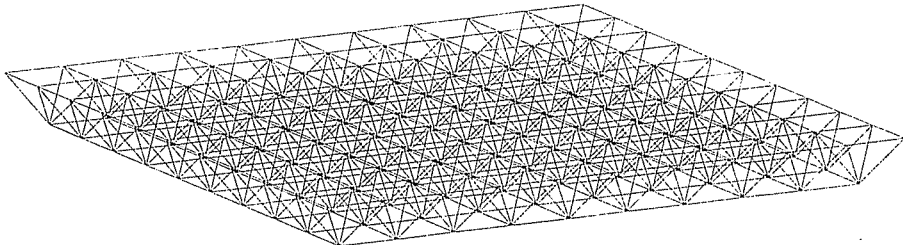


Figure 1. Three dimensional view of double-layer grid structure

From the point of the structural analysis view, two major types of DLGs are encountered. The most common systems have pin joints. They are analyzed as though their nodes were made as frictionless pin joints with three degrees of freedom (DoF) per node. This implies, for DLGs, that the geometry is triangulated with members concentric at the joints. It also implies that members are subject to axial forces only. DLG structures are less commonly designed and analyzed as rigid jointed, with six DoF, per node. This arrangement implies that members are subject to bending moments, as well as to axial forces.

There exist a third type of DLG system, which is referred to as eccentric jointed. The system should be analyzed as rigid jointed or flexible jointed. The system is, however, triangulated and member eccentricities are often small enough to analyze the system as pin-jointed first, and in the next step the effect of eccentricities and the ensuing bending moments are regarded separately. Thus, the analysis is simplified.

For design purposes, structures with high stiffness, such as DLG structures can be assumed to have a linear response. The analytical procedures for such structures, whether pin jointed or rigid jointed, are straightforward.

3. OBJECTIVE OF THE STUDY

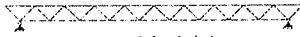
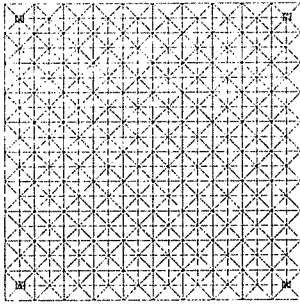
The purpose of this study is to determine the effects of certain predefined parameters on the behavior of the determined DLG models and the total weight of DLG structures. Since weight to load carrying capacity ratio is an important factor to design a structure efficiently, the results of the case study should provide an idea about the effects of different parameters.

The parameters to be investigated in this study were chosen as span to depth ratio, support conditions, number of supports, and span to module size ratio. The span to depth ratio had values of 7, 10, 14, 17.5, 20, 25.45, and 35. The ratio of the number of modules per span had values of 7×7, 10×10, and 13×13. Span was defined as the distance between columns in x or y direction.

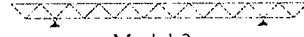
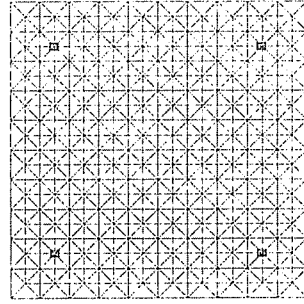
The combinations were analyzed using linear analysis methods. The factor of safety of a member was defined as the ratio of the ultimate capacity of the member to actual member force.

4. INVESTIGATED MODELS

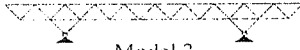
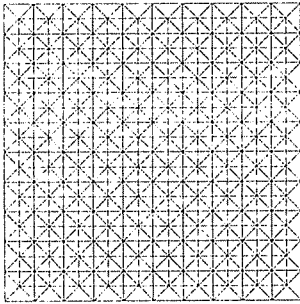
The six models of DLG structures shown in Figure 2 were chosen for parametric study. These structures cover an area of 21 m by 21 m. All of these models were designed under the same uniform load conditions and analyzed. A linear analysis program, SODA [3], was used to design and analyze the models. All joints other than the supports had three translations as active degrees of freedom (DoF). The supports were varied to be either pin support or simple support. Pin support is defined in this study as a support which is prevented from translations in all directions. When the support is prevented from rotations in all directions as well as translations, it is defined as a simple support. Steel circular hollow sections were used for the members of the structures. The design was based on uniform cross sections for each of the member groups, which are top grid members, bottom grid members, and diagonal members. Members in these models were assumed to be pin-ended which is defined as rotations of the joints are not prevented, thus members carry only axial forces. Members were selected from 37 different circular hollow sections, which are included in SODA [3]. The yield strength of the members was 248 MPa. The AISC-LRFD-93 [4] specifications were used in the member selection. The distances between the columns in x or y directions are defined as spans.



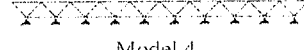
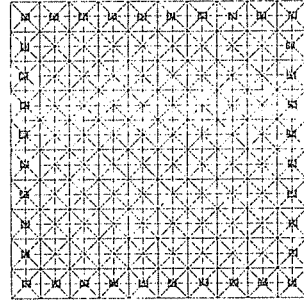
Model 1



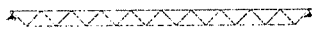
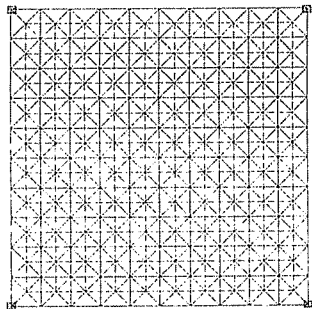
Model 2



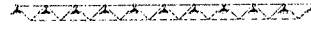
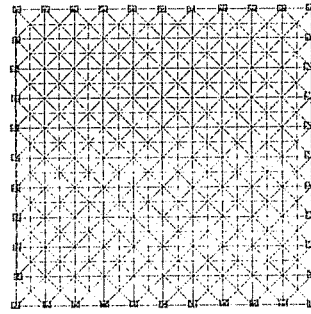
Model 3



Model 4



Model 5



Model 6

Figure 2. Models investigated in the case study

5. LOADING CONDITIONS

In this study, for the loading conditions on the models, it was assumed that these DLGs would be built in Philadelphia region.

The structures were designed for a single load case of uniformly distributed loading of 1232 N/m² dead, 885 N/m² snow, and -764 N/m² wind loading applied through the upper chord joints. Members were assumed to be pin-ended.

The loads acting on the structure were found by using the American Society of the Civil Engineers Standard ASCE 7-88, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures [5]. According to ASCE 7-88, the load combinations are:

$$1.4 D$$

$$1.2 D + 1.6 L + 0.5 (L_r \text{ or } S \text{ or } R)$$

$$1.2 D + 1.6 (L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (0.5 L \text{ or } 0.8 W)$$

$$1.2 D + 1.3 W + 0.5 L + 0.5 (L_r \text{ or } S \text{ or } R)$$

$$1.2 D + 1.0 E + 0.5 L + 0.2 S$$

$$0.9 D + (1.3 W \text{ or } 1.0 E)$$

where

D is the dead load due to the weight of the structural elements and the permanent features on the structure,

L is the live load due to occupancy and movable equipment (reduced as permitted by the governing code),

L_r is the roof live load,

S is the snow load,

E is the earthquake load, and

R is the nominal load due to initial rainwater or ice exclusive of the pounding contribution.

6. RESULTS AND DISCUSSIONS

All six models of DLGs were designed under the same loading conditions by SODA [3] program. All the models analyzed were a square-on-square configuration with an equal number of modules in the x and y directions. Three different cross-sections were used for top members, bottom members, and diagonal members. Two different support conditions, pin supports and simple supports, were analyzed.

While keeping the overall length of the top grid constant at 21.34 m, the number of modules per span was varied using three values. These values were 7 modules per span, 10 modules per span and 13 modules per span to determine the effect of the number of modules per span. Table 1 includes the total weight of the truss members of the investigated models found from the analysis.

Table 1. Total weights (kN) of the structures (d=1.0 m)

# of Modules	Support Type	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
7x7	Pin	168.503	99.987	77.188	84.594	209.383	87.563
7x7	Simple	163.743	102.790	71.970	84.594	306.751	104.202
10x10	Pin	221.633	154.134	82.854	84.716	257.325	84.751
10x10	Simple	194.183	122.617	79.268	94.283	323.775	107.646
13x13	Pin	298.582	205.400	140.248	86.042	308.711	75.683
13x13	Simple	225.908	166.661	96.366	95.769	344.183	121.065

As seen from Table 1, the simply supported case of Model 3 gives the least weight. In Model 3, additional members were extended beneath the bottom grid in the form of inverted pyramids to be placed on supports. This effectively produces a column capital which distributes forces into the DLG. Thus, member sizes become smaller and result in less weight.

Models 1 and 2 have four corner supports which give maximum open spaces beneath the structures. Placing the supports at the very edges of the spans, as in Model 1 compared to Model 2, results in very high stresses in the members, necessitating members of bigger sizes. In Model 2, the cantilever effect of the overhanging portions of the DLG helps to reduce the midspan moments, resulting in smaller member sizes.

Closely spaced perimeter supports in Models 4 and 6 also result in less weight by eliminating the high shear forces which exist in corner supported models. Compared to Model 6, Model 4 has less weight due to placing the supports at the lower grid. Placing the supports at the lower grid in general results in less weights as seen in the table.

The difference in weight due to the number of supports between Models 6 and 5 and also Models 4 and 1 shows that the number of supports along the perimeters of the structures plays an important role to get more economical structures. Although it is advantageous to lower the cost of the DLG, the cost of supports and foundations may offset that cost gain. It should also be considered that the closely spaced supports is a more restrictive architectural solution.

The effect of the number of modules can best be seen with Model 5, since as the number of modules changes the number of supports and also the clear span do not change in Model 5. As seen from Table 1, for Model 5, as the number of modules reduces from 13x13 to 7x7, the weight of the structure becomes less.

Considering the type of supports, the locations of supports also affect the efficiency. In Model 5 and Model 6, in which the supports are located at the upper grid, the use of pin supports results in less weight. In Models 1, 2, and 3, which are supported at the lower grid, the use of simple supports results in more efficient structures.

6.1. Effect of Span to Depth Ratio

The investigation of the effect of depth on total weight to load carrying capacity involved the same 21 m span models used previously (7x7, 10x10, 13x13) but with span to depth ratios varying from 4.67 to 35. The results of Model 5 and Model 6 with

three different module numbers and for simple and pin support cases are shown in Tables 2 and 3, respectively.

Table 2. Total weights (kN) of the structures for Model 5

Depth, d (m)		4.572	3.048	2.134	1.524	1.219	1.067	0.838	0.610
Span to depth ratio		4.67	7	10	14	17.5	20	25.45	35
No of Modules	Support Type								
7x7	Pin	203.906	148.037	145.488	165.532	181.194	209.382	265.973	374.745
7x7	Simple	188.760	163.370	186.109	223.172	238.327	306.749	343.736	482.049
10x10	Pin	302.110	204.129	216.468	217.202	236.792	257.321	306.416	411.358
10x10	Simple	316.820	257.899	222.131	264.678	287.222	323.773	431.953	527.897
13x13	Pin	478.878	313.826	268.477	294.366	297.315	308.707	355.675	479.549
13x13	Simple	478.878	332.647	291.657	307.741	341.054	345.783	417.906	557.865

Table 3. Total weights (kN) of the structures for Model 6

Depth, d (m)		4.572	3.048	2.134	1.524	1.219	1.067	0.838	0.610
Span to depth ratio		4.67	7	10	14	17.5	20	25.45	35
No of Modules	Support Type								
7x7	Pin	131.965	88.551	76.945	82.781	83.524	87.563	106.980	114.951
7x7	Simple	143.526	99.244	96.638	95.232	97.741	104.200	132.490	155.572
10x10	Pin	238.113	97.269	69.361	68.000	72.639	84.748	89.988	111.784
13x13	Pin	309.734	145.577	101.566	99.551	97.380	121.063	129.305	169.228
13x13	Simple	309.734	145.626	80.317	79.236	78.084	75.682	83.200	98.995

For both models, the most efficient span to depth ratios are within the range of 7 to 17.5. Minimum weights were obtained with span to depth ratio of 10 in both cases. The recommended values for the depth of a DLG is generally %4 to %8 of its span [1]. The results show that, the economic range of depth may be between %6 to %14 of the span, which are span to depth ratios of 7 and 17.5, respectively.

It is observed from Tables 2 and 3 that the angle between the diagonal and horizontal members affects the weight. The angle between the diagonal and horizontal members which results in minimum weight corresponds to 52° – 60° for both models. This effect can be seen between different number of modules for the same depth. For the same depth of a model, increased number of modules causes the angle of diagonal members to become greater.

6.2. Effect of Number of Supports

In the previous section, it was observed that the number of supports had a significant effect on the weight of the structure. The difference between the weights of Model 4 and Model 1 shows this trend very clearly. In Model 4, the structure is supported by continuous perimeter supports. Model 1, however, is supported only by four corner supports. To better illustrate this effect on the DLG members and consequently on the total weight of the structure, another study was conducted to obtain the effect of the number of supports on the stress distribution in the DLG structure. For this purpose, the

number of supports of Model 4 with 10×10 modules and constant depth of 1.0 m was successively reduced from perimeter supports to four corner supports in six steps. The first model, Model 4 with ten supports along each edge representing a structure which is simply supported along all four sides, is considered as the basic case for comparison purposes. The plan and side elevations of the models are shown in Figure 3.

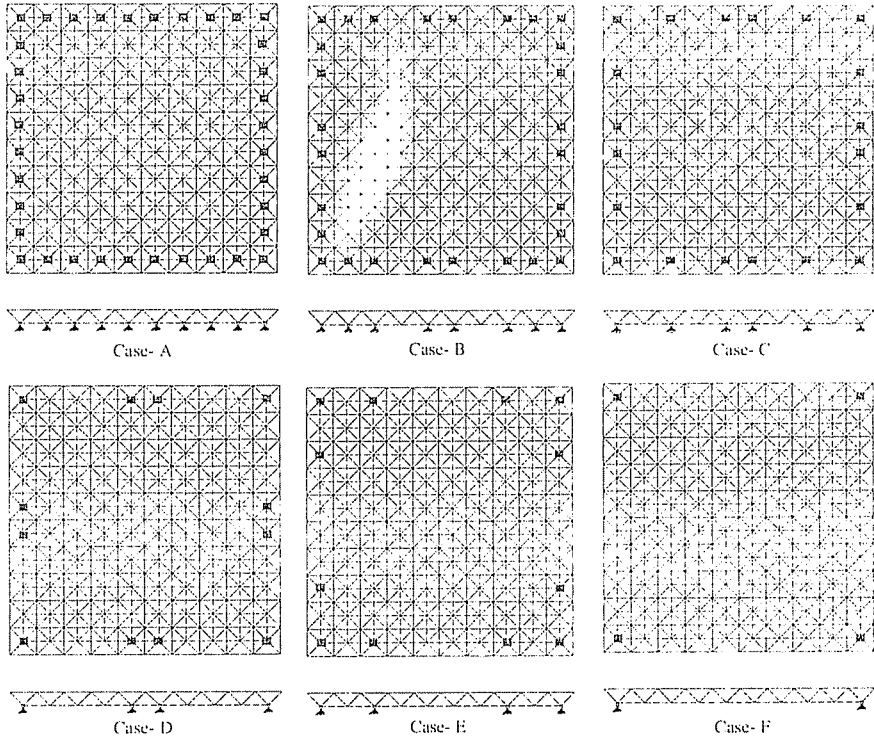


Figure 3. Arrangements of supports

SAP90 [6], a linear analysis program, has been used for analyzing the abovementioned model. The analysis has been carried out assuming a structure which consists of members having equal cross-sectional area, and uniformly distributed loading over the whole grid. The numbers of supports along the edges were ten, eight, six, four, four, and two for cases A, B, C, D, E, and F, respectively.

As seen in Figure 4, the computer analysis results show that there is no significant difference among cases A, B, and C (ten, eight, and six supports along each side, respectively) in terms of member forces in the most critical members. Removal of further two supports (case D) leads to approximately 9% increase in the maximum compression values and 8% increase in the maximum tension values. The DLG structure in case E has the same number of supports as case D but in different locations. The change in the maximum forces between cases D and E is, also, very slight. A significant change is observed in case F, when the structure is supported at the corners

only. Having the supports only at the corners results in a sudden increase in the forces in the DLG structure. Compared to the basic case, case A, the tensile and compressive forces in case F increased almost threefold, rendering necessary bigger member sizes for the structure.

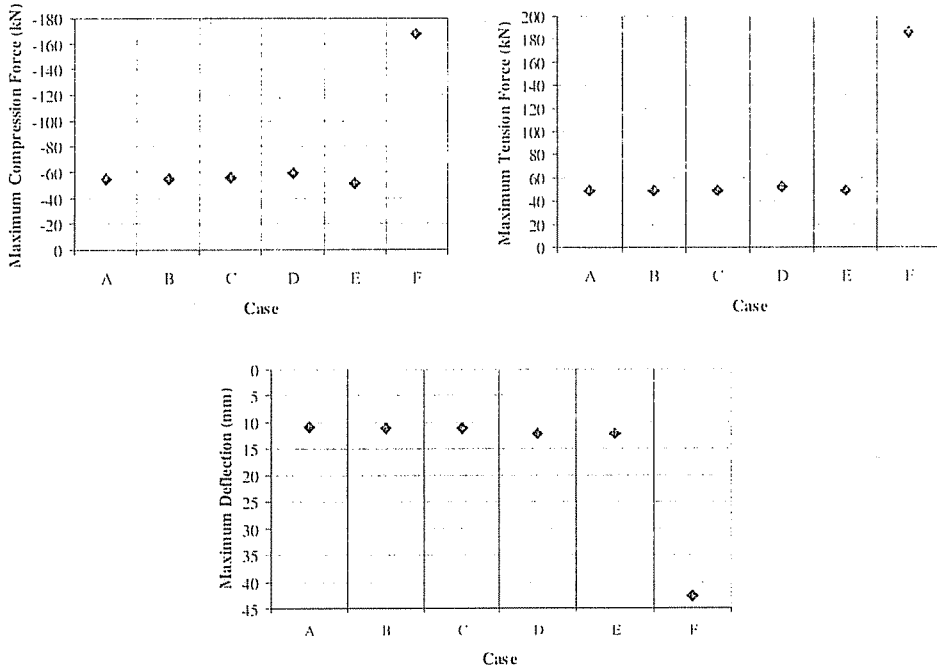


Figure 4. Variation of maximum compression and tension forces in members and variations in maximum deflections as functions of the number of supports

The study of the results also revealed that there is a significant change in the stress patterns along the edges among the cases. It was observed that there was a gradual reduction in the member forces in a small region around the center of the grid, and a large increase in member forces at the mid-spans of the edges.

As seen in Figure 4, there is no significant variation in the maximum deflections for the first five arrangements. Cases D and E show very slight changes in the maximum deflections, approximately 11%, compared to case A. However, when the structure is supported only at the corners in case F, the deflections rise suddenly to 290% of those of the basic case, case A.

7. CONCLUSIONS

1. The least weight of a DLG, hence, the maximum structural efficiency is achieved when the depth is between 6% to 14% of the length of the structure.

2. The weight of a DLG that is supported at the lower grid is less than that of a DLG that is supported at the upper grid.
3. The weight of a DLG is reduced with an increase in the number of perimeter supports.
4. If a DLG structure is chosen to be supported at the upper grid. then, the use of pin supports results in less weight compared to the use of simple supports. In contrast, if the DLG supports are located at the lower grid. then, the use of simple supports leads to less weight compared to the use of pin supports.
5. Reducing the number of perimeter supports do not change stresses in members significantly, as long as there is at least one extra support between two corner supports. However the stresses increase significantly when the perimeter supports are reduced to corner supports, only.

8. REFERENCES

1. *Guidelines for the Design of Double-Layer Grids*, ASCE, 1997.
2. Ambrose, J., "Design of Building Trusses", John Wiley and Sons, 1994.
3. SODA *Structural Optimization Design and Analysis, A Structural Analysis and Design Program for Static response of Linear Systems*. Acronym Software Inc., 1995.
4. *AISC Steel Construction Manual, Second Edition*, American Institute of Steel Construction, 1994.
5. *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, ASCE, 1988.
6. *SAP 90 - A Structural Analysis Program for Static and Dynamic Response of Linear Systems*. Computers and Structures Inc., 1990.

SUSCEPTIBILITY OF DOUBLE-LAYER GRID STRUCTURES TO PROGRESSIVE COLLAPSE

Hakan T. TÜRKER

M.K.U., Department of Civil Engineering, Hatay/Turkey

Celal KÖSTEM

Lehigh University, Department of Civil and Environmental Engineering, Bethlehem, PA

Orhan AKSOĞAN

Ç.U., Department of Civil Engineering, Adana/Turkey

ABSTRACT : *Because of their large internal degree of static indeterminacy, double-layer grid (DLG) structures are often assumed to have sufficient redundancy such that the loss of one member would cause force redistribution that can be accommodated by remaining structures. However, results of the several experimental and parametric studies show that progressive collapse could occur following the loss of one of several potentially critical members when the structures are subject to full service loading. This paper presents the susceptibility of DLG structures to progressive collapse when any one of a number of critical members has lost its load carrying capacity. By changing the parameters, it is aimed to determine which structure parameters improve the ability of the damaged structure to avoid complete failure.*

ÇİFT TABAKALI GRID YAPILARIN ZİNCİRLEME ÇÖKÜŞE KARŞI HASSASİYETLERİ

ÖZET : *Çift tabakalı grid (ÇTG) yapıların yüksek derecede hiper statik olmaları nedeniyle, herhangi bir elemanını kaybetmeleri durumunda, kaybolan elemanın yükünün diğer elemanlara dağıtılmak suretiyle yeterli güvenlikte oldukları düşünülür. Yapılan deneysel ve parametrik çalışmalar, bu yaygın görüşün aksine, çöken kritik elemanın diğer elemanların zincirleme çöküşüne neden olabileceğini göstermiştir. Bu makalede çift tabakalı grid yapıların herhangi bir neden sonucu kritik elemanlarından birini kaybetmeleri durumunda, zincirleme çöküşe karşı hassasiyeti incelenmiştir. Değişik parametreler irdelenerek, ÇTG yapıların zincirleme çöküşüne karşı güvenliğini artıran parametreler belirlenmiştir.*

1. INTRODUCTION

DLG structures consist of two plane grids forming the top and bottom layer, parallel to each other and interconnected by diagonal members (see Figure 1). These kinds of structures are becoming increasingly popular for providing large column free areas. DLG structures are considered to be efficient systems, with large stiffness to weight ratios, and it is also aesthetically pleasing (5, 6).

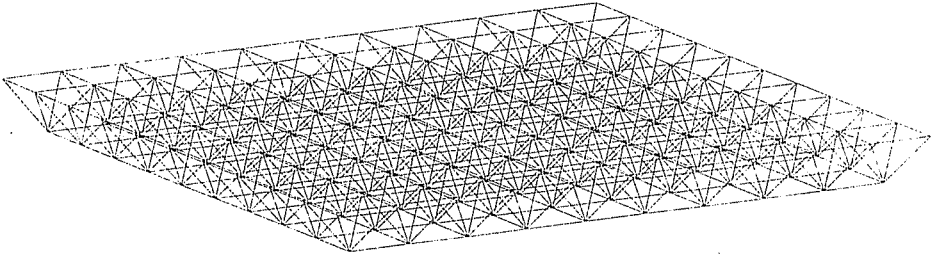


Figure 1. Three dimensional view of double layer grid

Because of their large internal degree of static indeterminacy, DLG structures are often assumed to have sufficient redundancy such that the loss of one member would cause force redistribution that can be accommodated by remaining structures. However, results of several experimental and parametric studies show that progressive collapse could occur following the loss of one of several potentially critical members when the structures are subject to full service loading (4). Progressive collapse has been defined as "the widespread propagation of failure following damage to a relatively small portion of the structure" (1). There may exist substantial discrepancies between the structural behavior as predicted by the analytical model and the actual behavior (4). Extensive experimental evidence indicates that double-layer grids are highly sensitive to effects of random imperfections, owing to their high degree of static indeterminacy and stiffness. Load bearing capacity of these structures often falls 25% to 40% below the elastic limit (4, 10, 11).

There are many events that can cause the failure of a structural member. The important question is how the structure would behave after the loss of the member. This paper presents the susceptibility of DLG structures to progressive collapse when any one of a number of critical members has lost its load carrying capacity. By changing the parameters, it is aimed to determine which structure parameters improve the ability of the damaged structure to avoid complete failure.

1.1.Space Truss Behavior

Space truss behavior is the result of its configuration; the interaction of its configuration, the interaction of its many members and joints, its supports, and the external loading it is required to sustain.

The parameters influencing the effect of an individual member on the truss behavior include its initial curvature, yield strength of material, residual stresses resulting from its manufacture and fabrication, load eccentricities, and finally, the nature of the force-tension or compression- in the member.

1.1.1 Member Behavior

There are two physical phenomena, which control the upper bound of the capacity of a member axially loaded in compression. First, there is yielding due to the material behavior which includes the ductility of the material as well as the strength of the material. In this case, the maximum load capacity, (see **Figure 2**) would be a function of the material properties and the cross-sectional properties. Thus,

$$P_{\max} = P_y = \sigma_y A$$

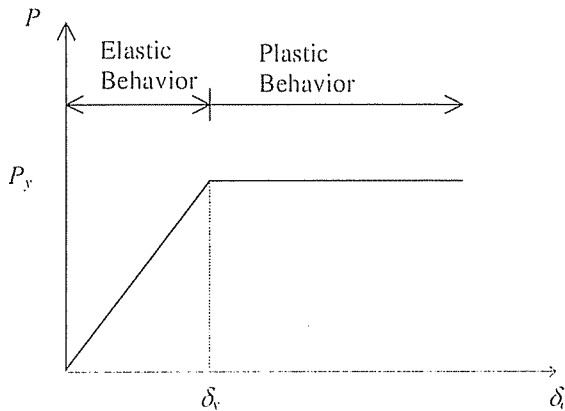


Figure 2. Yielding controls P vs δ_u

The second phenomenon is buckling. This is sudden lateral movement at the center of compression member while the ends remain axially in line. The Euler buckling load of a compression member is a function of the length of the member as well as the cross-sectional and material properties. Thus,

$$P_{\max.} = P_E = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

Referring to

Figure 3 it can be seen that the behavior of the buckling phenomenon can be presented in two different manners.

Figure 3(a) is a plot of axial compressive load, P , versus the axial shortening, δ_a , while

Figure 3(b) is a plot of axial compressive load, P , versus the lateral deflection, δ_L , measured at the mid-point of the length.

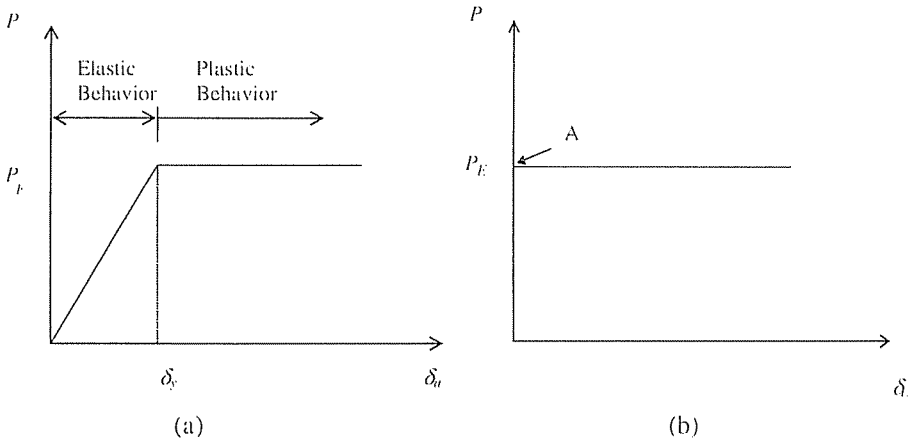


Figure 3. Buckling Controls (a) P vs δ_a (b) P vs δ_L

Point A

Figure 3(b) has been noted as a bifurcation point because, theoretically, the member can remain straight or displace laterally under the same load. Prior to reaching the bifurcation point the member remains absolutely straight with increasing load. Once the bifurcation point, or the Euler load, is reached the member can displace laterally by an indeterminate amount.

Figure 2, showing the yielding phenomenon,

Figure 3(a), showing the buckling phenomenon, present the same member behavior when considering the axial load versus the axial displacement. The slope of the curve prior to the maximum load is a material property, known as the elastic modulus, E , which is a constant for a particular material. Whether the buckling phenomenon is obtained before the yielding phenomenon is function of the length of the member.

Referring to the plot of the maximum compressive axial load, P_{max} , versus the slenderness ratio, L/r , in **Figure 4**, it can be seen that the Euler buckling phenomenon controls at slenderness ratios greater than that at which the Euler load is equal to the yield load, $(L/r)_t$. The yielding phenomenon controls at slenderness ratios below $(L/r)_t$.

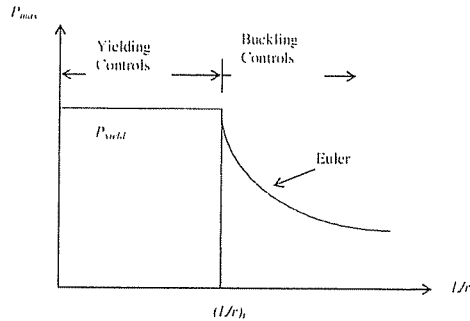


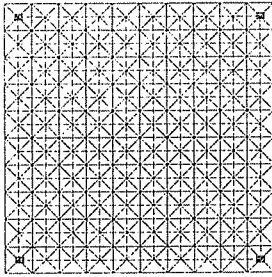
Figure 4. P_{max} vs (L/r)

2. PARAMETRIC STUDY

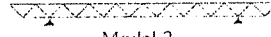
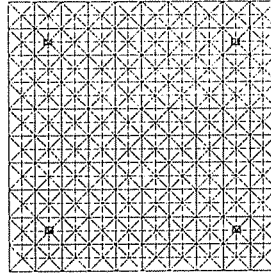
The parameters to be investigated in this study were chosen as span to depth ratio, support conditions, number of supports, and span to module size ratio. The span to depth ratio had values of 7, 10, 14, 17.5, 20, 25.45, and 35. The ratio of the number of modules per span had values of 7 X 7, 10 X 10, and 13 X 13. Span is defined in this research as the distance between columns in x or y direction.

All combinations were analyzed using linear analysis methods. The damaged truss structures were analyzed using alternate path method (2, 3, and 7). Various members were individually removed from each truss and the member factors of safety calculated. The member factor of safety is defined as the ratio of the ultimate capacity of the member to actual member force. Failure is defined as factor of safety less than one.

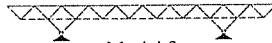
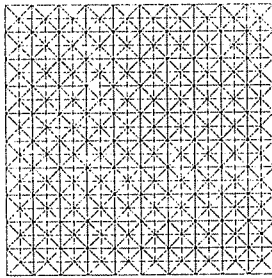
Six models of double-layer grid structures were chosen for parametric study in this research. The plan and side elevation are shown in **Figure 5**. These structures cover an area of 21 m by 21 m. The space frame is an example of DLG of the square-on-square type. All of these models were designed under the same uniform load conditions and analyzed. SODA (13), which is a linear analysis program, was used for designing and analyzing the models. All the analyses are conducted for space trusses. Only active degrees of freedom (DOF), except supports, are the three translations. The prototypes were designed with two support conditions, which are pin support and simple support. Pin support is defined in this research as one for which translations in all directions are prevented. Simple support is defined, see **Figure 6**, as a node (node 1) of structure for which all translations as well as rotations are prevented. The nodes along the x and y directions (node 2 & node 3) such that all rotations and the translations other than that in the direction of the axis it lies on are prevented. The support node (node 4) can move only in x and y directions and not in z direction. Steel circular hollow sections have been used for the members of the structures. Members in these prototypes were assumed to be pin-ended and selected from 37 different circular hollow sections, which are contained in SODA (13). The AISC (12) specifications (AISC-LRFD-93) were used in the member selection.



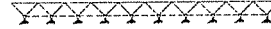
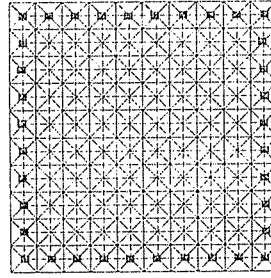
Model 1



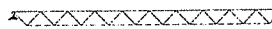
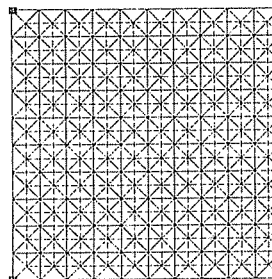
Model 2



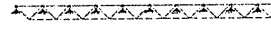
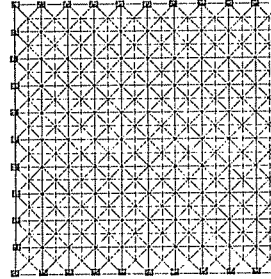
Model 3



Model 4



Model 5



Model 6

Figure 5. Models used for parametric study

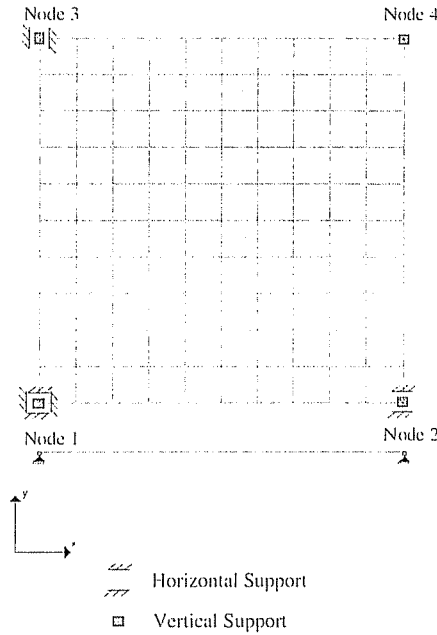


Figure 6. Simple Support Definition

2.1. Alternate Path Analyses

The alternate path analysis method was utilized in order to analyze the behavior of the DLG structures subject to loss of a critical member. The damaging event is considered unknown and for this investigation the damaged member was assumed to have zero capacity. One important aspect to note is that this method is independent of actual event which caused the damage. Regardless of the damaging event, the structure must demonstrate the ability to redistribute the loads in such a way that the structure is able to maintain acceptable levels of safety.

For our alternate path analysis, the initial damage is simulated by simply removing one of the critical structural members. Then the structure was analyzed under the design load combination. Each time one of the critical members was removed. Then, it was examined if the removing causes other members to fail in the structure. Failed member is defined in this research as a member whose actual force exceeds its allowable force. SODA (13) determines failed member, which violate AISC (12) rule, according to AISC. For the removed members, the young module was assumed as zero in SODA (13).

For each model to be investigated, a large number of members were chosen for removal in a certain pattern. The members chosen for removal are selected in the area of expected

vulnerability. It is important to note that the DLG structures were analyzed subject to the loss of only a single member at any given time.

3. DISCUSSION OF THE RESULTS OF THE PARAMETRIC STUDY

3.1. Corner Support Model Analyses Results

The focus of this section is the evaluation of the exterior and interior corner supported DLG models and their behavior when subjected to the loss of a single member. When creating the models to be analyzed, the base model defined previously was varied for the parametric study of susceptibility to progressive collapse. A total of eighteen models were used to obtain the results presented in this section.

3.1.1. Exterior and Interior Support

The truss models were analyzed to determine if the location of the support had an effect on the susceptibility of the structures to progressive collapse. In **Table 1** and **Table 2**, the results of this investigation are presented.

Table 1. Number of Failed Members

# Modules	Pin Support		Simple Support	
	Exterior Support Model-5	Interior Support Model-1	Exterior Support Model-5	Interior Support Model-1
7 X 7	160	10	153	12
10 X 10	299	10	284	15
13 X 13	401	5	386	8
Span :21 m by 21 m, Depth : 1 m				

Table 2. Percentage of Failed Members

# Modules	Pin Support		Simple Support	
	Exterior Support Model-5	Interior Support Model-1	Exterior Support Model-5	Interior Support Model-1
7 X 7	39.4%	2.5%	38.1%	3.0%
10 X 10	37.7%	1.3%	35.5%	1.9%
13 X 13	29.6%	0.4%	28.5%	0.6%
Span :21 m by 21 m, Depth : 1 m				

Table 1 shows the number of members which failed due to the loss of a solitary member in the single worst case analyzed. From Table 1, it can be seen that the interior support models sustain much fewer failed members than exterior support models do. One factor

that increased the performance of the interior support models is the shorter unsupported span. Another factor could be the difference in critical members between the two support types. The most critical members for all the exterior corner models analyzed were the corner diagonal from the point of support to the corner of the lower chords. The loss of this member reduced the capacity of the structure and compelled the truss to support the load in the span diagonally across the structure, effectively increasing the unsupported length of the truss.

The most critical members for the interior support models were the central chord members along the perimeter of the structure. These members were also found to be critical for the exterior support models but they are not as critical as the corner diagonal discussed previously. The top and bottom members along the perimeter carry a large portion of the load in a corner supported double-layer grid structure. If one of these members is lost, the next member in the perimeter must support the load carried by the lost member.

3.1.2. Effect of the Number of Modules per Span

Even though the span lengths of all corner support models analyzed were kept constant at 21 m, the number of modules per span was analyzed using three values. They are 7 modules per span, 10 modules per span, and 13 modules per span. The results of this analysis can be seen in Table 1 and Table 2 which have been previously shown. Depending on how the results are interpreted, different conclusions can be drawn. If the results are examined in terms of the number of failed members which is due to the loss of a single member, there appears to be a trend of increased number of failed members as the number of modules per span increases. Another way to investigate the results would be in terms of the percentage of members which fail due to the loss of a single member. Even though the number of members damaged in the lower number of module DLG structure was less, the percentage of DLG damaged members was greater. With a greater percentage of the structure remaining intact after a damaging event, there is greater opportunity for the structure to find an alternate path for the load and avoid a complete failure. Therefore, as the number of modules increases, the chance of the survival of the structure may also increase.

3.1.3. Effect of Span to Depth Ratio

In order to investigate the effect of varying the span to depth ratio on the susceptibility of the double-layer grid structures to progressive collapse, eight corners supported models were created and analyzed using the SODA computer program. The results of these tests are presented in Table 3. Inspecting Table 3, no clear trends or conclusions can be drawn concerning the effects of the span to depth ratio.

Table 3. Model-5 Number of Failed Members

Module #	Depth [m]						
	Span to Depth Ratio						
	d=10	d=7	d=5	d=4	d=3.5	d=2.75	d=2
	7	10	14	17.5	20	25.45	35
10 X 10	228	235	334	307	299	301	248

3.2. Perimeter Support Analysis Results

Two types of perimeter support models are compared here. One of them is exterior support at the truss upper nodes (model-6, see figure 5). The other is interior support at the truss lower nodes (Model- 4, see figure 5). Each of these models was a square configuration with the same number of modules in x and y directions. They were designed under the same load conditions and analyzed. When creating the models to be analyzed, the base model defined previously was varied such that each parameter for parametric study. A total of eighteen models were used to obtain the results presented in this section.

3.2.1. Exterior Support and Interior Support

One of the conditions to be varied for compression purposes was the location of support. The results of the tests have been tabulated in Table 4 and Table 5. Numerous members were removed individually from each model. Of all individual members removed, the worst case was the one which produced the greatest number of failed members. The most critical member for each different group (Diagonal, upper, lower members) was removed. The numbers of failed members after the removal of the most critical members were tabulated in Table 4. In Table 4 the numbers of failed truss members for the worst single test case of each model are presented. Table 5 shows the percentage of the failed truss members.

Table 4. Number of Failed Members

# Modules	Pin Support		Simple Support	
	Exterior Support Model-5	Interior Support Model-1	Exterior Support Model-5	Interior Support Model-1
7 X 7	3	-	3	1
10 X 10	3	-	3	1
13 X 13	4	-	4	-
Span :21 m by 21 m, Depth : 1 m				

Table 5. Percentage of failed members

# Modules	Pin Support		Simple Support	
	Exterior Support Model-5	Interior Support Model-1	Exterior Support Model-5	Interior Support Model-1
7 X 7	0.80%	-	0.80%	0.25%
10 X 10	0.38%	-	0.38%	0.13%
13 X 13	0.29%	-	0.29%	-
Span :21 m by 21 m, Depth : 1 m				

As it can be seen from the above tables, the interior perimeter support cases sustain fewer failed members after the removal of the most critical member than the exterior support cases.

3.2.2. Effect of Span to Depth Ratio

Investigations of the effect of depth on the susceptibility of double-layer grid structures to progressive collapse involved the same 21 m span models used previously (10 X 10), but with span to depth ratios varying from 7 to 35. The results of the single worst case from these tests are shown in Table 6. No clear trends are observed in these results.

Table 6. Number of Failed Members Model-6

Module #	Depth [m]						
	Span to Depth Ratio						
	d=10	d=7	d=5	d=4	d=3.5	d=2.75	d=2
	7	10	14	17.5	20	25.45	35
10 X 10	2	6	3	9	3	3	2

3.2.3. Effect of Number of Modules per Span

Holding overall span length constant at 21 m, the number of modules per span was analyzed with three values: 7 modules per span, 10 modules per span, and 13 modules per span. In order to determine the effect of the number of modules to susceptibility of DLG to progressive collapse, it is necessary to refer to Table 4 and Table 5 again. The number of failed members for each case shows that the results are roughly equivalent and may lead to believe that the effect of varying the number of modules is negligible. If the results are viewed in terms of percentage of the truss which fails, the conclusion is different. As the number of modules per span is reduced, there is an increase in the percentage of failing members. Both the exterior and the interior support conditions show the same trend. If a smaller percentage of structure has exceeded its capacity, there is a higher probability that

the structure would be able to find an alternate path for redistribution of the load. If there are a greater number of members per a given area, the structure can distribute the overload to more members. Therefore, the higher the number of modules per span, the lower the susceptibility to progressive collapse.

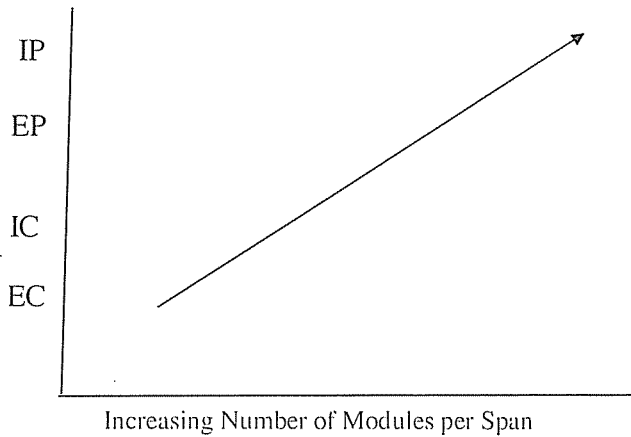
3.3. Perimeter Support -- Corner Support

Inspecting the tables in the section above, it can be seen that the perimeter support models sustained significantly fewer damaged members due to loss of a member of DLG. One reason for the difference in the damage levels is the difference in the fundamental behavior between the two support types. The corner support models transfer the load to the outer members and then the supports. Consequently, these members are the most critical group and their loss cause the greatest damage. As the perimeter support models transfer the load towards the outside of DLG, the load is carried by the continuous supports. The critical members for the perimeter support models are the members in the central portion of the structure.

3.4. Finding of Parametric study on Susceptibility of Double-layer Grid Structure to Progressive Collapse

As stated previously, the main purpose of this paper is to examine and identify the influence of particular parameters on the susceptibility of DLG structures to progressive collapse. The susceptibility of a structure to progressive collapse is defined as the level of risk that the structure would fail as a result of the damage to a small portion of it. Table 7 and Figure 7 summarize the results. Figure 7 does not contain the effects of depth because they were found to be insignificant in the test results. In Figure 7, as the structure moves from exterior corner support with few modules per span to a structure with interior perimeter support with a larger number of modules per span, the susceptibility of the structure to progressive collapse decreases. In this research, decrease in susceptibility is defined as a reduction in the number of members which have a factor of safety less than one after the removal of a member from the structure.

SUSCEPTIBILITY OF DOUBLE-LAYER GRID STRUCTURES TO PROGRESSIVE COLLAPSE



- EC : Exterior corner supported structure
- IC : Interior corner supported structure
- EP : Exterior perimeter supported structure
- IP : Interior perimeter supported structure

Figure 7. Resistance to progressive collapse

Table 7. Summary of parameter effects on susceptibility of DLG to progressive collapse

Variable	Effect on Susceptibility
# Modules	Moderate effect
Depth	no effect
Support Condition	Significant effect

4. REFERENCES

1. Makowski, Z.S. "Analysis, Design and Construction of Double-Layer Grids", John Wiley & Sons, New York, New York, 1981.

2. Makowski, Z.S. "Modern Space Structures and Their Impact on Contemporary Architecture", *Short Course of Lectures at Cukurova University, Adana, Turkey, 18 th May, 1993.*
3. Hanaor, Ariel "Snags and Solutions in Double-Layer Grid Design", *Building Structures Congress '87, Sherman, D.R., ed., ASCE, New York, 319-331, 1987*
4. Breen, J.E. "Summary of Report of Research Workshop on Progressive Collapse of Building Structures", *University of Texas at Austin, Austin, TX, 1975.*
5. Schmidt, Lewis C., Morgan, and Clarkson, John A., "Space Trusses with Brittle-Type Strut Buckling", *Journal of Structural Division, Vol. 102, pp. 1479-1492, No. ST7, 1976.*
6. Schmidt, Lewis C., Morgan, Peter R. and Hanaor Ariel, " Ultimate Load Testing of Space Trusses", *Journal of Structural Division, Vol.108, pp. 1324-1335, No.ST6, 1982.*
7. Ellingwood, B. and Leyendecker, E.V. "Approaches for Design Against Progressive Collapse", *Journal of the Structure Division, ASCE, Vol. 104, 1978.*
8. Ellingwood, B., Leyendecker, E.V and Yao, J. "Probability of Failure from Abnormal Load", *Journal of Structural Engineering, Vol. 109, No.4, April, 1983.*
9. Murtha-Smith, Erling. "Alternate Path Analysis of Space Trusses for Progressive Collapse", *Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 9, 1988.*
10. SODA *Structural Optimization Design and Analysis, A Structural Analysis and Design Program for Static response of Linear Systems, Acronym Software Inc.*
11. *AISC Steel Construction Manual, Second Edition, American Institute of Steel Construction, 1994.*

ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN DEĞİŞİK YÖNTEMLERLE ANALİZİ

Ziya ÜNSAL, Orhan AKSOĞAN ve Engin EMSEN
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Sürekli Bağlantı Yöntemi (SBY), yatay yükler etkisindeki boşluklu perdelerin analizi için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada, elastik temele oturan, sonlu sayıda güçlendirici kirişi olan, bağlantı kirişleri duvarlara esnek bağlanmış, çok sıra boşluklu deprem perdelerinin statik ve serbest titreşim analizleri yapılmıştır. Statik analiz kısmında, önce, bağlantı kirişleri eşdeğer eğilme rijitliğine sahip tabakalı bir ortama dönüştürülmüş, sonra da, tabakaların ve güçlendirici kirişlerin orta noktalarında uygunluk denklemleri yazılarak çözüme gidilmiştir. Analiz sırasında, sınır şartları, perdenin duvarlarının tabanlarında temelin rijitliğine eşdeğer rijitlikte düşey, yatay ve dönel yaylar göz önüne alınarak yazılmıştır. Serbest titreşim analizinde ise toplanmış kütle modeline dönüştürülen sistemin birim yükleme durumu için SBY kullanılarak rijitlik matrisi bulunmuştur. Rijitlik matrisi ve toplanmış kütle kabulü ile elde edilen kütle matrisinin serbest titreşim denkleminde yerlerine konulması ile sistemin doğal frekansları ve bunlara ait mod şekil vektörleri elde edilmiştir. Sayısal uygulamalar bölümünde ise SBY ile yapılan analizler sonucunda elde edilen değerler SAP2000 yapı analizi programından elde edilentlerle karşılaştırılmıştır.

ANALYSIS OF MULTI-BAY COUPLED SHEAR WALLS WITH DIFFERENT METHODS

ABSTRACT : The Continuous Connection Method (CCM) is widely used for the analysis of laterally loaded multi-bay shear walls. In this study, the static and free vibration analyses of elastically supported, multi-bay shear walls, having a finite number of stiffening beams and flexible connections between their piers and connecting beams, are considered. In the static analysis, at first, the connecting beams are replaced

* Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir. Proje No:MMF.2003.YL.15

by a continuous laminated medium with equivalent bending stiffness, and then, the solution has been carried out by writing down the compatibility equations at the mid-points of the laminae and the stiffening beams. In the analysis, the boundary conditions have been written down, assuming that the bottom of each pier in the wall is elastically supported by vertical, horizontal and rotational springs of equivalent stiffnesses to that of the foundation. In the free vibration analysis, the stiffness matrix is found using the CCM for the unit loadings of the system, representing it by the lumped mass assumption. Substituting the stiffness matrix and the mass matrix, found by the lumped mass assumption, in the free vibration equation, the natural frequencies and the corresponding mode shape vectors are found. In the numerical applications part, the results obtained by the analyses using CCM are compared with those found by using the SAP2000 structural analysis program.

1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı karşısında mevcut yerleşim sahalarını daha ekonomik şekilde değerlendirmek için çok katlı binalar yapılmaya başlanmıştır. Bunun neticesinde betonarme binalarda yükseklik arttıkça taşıyıcı sistemin boyutlandırılmasında rüzgar ve deprem gibi yatay yüklerin etkisinin düşey yüklere nazaran daha önemli olmaya başlaması, yatay etkilere karşı, rijitlikleri kolonlara göre daha fazla olan perdelerin tercih edilmesine sebebiyet vermiştir. Özellikle deprem bölgelerinde kolonlar, taşıdıkları servis yüklerinden daha fazla eğilme momentine maruz kalmakta ve yüksekliğe bağlı olarak ikinci mertebeden momentler büyümektedir. Dolayısıyla, bina yüksekliği boyunca yatay yerdeğiştirmeler yüksek mertebelerde olabilmektedir. Bu sebeple rüzgar ve depremden dolayı meydana gelen yatay kuvvetleri karşılamak için eğilme rijitlikleri kolonlara göre daha fazla olan perdeler tercih edilmektedir. Yatay yüklere karşı etkili bir dayanım gösteren deprem perdelerinin çok katlı yapılarda yaygın bir şekilde tercih edilmesi ile birlikte, mimari nedenlerle bırakılan boşluk sıra sayısında da artış olmuştur. Perdeler boşluksuz oldukları zaman konsol kiriş gibi çalıştıklarından hesapları kolaydır. Ancak, çeşitli nedenlerle bırakılan boşluklarla zayıflayan deprem perdeleri yüksek dereceden hiperstatik olduklarından hesapları da güçleşmektedir.

Sürekli bağlantı yöntemi (SBY) yatay yükler etkisindeki boşluklu perdelerin analizi için çok yaygın bir şekilde kullanılan yöntemlerden birisidir. SBY’nde boşluklu perdeler birleşik perdeler gibi göz önüne alınarak bağlantı kirişi adı verilen kat kirişleri ve döşemeler bina yüksekliği boyunca eşdeğer rijitlikteki sürekli yayılı kirişler olarak gösterilir ve bu elemanlarda oluşan kesme kuvvetleri sürekli dağıtılmış reaksiyonlar olarak modellenir. SBY’nde yapılan en önemli kabul bağlantı kirişlerini ve güçlendirici kirişleri eksenleri doğrultusunda rijit olarak ele almaktır. Bu kabul kat döşemeleri için çok yaygın şekilde kullanılan rijit diyafram modeliyle eşdeğer olup, çok doğru sonuçlar verdiği bilinen bir gerçektir. Bu kabule dayanarak herhangi bir yükseklikte tüm duvarlar aynı yanal yerdeğiştirmeyi yaparlar ve buna bağlı olarak aynı eğime sahip oldukları kabul edilebilir.

SBY’nin temel diferansiyel denklemleri, tüm açıklıklarda bağlantı kirişlerinin orta noktalarındaki düşey yerdeğiştirmeler için yazılan uygunluk denklemlerinden oluşmaktadır. Bu şekilde elde edilen ikinci mertebeden lineer diferansiyel denklem takımı için, perdelerin tabanında ve tepesinde sınır şartları ve güçlendirici kirişlerde

süreklilik şartları yazılarak çözüm yapılır. Analiz sonucunda perde duvarlardaki eksenel kuvvet fonksiyonları bulunur. Problemin ikinci aşamasında ise her bölge için perdelerde moment-eğrilik ilişkisi kullanılarak yatay yerdeğiştirme fonksiyonları bulunur. Boşluklu perde problemi, sürekli bağlantı yöntemi uygulanarak iki boyutlu problemde tek boyutlu probleme dönüştürülür.

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan boşluklu perde analizlerinde ise sistem geometrik özellikleri bilinen sonlu elemanlarla modellenir. Elemanların düğüm noktalarındaki uygunluk ve sınır şartları tanımlanır ve matris cebri kullanılarak tüm sistem için bir denklem takımı oluşturulur. Böylece düğüm noktası deplasmanları ve bunlara bağlı olarak da düğümlerdeki gerilmeler hesaplanabilmektedir. Çok sıra boşluklu betonarme perde duvarları sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapılırken, perdeler ve bağlantı kirişleri için birbiri ile uyumlu sonlu eleman tipleri seçilmiş ve seçilen sonlu elemanların yapının şekil değiştirmiş halini iyi temsil edebilmesi dikkate alınmıştır.

Bir yapının tasarımı sırasında, serbest titreşim özelliklerini bilmek, dinamik yatay yüklerin ele alınışı ve ona göre hesap yapılması için büyük önem taşır. Bu çalışmanın dinamik analizinde kullanılacak yöntem iki adımdan oluşur. Birinci adımda elastik temele oturan çok sıra boşluklu perde, ayrı kütlelerden oluşan bir toplanmış kütleler sistemine dönüştürülür. Kütle sayısı sistemin serbestlik derecesini oluşturur ve bölgelerdeki kat sayılarından bağımsız olarak (onlardan küçük veya büyük) serbestçe seçilebilir. Ancak, her bir kütle için büyüklüğü yapının yüksekliği boyunca ortalama kütle dağılımından elde edilir ve böylece yapının kütle matrisi bir köşegen matris olarak bulunur. İkinci adımda sistem rijitlik matrisi bulunacaktır. Bunun için daha önce oluşturulmuş olan ayrı kütlelerin her birinin yatay yerdeğiştirmeleri doğrultusunda birim yük ile yüklenmeleri ve yerdeğiştirmelerin bulunması gerekir. Bu yüklemelerin her biri için SBY kullanılarak boşluk sıralarındaki bağlantı kirişlerinin ve güçlendirici kirişlerin dönüm noktaları olan orta noktalarında uygunluk denklemleri yazılır. Boşluk sayısı kadar denklemden oluşan ikinci dereceden, lineer, girişimli diferansiyel denklem takımı, güçlendirici kirişlerle ve/veya perde kalınlığının değiştirilmesiyle iki veya daha fazla bölgeye ayrılmış olan perdenin bölge sayısı kadar denklemden oluşur. Boşluk sayısı m , bölge sayısı n olmak üzere $m \times n$ sayıda denkleme içeren diferansiyel denklem takımı, tek ve iki sıra boşluklu perdelerde kapalı olarak çözülebilmektedir. Ancak, boşluk sayısı üç ve daha fazla olduğunda, girişimli diferansiyel denklem takımında bilinmeyen sayısı da artmakta ve çözüm gittikçe zorlaşmaktadır. Ortak çözülmesi gereken bu diferansiyel denklem takımı değişken dönüşümü yapılarak özdeğer problemi şekline dönüştürülür. Elde edilen bu denklemler, katsayılar matrisinin köşegen şekle getirilmesiyle girişimsiz formda çözülür. Bu analiz sırasında temel düşey, yatay ve dönele rijitlikleri de gözönüne alınarak tabanda sınır koşulları yazılır. Yatay yerdeğiştirmelerin bulunması sırasında, bölgeler arasında komşu iki bölgenin aynı yatay yerdeğiştirme ve eğime sahip olmaları koşulları uygulanır.

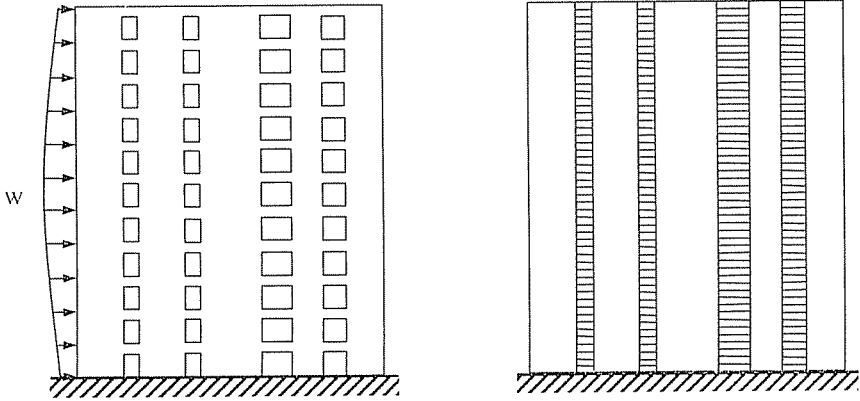
Birinci adımda bulunan ayrı kütleler sisteminin yerdeğiştirme şekilleri, tüm birim yükleme durumları için bulunduktan sonra, esneklik matrisi doğrudan doğruya yazılabilir ve tersi alınarak da rijitlik matrisi bulunur. Rijitlik matrisi ve toplanmış kütle kabulü ile elde edilen kütle matrislerinin serbest titreşim denkleminde yerlerine konulması ile sistemin doğal frekansları ve bunlara ait mod şekil vektörleri elde edilir.

Bu çalışmada da elastik temele oturan, sonlu sayıda güçlendirici kirişi olan, bağlantı kirişleri ile duvarlar arasında bağlantı esnekliği bulunan, simetrik olmayan çok sıra boşluklu perdelerin statik ve dinamik analizi SBY, eşdeğer çerçeve yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemlerine göre yapılmıştır. Ele alınan örneklerde SBY için MATHEMATICA bilgisayar programlama dilinde Bikçe ve Aksoğan (2002) tarafından hazırlanmış olan bir program, eşdeğer çerçeve ve sonlu elemanlar yöntemleri için ise SAP2000 yapı analizi programı kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

2. ANALİZ

2.1. Statik Analiz

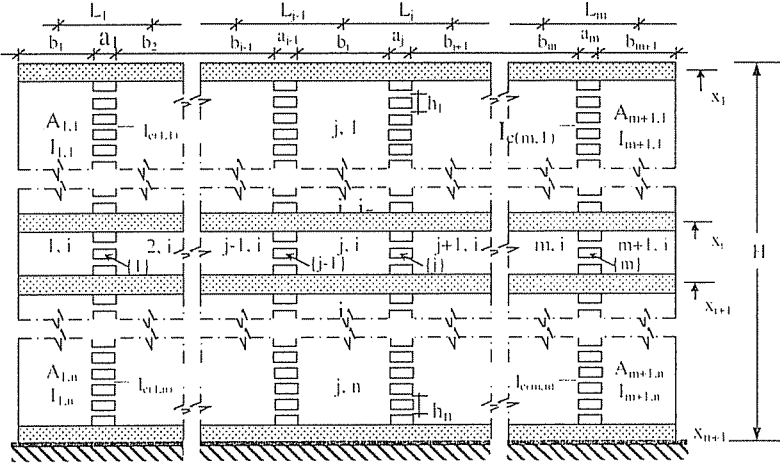
Son otuz beş yıl boyunca, boşluklu perde çözümü için kullanılan yöntemlerden biri olan SBY üzerinde üniversitelerde ve kuruluşların araştırma laboratuvarlarında çalışan mühendisler tarafından araştırmalar yapılmış ve konu üzerinde birçok makale yayınlanmıştır. Yöntemin ana fikri, her kat yüksekliğinde duvarları birbirlerine bağlayan bağ kirişlerinde ve/veya döşemelerde bulunan kesme kuvvetlerini sürekli dağıtılmış reaksiyonlar olarak modellemektir (Şekil 1).



Şekil 1. Yatay yük etkisindeki çok sıra boşluklu bir perde ve çok sıra boşluklu perdenin SBY ile modellenmesi

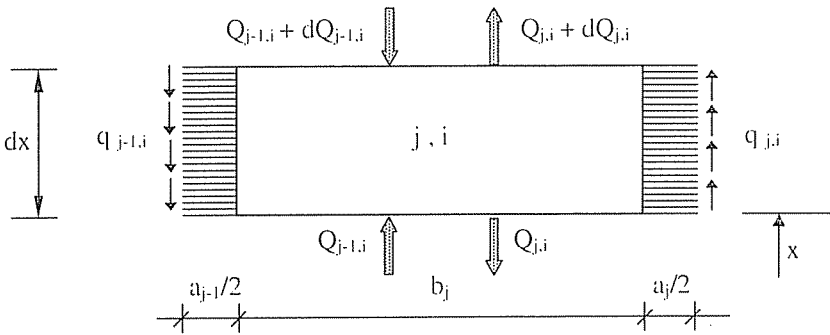
Sürekli bağlantı yönteminde yapılan kabuller şunlardır. Eğilmeden önce eksene dik olan düzlem kesitler eğilmeden sonra da eksene dik ve düzlem kalırlar (Bernoulli – Navier hipotezi). Bağlantı kirişlerinin ve güçlendirici kirişlerin eksenleri doğrultusunda sonsuz rijit oldukları kabul edilir. Bundan dolayı tüm duvarlar aynı yükseklikte eşit yatay yerdeğiştirme yaparlar. Bu kabule göre aynı yükseklikte bütün duvarların eğimleri ve eğrilikleri de birbirlerine eşit kabul edilebilir. Her bir duvardaki eğilme momenti perde eğilme rijitliği ile orantılıdır. Bu kabul, döşemelerin rijit diyafram modelinin de bir sonucu olarak düşünülebilir. Herhangi iki duvarı birbirine bağlayan bağlantı kirişlerinin ve her bir duvarın özelliği bölge yüksekliği boyunca sabittir. Her bölgede bağlantı kirişlerinin duvarlarla bağlantıları aynı eşdeğer yay sabitine sahiptirler. Bağlantı kirişlerindeki ayrı kesme kuvvetlerinin yerini onlara eşdeğer ve birim

yükseklikteki değeri $q_{j,i}$ olan sürekli kesme kuvvetleri alır. Eğilme rijitliği $EI_{c,j,i}$ olan ayrıık bağlantı kirişlerinin yerine eğilme rijitliği birim yükseklikte $EI_{c,j,i} / h_i$ olan eşdeğer sürekli bağlantı ortamı oluşturulur. Burada önemli bir nokta en üstteki bağlantı kirişlerinin atalet momentlerinin birinci bölgedeki bağlantı kirişlerinin atalet momentlerinin yarısına eşit olduğu varsayımdır. Bağlantı kirişlerinin ve güçlendirici kirişlerin üzerinde yük olmadığı ve uçlarındaki dönmeler eşit olduğu için moment sıfır noktaları orta noktalarıdır.



Şekil 2. Güçlendirici kirişleri olan çok sıra boşluklu perde

Sürekli bağlantı ortamına dönüştürülmüş çok sıra boşluklu perde sisteminde, i bölgesinde j numaralı duvarın sağ ve sol tarafındaki yayılı tabakaların moment sıfır noktaları olan orta noktalarından geçen düşey kesitler alınırsa birim boydaki değeri $q_{j-1,i}$ ve $q_{j,i}$ ile gösterilen kesme kuvvetleri ortaya çıkar (Şekil 3).



Şekil 3. Perdede düşey kuvvetlerin dengesi

Şekil 3'te görülen, i bölgesinde j numaralı duvarın, dx uzunluğundaki parçasına etkiyen düşey kuvvetlerin dengesinden

$$\frac{dQ_{j-1,i}}{dx} - \frac{dQ_{j,i}}{dx} = q_{j,i} - q_{j-1,i} \quad j = 1, 2, \dots, m+1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

eşitliği elde edilir. Burada,

$$Q_{0,i} = Q_{m+1,i} = q_{0,i} = q_{m+1,i} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

olduğu unutulmamalıdır. Burada, dikkat edilmesi gereken bir nokta, i bölgesinde j numaralı duvar üzerinde aksel kuvvet yerine duvarın komşu boşluklarındaki kesme kuvvetlerinin tepeden itibaren toplamları olan $Q_{j,i}$ ve $Q_{j-1,i}$ fonksiyonları bu analizde temel bilinmeyenler olarak ele alınmaktadır. Bunların arasındaki fark i bölgesindeki j numaralı duvarın aksel kuvvetini verecektir. Denklem takımı (1)'in bir sonucu olarak

$$\frac{dQ_{j,i}}{dx} = -q_{j,i} \quad j = 1, 2, \dots, m+1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

eşitlikleri yazılabilir. Herhangi bir x yüksekliğinde kesilmiş çok sıra boşluklu perdeler için moment-eğrilik ilişkisi,

$$EI_i \frac{d^2 y_i}{dx^2} = M_{ei} - \sum_{j=1}^m Q_{j,i} L_j \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

şeklinde elde edilir. Burada M_{ei} dış kuvvetlerin toplam momenti, L_j perde eksenleri arasındaki mesafeler, y_i yanal deplasman fonksiyonu ve I perdelerin toplam atalet momenti olarak tanımlanmaktadır. SBY'de çok sıra boşluklu deprem perdelerinin uygunluk denklemleri, bağlantı kirişlerinin moment sıfır noktaları olan orta noktalarında hesaplanacak bağıl düşey yerdeğiştirmelerden bulunacaktır. Yani, ortadan kesilmiş gibi düşünülen bağlantı kirişinin solda ve sağda kalan uçlarının birbirine göre bağıl düşey yerdeğiştirmesinin sıfır olması koşulu uygunluk denklemlerini oluşturacaktır. Buna göre gerekli düzenleme ve kısaltmalarla perdelerin dönmesinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirme, perde aksel kuvvetlerinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirme, bağlantı kirişindeki kesme kuvvetinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirme, bağlantı kirişi-duvar elastik bağlantısından doğan bağıl düşey yerdeğiştirme ve temel hareketinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirme (δ_{ij}) toplamının sıfıra eşitlenmesi ile

$$L_j \frac{dy_i}{dx} - \frac{h_j a_j^2}{2C_{cbj}} q_{j,i} - \frac{h_j a_j^3}{12I_{c,j,i}} q_{j,i} - \frac{1}{E} \sum_{t=i+1}^n \left[\begin{aligned} & \left\{ \frac{1}{A_{j,t}} \right\}_{x_{t+1}}^{x_t} \int_{x_{t+1}}^{x_t} (Q_{j,t} - Q_{j-1,t}) dx \\ & + \left\{ \frac{1}{A_{j+1,t}} \right\}_{x_{t+1}}^{x_t} \int_{x_{t+1}}^{x_t} (Q_{j,t} - Q_{j+1,t}) dx \end{aligned} \right] - \frac{1}{E} \left[\left\{ \frac{1}{A_{j,i}} \right\}_{x_{i+1}}^x \int_{x_{i+1}}^x (Q_{j,i} - Q_{j-1,i}) dx + \left\{ \frac{1}{A_{j+1,i}} \right\}_{x_{i+1}}^x \int_{x_{i+1}}^x (Q_{j,i} - Q_{j+1,i}) dx \right] - \delta_{ij} = 0$$

$j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n$ (5)

olarak elde edilebilir. Bu uygunluk denklemi, (2) denklemleri geçerli kalmak üzere tüm boşluklar için yazılabilir. Burada a_j , C_{cbj} , $I_{c,j,i}$, $A_{j,i}$ ve δ_{ij} , sırasıyla, j numaralı boşluk genişliği, i bölgesinde kiriş-duvar bağlantı esnekliği, i bölgesinin j numaralı boşluğundaki bağlantı kirişinin atalet momenti, i bölgesindeki j numaralı duvarın enkesit alanı ve temelin bağlı düşey yerdeğiştirmesidir. Bu denklemin x'e göre türevi alınır, (3) ve (4) ifadeleri denklemden yerlerine yazılarak düzenlenirse

$$[\gamma_{j,i}^2 Q_{j,i}'']_{m \times n} - [\alpha_{j,i}^2]_{m \times m} [Q_{j,i} L_j]_{m \times n} = [-M_{ci}]_{m \times n} \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

şeklinde matris formda Q'ya bağlı ikinci mertebeden homojen olmayan lineer diferansiyel denklem takımının genel ifadesi bulunmuş olur. Görüldüğü gibi (6) numaralı diferansiyel denklem takımı girişimlidir ve boşluk sayısına bağlı olarak matris boyutları büyüdüğünden ikiden fazla boşluk sayısı için kapalı çözümünü aramak pratiklikten çok uzaktır. Burada, (6) numaralı denklemin çözümü için matris ortogonalizasyon yöntemi kullanılacaktır. Bunun için, önce,

$$Q_{j,i} L_{j,i} = Z_{j,i} \Rightarrow Q_{j,i} = \frac{Z_{j,i}}{L_{j,i}} \Rightarrow Q_{j,i}'' = \frac{Z_{j,i}''}{L_{j,i}} \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

şeklinde değişken değişimi yapılarak (6) numaralı denklem, temel bilinmeyenler $Z_{j,i}$ olmak üzere, daha açık olarak,

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \frac{Y_{1,i}^2}{L_{1,i}} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{Y_{2,i}^2}{L_{2,i}} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{Y_{m,i}^2}{L_{m,i}} \end{bmatrix}}_{\underline{A}} + \underbrace{\begin{bmatrix} Z''_{1,i} \\ Z''_{2,i} \\ \dots \\ Z''_{m,i} \end{bmatrix}}_{\underline{Z}''} + \underbrace{\begin{bmatrix} -\alpha_{11}^2 & -\alpha_{12}^2 & \dots & -\alpha_{1m}^2 \\ -\alpha_{21}^2 & -\alpha_{22}^2 & \dots & -\alpha_{2m}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -\alpha_{m1}^2 & -\alpha_{m2}^2 & \dots & -\alpha_{mm}^2 \end{bmatrix}}_{\underline{B}} \underbrace{\begin{bmatrix} Z_{1,i} \\ Z_{2,i} \\ \dots \\ Z_{m,i} \end{bmatrix}}_{\underline{Z}} = \underbrace{\begin{bmatrix} -M_{ci} \\ -M_{ci} \\ \dots \\ -M_{ci} \end{bmatrix}}_{\underline{M}_{ci}}$$

$i = 1, 2, \dots, n$ (8)

şeklinde yazılabilir. Burada, \underline{A} ve \underline{B} $m \times m$, \underline{Z} ve \underline{M}_{ci} ise $m \times 1$ boyutlu matrislerdir. Bu denklemin homojen kısmı

$$\underline{A} \underline{Z}'' + \underline{B} \underline{Z} = 0 \tag{9}$$

şeklinde yazılarak bu özdeğer problemi çözülür ve her özdeğere karşı gelen özvektörler ilgili kolonlara yazılırsa T dönüşüm matrisi elde edilir. Denklem (8), \underline{Z} vektörü katsayılarının sabit olmasından dolayı diyagonalize edilebilir. Bu amaçla \underline{Z} ve \underline{Z}'' , dönüşüm matrisi kullanılarak,

$$\underline{Z} = \underline{T} \underline{Y}, \quad \underline{Z}'' = \underline{T} \underline{Y}'' \tag{10}$$

şeklinde ifade edilirler ve (8) numaralı denklemin matris formunda yerlerine konulursa

$$\underline{A} \underline{T} \underline{Y}'' + \underline{B} \underline{T} \underline{Y} = \underline{M}_{ci} \tag{11}$$

eşitliği elde edilir. Burada \underline{T} ve \underline{Y} , sırasıyla, $m \times m$ boyutunda dönüşüm matrisi ve $m \times 1$ boyutunda x 'e bağlı lineer bağımsız fonksiyonlardan oluşan matristir. Bu denklemin her iki tarafı \underline{T}^T ile çarpılırsa \underline{A} ve \underline{B} matrisleri diyagonal şekle dönüşür ve

$$\tilde{\underline{A}} \underline{Y}'' + \tilde{\underline{B}} \underline{Y} = \tilde{\underline{M}}_{ci} \tag{12}$$

şeklinde girişimsiz bir diferansiyel denklem takımı elde edilir. Denklem (12)'nin tüm $i = 1, 2, \dots, n$ bölgeleri için genel çözümü

$$Y_{j,i} = C_{j,i} \text{Cosh} \left(\sqrt{\frac{\tilde{B}_{jj,i}}{\tilde{A}_{jj,i}}} x \right) + D_{j,i} \text{Sinh} \left(\sqrt{\frac{\tilde{B}_{jj,i}}{\tilde{A}_{jj,i}}} x \right) + \frac{1}{\tilde{B}_{jj,i}} \left[\sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{\tilde{B}_{jj,i}}{\tilde{A}_{jj,i}} \right)^{-k} \frac{d^{2k}}{dx^{2k}} (\tilde{M}_{ci}) \right]$$

$j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n$ (13)

şeklinde verilebilir. Elde edilen (13) numaralı genel çözümde, her bir i bölgesi için boşluk sıra sayısı kadar $C_{j,i}$ ve $D_{j,i}$ sabitleri bulunmaktadır.

Sınır koşulları yazılmadan önce, sınır koşullarında kullanılacak olan güçlendirici kirişlerdeki kesme kuvveti değerleri belirlenmelidir. Bu amaçla, (5) numaralı uygunluk denklemi hem i bölgesinin x_i konumu için, hem de x_i yükseklikteki güçlendirici kiriş için yazılarak ortak çözümler ve düzenlemeler yapılarak

$$S_{j,i} = \frac{\left(\frac{h_i}{C_{cb_i}} + \frac{h_i a_j}{6EI_{c,j,i}} \right) \frac{1}{H}}{\left(\frac{1}{C_{sb_i}} + \frac{a_j}{6EI_{s_i}} \right)} \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n + 1 \quad (14)$$

tanımı yapılırsa güçlendirici kirişlerdeki kesme kuvveti değerleri

$$V_{j,i} = S_{j,i} H q_{j,i} \Big|_{x=x_i} \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n + 1 \quad (15)$$

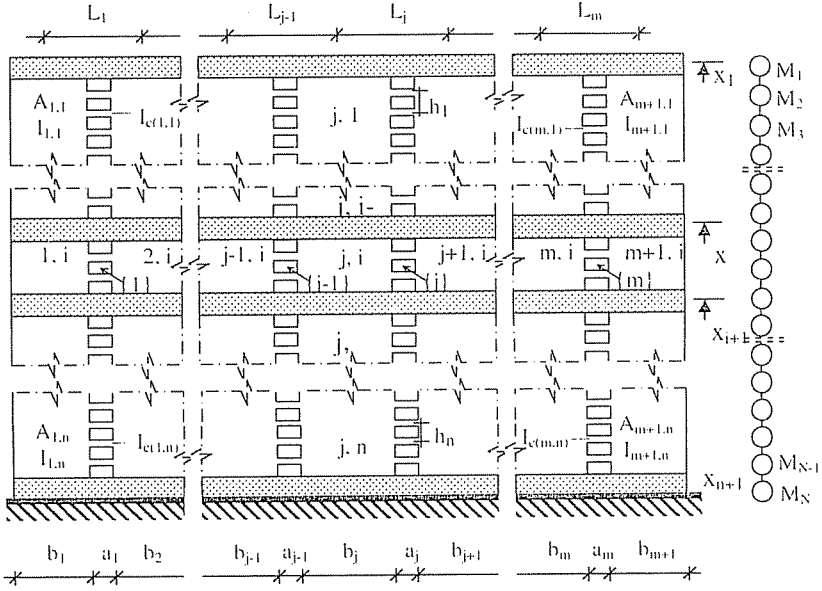
olarak bulunur. Her bölgede boşluk sıra sayısı kadar $C_{j,i}$ ve $D_{j,i}$ bilinmeyen integral sabiti çifti olduğundan bunlar, bütün bölge uçlarında düşey kuvvet dengesi ve bütün bölge uçlarında yazılan eğimlerin sürekliliği koşullarından bulunurlar. Yukarıda belirtilen tüm sınır koşulları yazılır ve ortak çözümlerse bütün bölgelere ait $C_{j,i}$ ve $D_{j,i}$ integrasyon sabitleri bulunur. Daha sonra sırasıyla integrasyon sabitleri (13) denkleminde yerlerine konular, elde edilen $Y_{j,i}$ değerleri (10) denklemlerinin birincisinde yerlerine konular ve elde edilen ifade (7) numaralı denklemlerin birincisinde yerine konularsa $Q_{j,i}$ bilinmeyen fonksiyonları elde edilir. Elde edilen $Q_{j,i}$ ifadeleri (4) numaralı moment eğrilik ilişkisinde yerlerine konularak elde edilen denklemler iki kez integre edilirse

$$y_i = \frac{1}{EI_i} \int \left[\int \left(M_{c_i} - \sum_{j=1}^m Q_{j,i} L_j \right) dx \right] dx + H_i x + G_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

ifadeleri elde edilir. Bu denklemlerdeki, bölge sayısı kadar H_i ve G_i bilinmeyen integrasyon sabiti çifti, x_i yükseklikte komşu iki bölge yanal deplasmanlarının ve türevlerinin eşitliğinden perde tabanında yanal deplasmanın ve perde tabanında dönmelerin yazılmasıyla elde edilen sınır koşullarından bulunur. Yukarıdaki ifadelerden elde edilen $2 \times n$ adet sınır koşulunun ortak çözümünden toplam $2 \times n$ adet integrasyon sabiti bulunur. Bulunan bu sabitler (16) denklemlerinde yerlerine yazılırsa tüm bölgelere ait yatay yerdeğiştirme fonksiyonları belirlenmiş olur.

2.2. Serbest Titreşim Analizi

Çok sıra boşluklu perde, problemin çözümü için, önce, ayrı kütlelerle modellenecek, sonra da, SBY kullanılacaktır. Çok sıra boşluklu perdenin kütle matrisi bir köşegen matris olarak toplanmış kütle kabulü ile bulunmaktadır.



Şekil 4. Güçlendirici kirişleri olan çok sıra boşluklu perde için toplanmış kütle modeli

Her bölgeye uygun sayıda toplanmış kütle yerleştirilerek bölge toplam kütlelerinin bu sayıya bölünmesi ile bölgedeki kütlelerin büyüklüğü bulunacak ve uçlardaki kütlelerin büyüklüğü ise diğer kütlelerin yarısına eşit olacaktır (Şekil 4). Bu işlemler tüm bölgeler için yapıp güçlendirici kirişlerden gelen katkılar da hesaplandıktan sonra yapının M kütle matrisi köşegen matris olarak bulunur. Bu matrisin boyutu, kütle sayısı N olmak üzere, $N \times N$ olur.

Esneklik matrisi her toplanmış kütle bulunan yükseklikteki yatay yerdeğiştirme doğrultusunda birim kuvvet uygulanarak bulunacaktır. Her birim yük uygulamasından elde edilen yatay yerdeğiştirmeler esneklik matrisinin bir kolonunu oluşturacaktır. Böylece, bir genel birim yükleme için yapılan analiz tüm esneklik matrisini bulmak için yeterlidir. Esneklik matrisinin tersi alınarak da rijitlik matrisi bulunur. İşlemler sırasında birim yük daha önce tanımlanan bölgelerin birinin içine rastlandığında o bölge iki yeni bölgeye ayrılır. Uygunluk denklemleri yazılırken ifade kolaylığı sağlaması için Macaulay parantezleri kullanılacaktır. Macaulay parantezleri

$$\left. \begin{array}{l} x > x' \text{ için } \langle x - x' \rangle^n = (x - x')^n \text{ ve } \langle x - x' \rangle^0 = 1 \\ x \leq x' \text{ için } \langle x - x' \rangle^n = 0 \text{ ve } \langle x - x' \rangle^0 = 0 \end{array} \right\} \quad (17)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Macaulay parantezi tanımına göre

$$\begin{array}{l} H_p > x \text{ ise } \langle H_p - x \rangle^1 = (H_p - x) \\ H_p \leq x \text{ ise } \langle H_p - x \rangle^1 = 0 \end{array} \quad (18)$$

olduğu için M_{ci} momenti yükün üzerindeki bölge için sıfır, altındaki bölge için yükün uygulandığı nokta ile moment alınan noktanın yükseklik farkının birim yük ile çarpımına eşit olur. Burada H_p , birim yükün bulunduğu yüksekliktir. Buna göre M_{ci} moment değeri birim yükleme durumu için

$$M_{ci} = \langle H_p - x \rangle^1 \quad (19)$$

olarak yazılabilir. Yukarıda yapılan tariften sonra uygunluk denklemleri yazılarak statik analiz bölümünde anlatılan işlem adımları aynen uygulanıp perde eksenel kuvvet fonksiyonu ($Q_{j,i}$) bulunur. Elde edilen $Q_{j,i}$ ifadeleri moment eğrilik ilişkisine ait denklemde yerine konulup gerekli işlemler yapılırsa yatay yerdeğiştirme fonksiyonları (y_i) belirlenmiş olur. Her bir birim yük için bulunan bu yerdeğiştirme değerleri esneklik matrisinin bir kolonunu oluşturur. Yukarıda anlatılan hesaplar sonucunda esneklik matrisi, \underline{F} , kolon kolon oluşturulur ve tersi alınırsa

$$\underline{K} = \underline{F}^{-1} \quad (20)$$

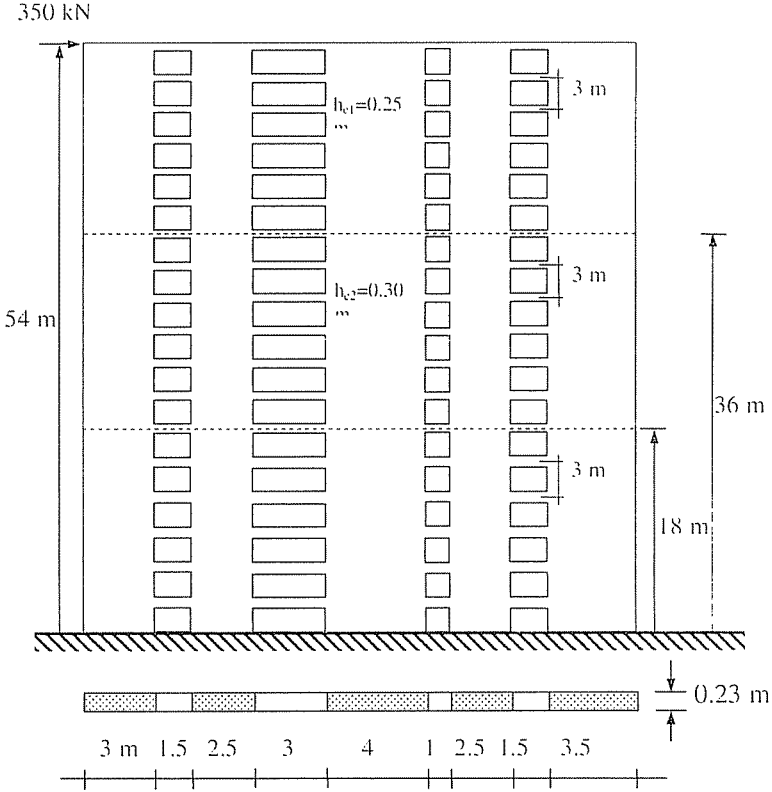
rijitlik matrisi bulunur. Bilindiği gibi boşluklu perdeler için serbest titreşim denklemi

$$\underline{M} \ddot{\underline{X}} + \underline{K} \underline{X} = \underline{0} \quad (21)$$

şeklinde yazılır. Sistem serbestlik derecesi mertebesinde olan bu denklemde, elde edilen kütle ve rijitlik matrisleri yerlerine konulur. Bu denklemin çözümünden elde edilen özdeğerler tek tek yerlerine konulup çözüm yapılarak her özdeğere karşı gelen özvektör elde edilir.

3. SAYISAL UYGULAMA

Sayısal uygulama için biri statik diğeri serbest titreşim olmak üzere iki örnek hazırlanmıştır. Hazırlanan örneklerde üç yöntemle de elde edilen değerler karşılaştırılmış, aralarındaki farklar oransal olarak sunulmuştur.



Şekil 5. Örneğe ait dört sıra boşluklu perde ve en kesiti

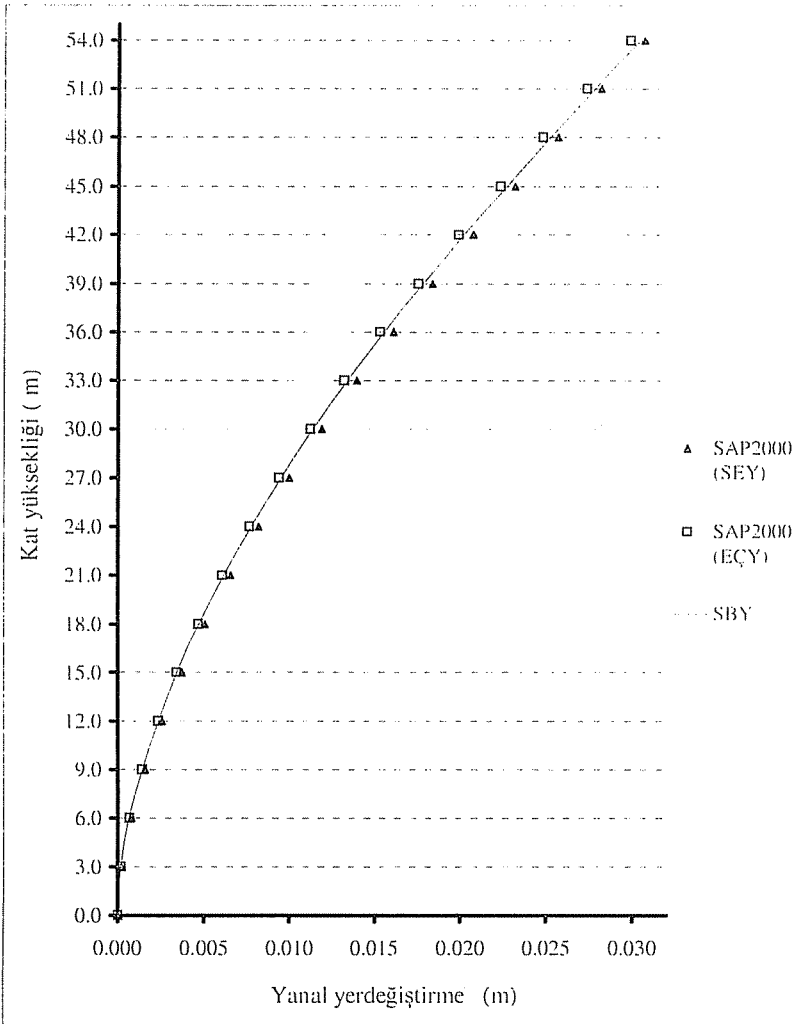
Birinci örnekte, Şekil 5'teki veriler kullanılarak üç bölgeli ve her bölgesinde birbirinden farklı bağlantı kirişi yüksekliğine sahip, rijit zemine oturan dört sıra boşluklu bir perde incelenmiştir. Toplam yüksekliği 54 m, kat yükseklikleri 3 m bağlantı kirişi yükseklikleri sırasıyla 0.25 m, 0.30 m, 0.35 m, kalınlığı 0.23 m ve elastisite modülü 2×10^7 kN/m² olan perdeye tepesinden yatay olarak 350 kN'luk bir yük etki etmektedir. Çizelge 1'de her bir kat hizasındaki yerdeğiştirme değerleri, Çizelge 2'de ise perde tabanı momentleri ile eksenel kuvvet değerleri verilmiş olup bu sonuçlar Şekil 6'da da grafik olarak sunulmuştur.

Çizelge 1. Örnek 1 için SAP2000 ve SBY ile elde edilen her bir kat hizasındaki yanal yerdeğiştirme değerlerinin karşılaştırılması

Kat No	Kat Yüksekliği (m)	SBY Yanal Yerd. (m)	SAP2000			
			EÇY		SEY	
			Yanal Yerd. (m)	% Fark (SBY ile)	Yanal Yerd. (m)	% Fark (SBY ile)
0	0.0	0.000000	0.000000	0.000	0.000000	0.000
2	6.0	0.000681	0.000682	0.147	0.000779	12.580
4	12.0	0.002337	0.002332	0.214	0.002561	8.747
6	18.0	0.004713	0.004675	0.811	0.005056	6.786
8	24.0	0.007774	0.007681	1.211	0.008215	5.368
10	30.0	0.011390	0.011249	1.253	0.011913	4.390
12	36.0	0.015519	0.015296	1.458	0.016069	3.423
14	42.0	0.020192	0.019860	1.672	0.020708	2.492
16	48.0	0.025217	0.024788	1.731	0.025648	1.680
18	54.0	0.030400	0.029847	1.853	0.030652	0.822

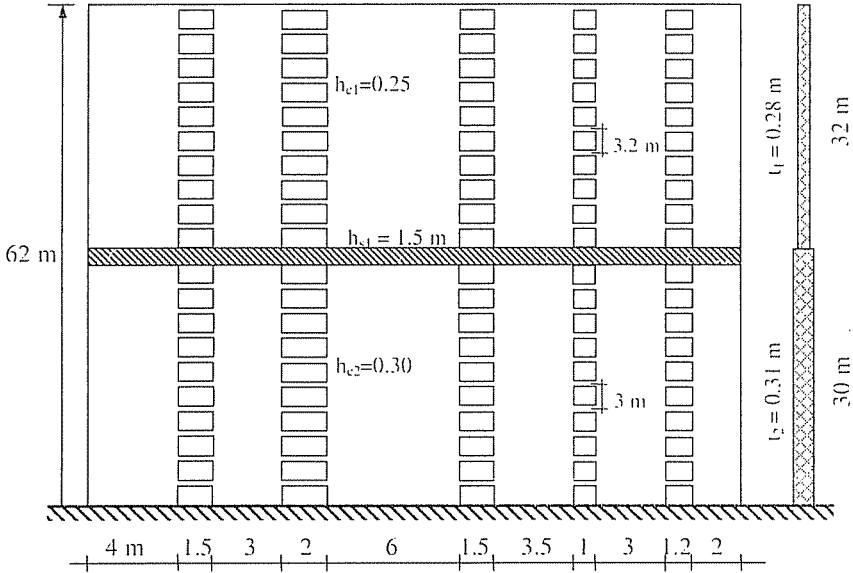
Çizelge 2. Örnek 1 için SAP2000 ve SBY ile bulunan perde tepesi yerdeğiştirmesi, perde tabanı momentleri ve eksenel kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

Büyüklikler	SBY	SAP2000			
		EÇY	SEY	EÇY % Fark (SBY ile)	SEY % Fark (SBY ile)
T1	635.35	632.20	639.32	0.500	0.620
T2	266.08	256.74	268.52	3.641	0.906
T3	1071.35	1051.91	1046.63	1.849	2.362
T4	368.32	358.94	368.72	2.614	0.109
T5	1072.31	1068.43	1048.71	0.363	2.250
M1	481.35	489.28	525.37	1.622	8.379
M2	278.55	283.15	321.58	1.624	13.382
M3	1140.97	1159.77	1149.09	1.621	0.707
M4	278.56	283.14	325.55	1.619	14.436
M5	764.36	776.95	800.55	1.621	4.521
y ₁₁ (m)	0.030399	0.029847	0.030652	1.849	0.825



Şekil 6. Örnek 1 için elde edilen yanal yerdeğiştirme değerlerinin karşılaştırılması

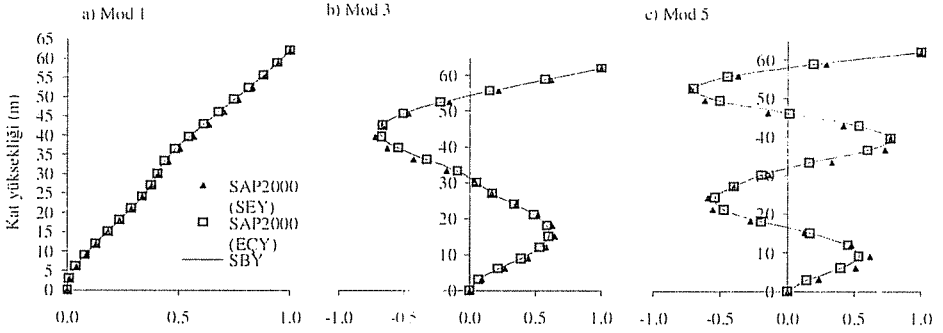
İkinci örnekte bölgeden bölgeye bağlantı kirişi yüksekliği, kat yüksekliği ve kalınlık değişiklikleri dikkate alınmaktadır. Yüksekliği 62 m, tepeden başlayarak her bölge için kalınlığı 0.28 m, 0.31 m, güçlendirici kiriş yüksekliği 1.5 m, kat yükseklikleri 3.2 m, 3.0 m, bağlantı kirişi yükseklikleri 0.25 m, 0.3 m ve elastisite modülü 2×10^7 kN/m² olan perdenin yoğunluğu 2400 kg/m³ olarak alınmıştır. Çizelge 3'te ilk on doğal frekans değerleri karşılaştırılmıştır. Sonlu elemanlar yönteminde özellikle yüksek modların doğal frekanslarının diğer iki yöntemden çok farklı çıkmasının nedeninin Bernoulli-Navier hipotezinin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, Şekil 7'de birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörleri grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 7. Örnek 2'ye ait beş sıra boşluklu perde ve en kesiti

Çizelge 3. Örnek 2 için SBY ile bulunan doğal frekans (Hz) değerlerinin SAP2000 programından elde edilenlerle karşılaştırılması

Mod	SBY	SAP2000			
		EÇY		SEY	
		Frekans (Hz)	% Fark (SBY ile)	Frekans (Hz)	% Fark (SBY ile)
1	1.93247	1.92849	0.20674	1.76851	9.27113
2	5.25465	5.24228	0.23587	4.96703	5.79067
3	13.88973	13.86649	0.16757	12.28473	13.06496
4	19.937296	19.90985	0.13786	18.04863	10.46432
5	34.62742	34.58799	0.11398	28.77169	20.35237
6	45.61065	45.55696	0.11786	37.43595	21.83650
7	65.69841	65.62809	0.10716	49.69326	32.20790
8	82.01674	81.90976	0.13061	59.89338	36.93791
9	106.21851	106.09175	0.11948	71.98985	47.54650
10	129.32017	129.09622	0.17347	83.43499	54.99513



Şekil 8. SAP2000 ve SBY ile bulunan birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin karşılaştırılması

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada ayrıntılı olarak tanıtılan SBY, iki bakımdan büyük kolaylık sağlamaktadır. Birincisi, data hazırlamasının çubuk elemanlar ve düzlemsel elemanlar ile hesap yapan diğer yöntemlere göre çok daha kolay olmasıdır. Ayrıca, değişik olasılıkları denemek için perdede bazı değişiklikler yapılması gerektiğinde yeni data hazırlanırken eskisinde bazı küçük değişiklikler yapılmasının yeterli olması da büyük kolaylık sağlamaktadır. İkinci kolaylık ise, burada verilen yöntemle yapılan çözüm süresinin diğer yöntemlere göre daha kısa olmasıdır. Bu iki kolaylık göz önüne alındığında kolayca görülebilir ki, bu yöntem öntasarım amacı ile çok etkin bir şekilde kullanılabilir. Perdenin özelliklerini ve güçlendirici kirişlerin yerlerini saptamada çok fazla sayıda olasılık, kısa bir süre içerisinde denenerek, sistem seçimi aşaması etkin bir şekilde ve kısa bir sürede tamamlanır.

5. SEMBOLLER

- a_j : j numaralı boşluk genişliği,
 $A_{j,i}$: i bölgesinde j numaralı duvarın alanı,
 b_j : j numaralı duvar genişliği,
 C_{chi}, C_{sbi} : i bölgesinde kiriş-duvar ve güçlendirici-duvar bağlantı rijitliği,
 E : elastisite modülü,
 F : esneklik matrisi,
 h_i : i bölgesindeki kat yüksekliği,
 G_i, H_i : yanal deplasman fonksiyonuna ait integrasyon sabitleri
 I_{si} : x_i yükseklikteki güçlendirici kirişin atalet momenti,
 $I_{c,i}$: i bölgesinin j numaralı boşluğundaki bağlantı kirişi atalet momenti,
 $I_{j,i}$: i bölgesinin j numaralı duvarının atalet momenti,
 I_i : i bölgesindeki duvarların atalet momentleri toplamı,

i	: bölgelerin ve bölgeler arası sınırların numaraları,
j	: açıklık ve duvar numaraları,
K	: rijitlik matrisi,
$L_{j,i}$: i bölgesinde j ve $(j+1)$ numaralı duvar eksenleri arasındaki uzaklık,
M	: kütle matrisi,
$M_{j,i}$: i bölgesinde j numaralı duvardaki eğilme momenti,
$M_c(x)$: daha üstte kalan yükün x yüksekliğine göre momenti,
m	: dikey doğrultudaki boşluk sıralarının sayısı,
n	: dikey doğrultuda bölge sayısı,
$q_{j,i}$: i bölgesinde j numaralı açıklıktaki kesme kuvveti akış fonksiyonu,
$Q_{j,i}$: i bölgesinin j numaralı boşluğundaki kesme kuvvetlerinin perde tepesinden itibaren toplamı,
T	: transformasyon matrisi,
$V_{j,i}$: x_i yükseklikteki güçlendirici kirişin j açıklığındaki kesme kuvveti,
x_i	: i bölgesinin üst noktasının yüksekliği,
X	: yerdeğiştirme vektörü,
\ddot{X}	: ivme vektörü
y_i	: i bölgesinde yatay yerdeğiştirme fonksiyonu,
δ_{ij}	: j ve $j+1$ numaralı duvar tabanlarının bağıl dikey yerdeğiştirmesi.

6. KAYNAKLAR

1. Arslan, H.M. ve Aksogan, O., "Dynamic Analysis of Stiffened Coupled Shear Walls by Continuous Connection Method", *Ç. U. J. Fac. Eng. Arch.*, 11(2), pp. 1-13, 1998.
2. Aksogan, O., Arslan, H.M. ve Choo, B.S., "Forced Vibration Analysis of Stiffened Coupled Shear Walls Using Continuous Connection Method", *Engineering Structures*, 25, pp. 499-506, 2003.
3. Aksogan, O., Turker, H.T. ve Oskouei, A.V., "Stiffening of Coupled Shear Walls at Arbitrary Number of Heights", *Advances in Civil Engineering, First Technical Congress, North Cyprus*, 2, pp. 780-787, 1993.
4. Elkholy, N.S. ve Robinson, N., "Analysis of Multi-bay Coupled Shear Walls", *Build. Sci.*, 8, pp. 153-157, 1973.
5. Koo, K.K. ve Cheung, Y.K., "The Static Analysis of Multi-bay Coupled Shear Walls", *Building and Environment*, 19(2), pp. 93-99, 1984.
6. Wilson, E.L., "SAP2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures", *Computers and Structures, Inc.*, 1-2, 1997.



FARKLI SIKILIKTAKİ KUMLU ZEMİNLERE OTURAN ŞERİT TEMELLER ALTINDA GERİLME ANALİZİ

Mustafa LAMAN ve M. Salih KESKİN
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : *Bu çalışmada, kumlu zeminler üzerine oturan şerit temellerden dolayı zemin içinde oluşan dikey gerilme değerleri, model deneyler yapılarak incelenmiştir. Deneylerde gerilme değerlerini bulmak için basınç transduceri kullanılmıştır. Deneyler, iki farklı sıklıkta hazırlanan kum zeminler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca deney düzeniği, sonlu elemanlar yöntemi ile modellenip, PLAXIS paket programı yardımıyla analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, mevcut teorik yöntemler ve deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır.*

STRESS ANALYSIS OF THE STRIP FOOTINGS RESTED ON SANDY SOILS WITH VARIOUS DENSITIES

ABSTRACT : *In this study, the induced vertical soil stress values of the strip footings on sandy soils were investigated by model tests. In the model tests pressure transducer was used to measure the stresses. Sand specimens with two different densities were prepared. Besides, tests were modelled by using the commercially available FE program, PLAXIS. The experimental results were compared with theoretical and numerical results.*

1. GİRİŞ

Yapı yükleri, zemin yüzeyine temellerle aktarıldığında, zemin içerisinde oluşan ilave gerilmelerden dolayı özellikle yükün etkidiği bölgeye yakın kısımlarda fazla olmak üzere, şekil değiştirmeler meydana gelir. Oluşan gerilmelerin şiddetinin ve dağılımının bilinmesi, birçok problemin çözümü ve projelerin tasarımında oldukça önemlidir. Gerilme değerlerine dayanılarak oturmalar daha gerçekçi hesaplanır (1).

Zeminin karmaşık yapısından dolayı, zemin içerisinde gerçekçi gerilme-deformasyon analizleri yapmak oldukça zordur. Zeminlerdeki gerilme artımı problemi genellikle zeminin lineer elastik ve yarı sonsuz bir ortam olduğu kabulüyle elastik çözümlerle bulunmaya çalışılmaktadır (1). Elastisite teorisinden yararlanarak elde edilen bu çözümlerde, düşey gerilme dağılımları zeminin malzeme özelliklerinden bağımsızdır. Ayrıca zeminin türü ve sıklık gibi parametreler dikkate alınamamakta, her cins zemin için aynı gerilme dağılımları elde edilmektedir (2).

Zeminler için gerilme analizinde, zemin cinsinin ve onun aktaracağı gerilmelerin önemi büyüktür. Bu yüzden, zeminlerde ilave yüklerden dolayı oluşan düşey ve yatay gerilme değerlerinin deneysel yollarla bulunması ve bulunan değerlerin teorik çözümler ile karşılaştırılması zorunluluğu vardır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Zeminlerde oluşan düşey gerilmelerin tahmini ve tespiti için birçok laboratuvar düzenekleri ve deney teknikleri geliştirilmiş, ayrıca zeminin elastik bir malzeme gibi davrandığı kabul edilip elastisite teorisinden yararlanılarak çok sayıda teorik çalışma yapılmıştır.

Terzaghi (3) tarafından yapılan çalışma, zeminlerde oluşan gerilmelerin belirlenmesi amacıyla yapılan ilk deneysel çalışmalardan biri olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada, kum ve kil numunelerde düşey yüklerden dolayı oluşan gerilmeler, oluşturulan deney düzeneğiyle ölçülmüştür.

Scheidig ve Kögler (4) tarafından kumlu zeminlerde basınç dağılımına ait laboratuvar model deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmada, bir kum dolgusunun yüzeyine bir yük konulmuş ve bu yükün belli derinliklerde bulunan yatay düzlemlerin çeşitli noktalarında meydana getirdiği basınçlar, bu noktalara yerleştirilmiş bulunan ölçme aletleri yardımıyla ölçülmüştür.

Kjellman (5), üç eksenli deney aletine benzeyen bir deney aleti yaparak kumlu zeminlerde meydana gelen gerilmeleri ölçmüştür.

Sağlamer (2), kumlu zeminlerde düşey ve yatay gerilmeleri ölçmek amacıyla bir düzenek geliştirmiştir. Gerilmeleri ölçmek için üç adet transducer kullanılmış ve yüksek gerilmeler altında ölçümler alınmıştır.

Hanna ve Ghaly (6) yaptıkları deneysel çalışmada, kumlu zeminlerde yatay ve düşey gerilmeleri, gerilme transducerleri kullanarak ölçmüşlerdir. Çalışmada, sıklığın artmasına bağlı olarak deneysel ve teorik K_0 değerlerinin azaldığı, deneysel olarak ölçülen ilave gerilmelerin teorik değerlerden oldukça büyük olduğu görülmektedir.

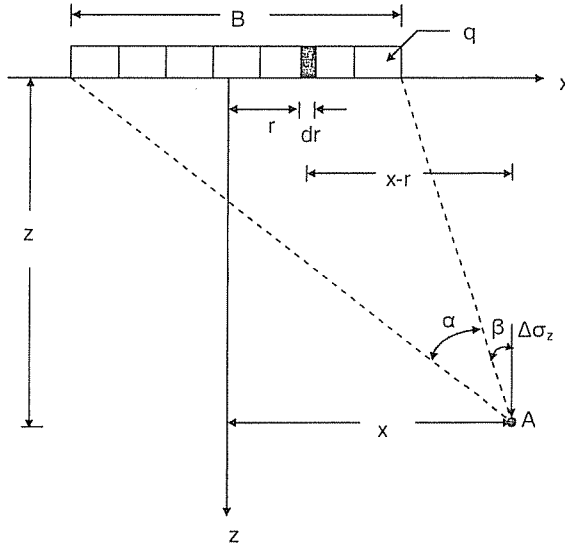
Cho ve Vipulanandan (7) yaptıkları deneysel çalışmada, kumlu zeminlerde gerilme dağılımını belirlemek amacıyla, basınç transducerleri kullanmış ve ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Deneyler 24inch uzunluk, 20inch genişlik ve 36inch yüksekliğinde metal bir kasa içerisinde yapılmıştır. Çalışmada çapı 3.5 inch, kalınlığı 1

inch olan diyafram tipi transducerler kullanılmıştır. Deneyde kullanılan kum sıklık derecesi $D_r = 70\%$ olacak şekilde kasa içerisine yerleştirilmiş ve rijit bir plaka ile yük uygulanmıştır. Sonuçlardan, deneysel ölçümlerin teorik hesapla uyum içinde olduğu görülmüştür.

Hanna ve Soliman-Saad (8), basınç transducerleri kullanarak kumlu zeminlerde yatay ve düşey gerilmeleri ölçmüş ve kompaksiyonun gerilme değerlerine etkisini incelemiştir. Bu amaçla metal bir kasa içerisine, çeşitli derinliklere transducerler konmuş ve kum numunelerde oluşan gerilmeler, değişik sıklıklarda ölçülmüştür. Çalışmada teorik değerlerin, deneysel yolla ölçülen gerilme değerlerine çok yakın olmadığı görülmüştür. Çalışmada elde edilen önemli sonuçlardan birisi de, kum numunelerin sıklığının artırılmasına, K_0 değerlerinin, Jaky (9) formülüne göre azalırken, deneysel ölçümlere göre artmasıdır.

Yapılardan zemine aktarılan yükler temeller vasıtasıyla aktarıldığı için, tekil yük için elde edilen gerilme dağılımları birçok inşaat mühendisliği probleminde gerçekçi olmamaktadır (2). Fakat, tekil yük çözümlerinin integrali alınarak yayılı yüklerin zeminlerde yolaçaacağı gerilme dağılımlarını bulmak mümkün olmaktadır. Bu amaçla dikdörtgen bir alanın üzerine gelen yayılı yük için tüm alan çok küçük alanlara ayrılır. Her bir alana gelen yayılı yük, tekil kuvvet gibi düşünülür. Bu tekil kuvvetlerin toplamı ve bunların oluşturduğu gerilmelerin toplamı, yayılı yükler altındaki gerilmeleri verir.

Şekil 1'de görülen üniform şerit yükten dolayı oluşan ilave düşey gerilmeler, (1) denkleminde verilen Boussinesq (10) ifadesi yardımıyla hesaplanmaktadır. Ayrıca üniform şerit yükten dolayı oluşan ilave düşey gerilme değerleri Jurgenson (11) tarafından x , z , B ve q değerlerine bağlı olarak tabloleştirilmiştir.



Şekil 1. Üniform Şerit Yük

Üniform şerit yükten dolayı oluşan ilave düşey gerilmeler Şekil 1'de gösterilen α ve β açıları cinsinden basitleştirilmiş olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

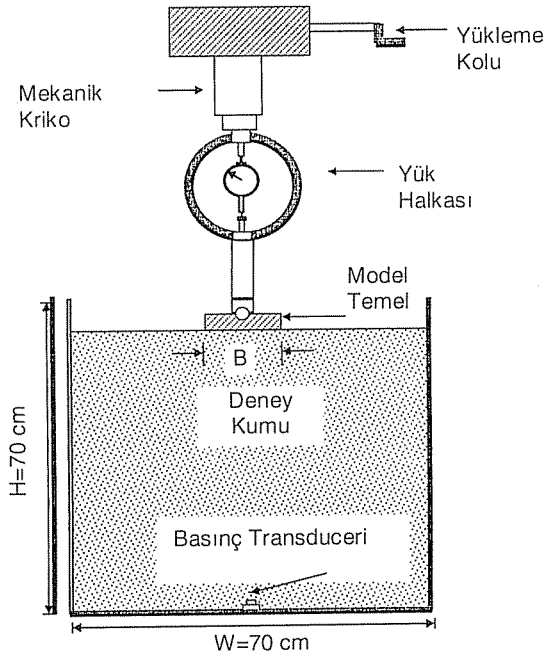
$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi z} [\alpha + \sin \alpha \cdot \cos(\alpha + 2\beta)] \quad (1)$$

Burada, $\Delta\sigma_z$ ilave düşey gerilmeyi, q uygulanan düşey gerilmeyi, α ve β yükün yayılma açılarını, z ise derinliği göstermektedir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışma, farklı sıklıktaki kum zeminlere yerleştirilen model temel plakasının yüklenmesi sonucu, zemin içinde oluşan ilave düşey gerilmelerin ölçülmesi ve bulunan değerlerle, sıklık etkisinin araştırılmasını içermektedir.

Kumlu zeminlerde gerilme ölçümü ile ilgili yapılan deneysel çalışmalar, Şekil 2'de verilen, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarındaki 70cm x 70cm genişliğinde ve 70cm yüksekliğindeki kare kesitli deney kasası içerisinde gerçekleştirilmiştir. Deney kasası iskeleti çelik profillerden olup, ön ve arka yüzeyi 8mm kalınlığında cam, yan yüzeyler ile alt taban ise, 20mm kalınlığındaki ahşap malzemeden imal edilmiştir.



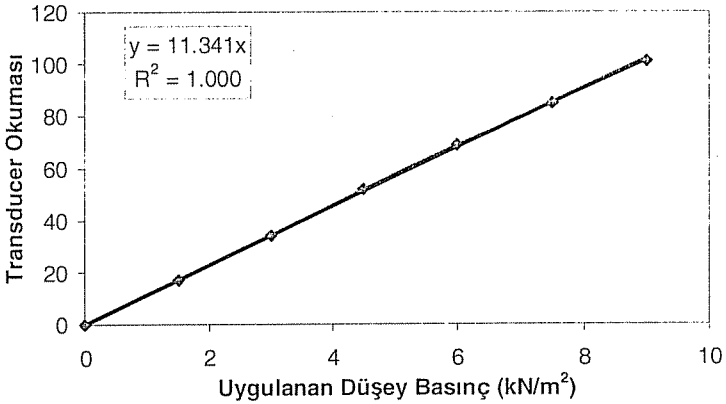
Şekil 2. Deney Düzenegi

DeneySEL çalışmada model temel olarak, 20mm kalınlığında, genişliği 7.5cm, uzunluğu 41.25cm olan rijit şerit temel plaka kullanılmıştır. Deney sırasında, yükleme nedeniyle oluşacak temel tabanındaki basınç dağılımının üniform olarak gerçekleşmesine dikkat edilmiştir.

Deneylerde kullanılan yükleme sistemi, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı'ndaki yükleme iskeletine, 45kN kapasiteli mekanik krika monte edilerek oluşturulmuştur. Deneylerde model temel plakalarına uygulanan yük değerlerini okumak için 10kN kapasiteli yük halkası kullanılmıştır.

Herhangi bir malzeme üzerinde, yüklemelerden dolayı meydana gelen gerilmeleri ölçmek için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler mekanik, optik ve elektriksel teknikler üzerine kurulu deneysel yöntemlerdir. Bu yöntemlerin çoğunda gerilme doğrudan ölçülememektedir. Gerilmeler, malzemenin deformasyon gibi ölçülebilir parametreleri üzerinden hesaplanmaktadır. Çalışmada kullanılan basınç transducerinin diğer yöntemlere göre üstünlüğü, ölçümlerin doğrudan yapılabilmesidir. Yükleme nedeniyle temel plakası merkezinde meydana gelen düşey ve yatay gerilmeleri ölçmek için 10bar kapasiteli diyafram tipi basınç transduceri kullanılmıştır.

Uygulanan düşey basınçlardan dolayı transducerde oluşacak gerilmeleri hesaplayabilmek için, transducerin önceden kalibrasyonunun yapılması gerekmektedir. Bunun için transducer üzerinde, değeri bilinen basınçlar oluşturmak sureti ile, meydana gelen gerilmeler hesaplanmıştır. Bu amaçla, model kasa merkezine yerleştirilen transducer üzerine 10'ar cm'lik kum tabakaları serilmiş ve strain indikatör yardımı ile her tabaka altında okuma alınmıştır. Kum numune gevşek halde birim hacim ağırlığı $\gamma_k=15.0$ kN/m³ olacak şekilde tartılarak hazırlanmıştır. Alınan bu okumalar, $\gamma.z$ değerleri ile karşılaştırılarak Şekil 3'de görülen kalibrasyon eğrisi çıkarılmıştır.



Şekil 3. Basınç Transduceri Kalibrasyon Eğrisi

Gerilme analizi uygulamalarında transducerlerin doğru bir şekilde monte edilmesi çok büyük önem taşır. Hatalı monte işlemi, tamamen hatalı sonuçların alınmasına yol açmaktadır. Bu çalışmada transducer, deneylerin yapıldığı kasanın merkezine gelecek şekilde monte edilmiştir. Deneyler sırasında transducerde meydana gelen değişimlerin dolayısıyla gerilmelerin okunması için portatif, dijital strain indikatör kullanılmıştır.

Kum numuneler kasa içerisinde tabakalar halinde ve belirlenen sıklık oranlarında yerleştirilmiştir. Bu amaçla deney kasasının cam duvar yüzeyleri ölçeklendirilmiştir. Her bir kum tabakası, elektrikle çalışan titreşim cihazı ile önceden belirlenen derinliğe kadar sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma sırasında üniform sıklık elde etmek ve kum danelerinin ezilmesini önlemek amacıyla titreşim cihazının uç kısmına 13cm x 13cm boyutlarında ve 20mm kalınlığında merlin malzemeden imal edilen plaka monte edilmiştir.

Deneyisel çalışmalarda, Çukurova Bölgesi, Seyhan nehir yatağından getirilen kum numuneler kullanılmıştır. Kum numuneler üzerinde yapılan elek analizi ve piknometre deneyleri sonucunda, kullanılan kumun zemin sınıfı, kötü derecelenmiş ince ve temiz kum (SP) ve dane birim hacim ağırlığı da $\gamma_s=26.8 \text{ kN/m}^3$ olarak bulunmuştur.

Ayrıca $\gamma_k=17.1 \text{ kN/m}^3$ olacak şekilde hazırlanan kum numuneler üzerinde yapılan kesme kutusu ve drenajlı üç eksenli basınç deneyleri sonucunda, kayma mukavemet açısı $\phi=41^\circ$ ve kohezyon $c=0 \text{ kPa}$ olarak bulunmuştur (12).

4. DENEY SONUÇLARININ, TEORİK ve NÜMERİK ÇÖZÜMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

Şerit temel altında oluşan ilave gerilmelerin bulunması ile ilgili olarak literatürde en çok rastlanan elastik çözümler, Boussinesq ve Jurgenson çözümleridir. Çalışmada, deneyler sonucunda bulunan ilave düşey gerilme değerleri bu iki çözümle karşılaştırılmıştır.

Ayrıca çalışmada, PLAXIS bilgisayar programı kullanılarak, deneysel çalışmada izlenen programa benzer şekilde farklı derinliklerde gerilme analizleri yapılmıştır. PLAXIS paket programı, zeminlerin deformasyon analizleri için kullanılan güçlü ve kullanışlı bir sonlu eleman programıdır. Geoteknik mühendisliği projelerinde kompleks problemleri sonlu elemanlar yöntemi ile çözebilmek için geliştirilmiş, deformasyon analizleri, stabilite analizleri, zamana bağlı davranışlar ve yapı ile zemin arasındaki ilişkiyi modelleyebilmektedir. Program, zeminler için geliştirilmiş farklı modeller kullanabilme olanağı tanımaktadır. Program, sonlu eleman olarak 6 düğüm noktalı veya 15 düğüm noktalı üçgen elemanlar kullanabilmektedir.

Nümerik çalışmada, deneysel çalışmadaki deney düzeneği, yükleme koşulları ve malzeme özellikleri PLAXIS bilgisayar programında modellenerek sayısal çözümler yapılmıştır. Bu analizlerde temel elemanı olarak Lineer Elastik malzeme, zemin için ise Lineer Elastik, Mohr-Coulomb ve Hardening-Zemin modelleri ayrı ayrı kullanılmıştır.

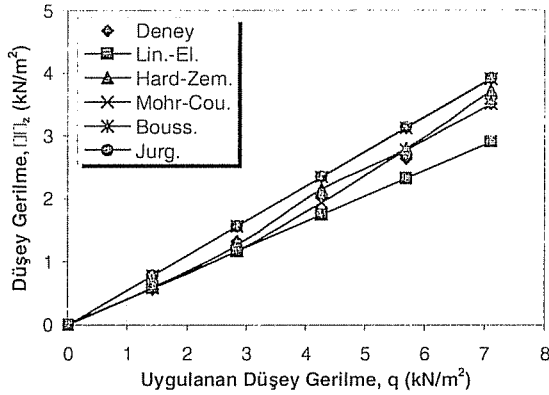
Çalışmada, 7.5 cm genişliğindeki şerit temel altında, iki farklı sıklıkta ($\gamma_k=15.0 \text{ kN/m}^3$ ve 17.1 kN/m^3) hazırlanan kum zemin koşullarında deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları, teorik ve nümerik çözümler Çizelge 1 ve Çizelge 2'de toplu halde gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4, 5, 6, 7, 8 ve 9'da sırasıyla $z=1B$, $z=1.5B$ ve $z=2B$ derinliklerinde elde edilen sonuçlar grafik olarak karşılaştırılmıştır.

Çizelge 1. 7.5 cm Genişliğindeki Şerit Temelde Düşey Gerilmeler ($\gamma_k=15.0 \text{ kN/m}^3$)

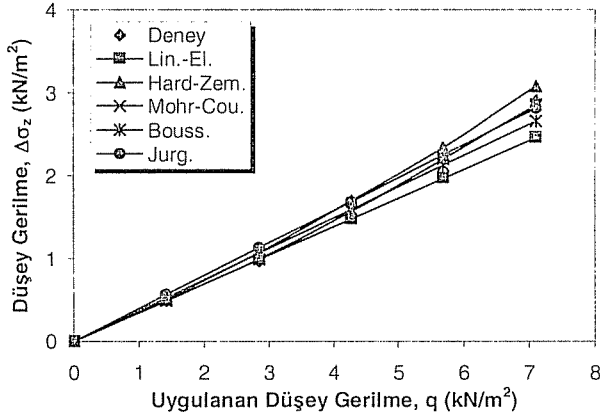
z (m)	q (kN/m ²)	$\Delta\sigma_z$ (kN/m ²)					
		Deney	Bouss.	Jurg.	LE	HZ	MC
0.075 (1B)	1.422	0.439	0.782	0.783	0.581	0.595	0.580
	2.844	1.318	1.564	1.566	1.162	1.261	1.172
	4.267	2.197	2.347	2.350	1.743	2.153	1.938
	5.689	2.636	3.129	3.134	2.324	2.798	2.766
	7.111	3.515	3.911	3.917	2.905	3.723	3.508
0.1125 (1.5B)	1.422	0.483	0.531	0.562	0.492	0.505	0.487
	2.844	0.967	1.063	1.125	0.983	1.071	0.988
	4.267	1.670	1.594	1.687	1.475	1.700	1.569
	5.689	2.197	2.125	2.249	1.966	2.332	2.194
	7.111	2.900	2.657	2.812	2.458	3.084	2.854
0.150 (2B)	1.422	0.352	0.435	0.434	0.379	0.384	0.389
	2.844	0.747	0.870	0.867	0.757	0.799	0.780
	4.267	1.230	1.306	1.301	1.136	1.254	1.223
	5.689	1.714	1.741	1.735	1.514	1.730	1.707
	7.111	2.197	2.176	2.169	1.893	2.312	2.242

Çizelge 2. 7.5 cm Genişliğindeki Şerit Temelde Düşey Gerilmeler ($\gamma_k=17.1 \text{ kN/m}^3$)

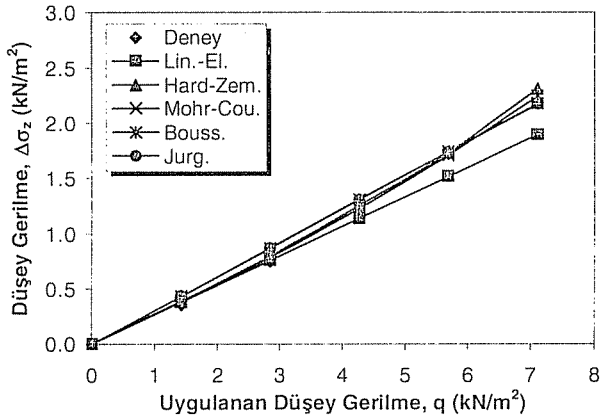
z (m)	q (kN/m ²)	$\Delta\sigma_z$ (kN/m ²)					
		Deney	Bouss.	Jurg.	LE	HZ	MC
0.075 (1B)	1.422	0.615	0.782	0.783	0.581	0.611	0.617
	2.844	1.494	1.564	1.566	1.162	1.378	1.230
	4.267	2.461	2.347	2.350	1.743	2.234	1.989
	5.689	3.076	3.129	3.134	2.324	2.917	2.724
	7.111	3.691	3.911	3.917	2.905	3.730	3.517
0.1125 (1.5B)	1.422	0.527	0.531	0.562	0.492	0.506	0.489
	2.844	1.055	1.063	1.125	0.983	1.089	0.996
	4.267	1.758	1.594	1.687	1.475	1.777	1.587
	5.689	2.373	2.125	2.249	1.966	2.380	2.195
	7.111	3.076	2.657	2.812	2.458	3.116	2.864
0.150 (2B)	1.422	0.439	0.435	0.434	0.379	0.387	0.389
	2.844	0.791	0.870	0.867	0.757	0.802	0.785
	4.267	1.318	1.306	1.301	1.136	1.264	1.286
	5.689	1.758	1.741	1.735	1.514	1.738	1.782
	7.111	2.373	2.176	2.169	1.893	2.323	2.251



Şekil 4. $z=1B=7.5$ cm Derinliğinde Düşey Gerilme Artışı ($\gamma_k=15.0$ kN/m³)

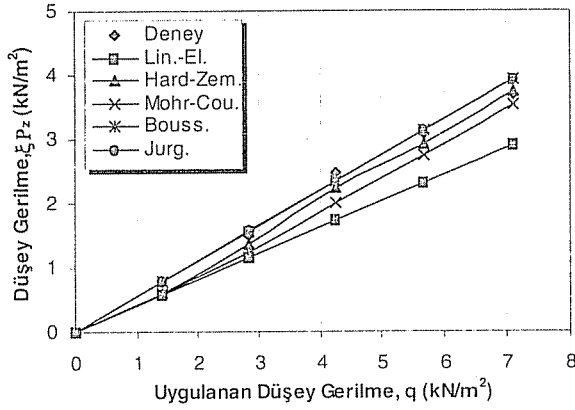


Şekil 5. $z=1.5B=11.25$ cm Derinliğinde Düşey Gerilme Artışı ($\gamma_k=15.0$ kN/m³)

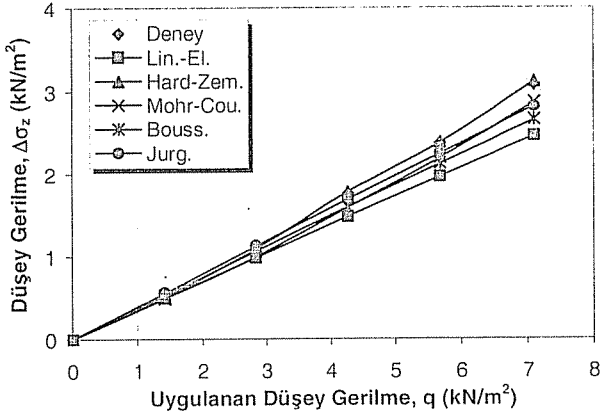


Şekil 6. $z=2B=15$ cm Derinliğinde Düşey Gerilme Artışı ($\gamma_k=15.0$ kN/m³)

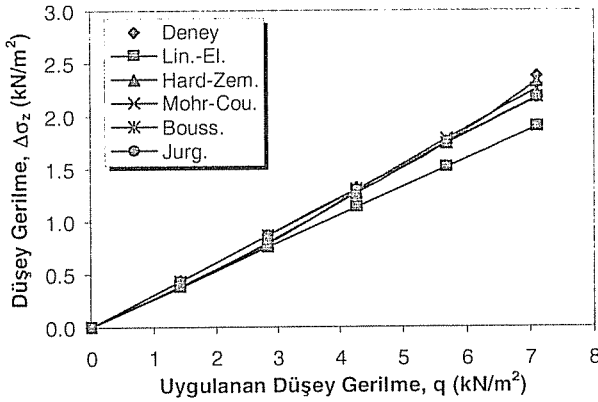
FARKLI SIKILIKTAKİ KURLU ZEMİNLERE OTURAN
ŞERİT TEMELLER ALTINDA GERİLME ANALİZİ



Şekil 7. $z=1B=7.5$ cm Derinliğinde Düşey Gerilme Artışı ($\gamma_k=17.1$ kN/m³)



Şekil 8. $z=1.5B=11.25$ cm Derinliğinde Düşey Gerilme Artışı ($\gamma_k=17.1$ kN/m³)



Şekil 9. $z=2B=15$ cm Derinliğinde Düşey Gerilme Artışı ($\gamma_k=17.1$ kN/m³)

Çizelge 1’de verilen değerler incelendiğinde, deney sonuçlarının, Hardening Zemin, Mohr-Coulomb sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Boussinesq ve Jurgenson sonuçları tam bir uyum içerisinde olup bazı noktalarda deney sonuçlarıyla yaklaşıklık göstermektedirler. Lineer Elastik malzeme kabulüyle yapılan analiz sonuçları ise diğer çözümlere göre daha düşük değerler vermektedir.

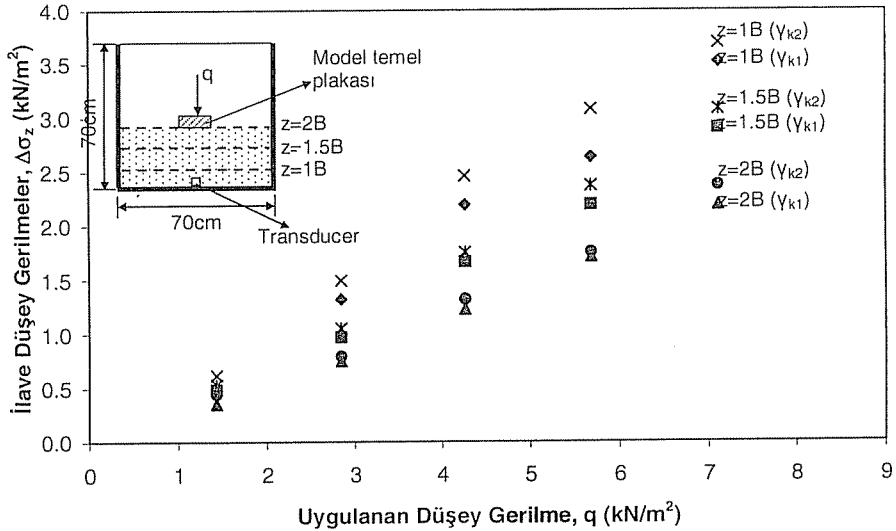
Çizelge 2’de ise sıklığın artmasına rağmen Boussinesq, Jurgenson ve Lineer Elastik sonuçlarında herhangi bir değişiklik gözlenmezken, deney, Hardening-Zemin ve Mohr-Coulomb model analiz sonuçlarının değiştiği ve sonuçların birbirine daha fazla yakınlaştığı gözlenmektedir.

4.1. Şerit Temelde Farklı Sıklıktaki Düşey Gerilmelerin Karşılaştırılması

Aşağıda, iki farklı sıklıkta, aynı yükleme kademeleri altında $B=7.5\text{cm}$ ’lik şerit temelin merkezinde üç farklı derinlikte, ölçülen düşey gerilme değerleri dağılımı görülmektedir.

Çizelge 3. Şerit Temelde Farklı Sıklıklarda Ölçülen Düşey Gerilme Değerleri

q (kN/m ²)	$\Delta\sigma_z$ ($\gamma_{k1}=15.0\text{ kN/m}^3$)			$\Delta\sigma_z$ ($\gamma_{k2}=17.1\text{ kN/m}^3$)		
	z=1B	z=1.5B	z=2B	z=1B	z=1.5B	z=2B
1.422	0.439	0.483	0.352	0.615	0.527	0.439
2.844	1.318	0.967	0.747	1.494	1.055	0.791
4.267	2.197	1.670	1.230	2.461	1.758	1.318
5.689	2.636	2.197	1.714	3.076	2.373	1.758
7.111	3.515	2.900	2.197	3.691	3.076	2.373



Şekil 10. Şerit Temelde Farklı Sıklıklarda Düşey Gerilme Dağılımı

Çizelge 3 ve Şekil 10'dan görüldüğü gibi, üç farklı derinlik için ölçülen gerilme değerlerinin tümünde, zemin sıklığının artmasıyla aynı yük altında zeminde ölçülen düşey gerilme değerleri artmaktadır.

5. SONUÇ

Deneysel, teorik ve nümerik çalışmalar sonunda, taban alanından z derinliğinde bulunan yatay düzlemlerdeki gerilme dağılışının aynı karakteristik şekli gösterdiği, ölçüm derinliğinin artmasıyla temel plakası merkezinin altındaki basıncın da azaldığı ve kum numunenin herhangi bir noktasındaki gerilme değerinin uygulanan yük ile orantılı olarak arttığı görülmüştür.

Deney sonuçlarının, Hardening Soil ve Mohr-Coulomb model sonuçlarıyla uyum içinde olduğu, bazı yük değerlerinde Boussinesq ve Jurgenson sonuçlarıyla da yaklaşıklık gösterdiği, Lineer Elastik sonuçlarının ise diğerlerine göre daha düşük değerler verdiği gözlenmiştir.

Literatürdeki mevcut çözümlerde ilave düşey gerilmeler hesaplanırken, zeminin sıklık durumunun gözönüne alınmadığı, her sıklık değeri için aynı sonuçların elde edildiği görülmüş, oysa deney sonuçlarından, sıklık değerinin artmasıyla eşit derinliklerde ve aynı yükler altında, ilave düşey gerilme değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Uzuner, B.A., "Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği", Teknik Yayınevi, Ankara, 376s, 1998.
2. Sağlamer, A., "Kohezyonsuz Zeminlerde Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısının Zemin Parametreleri Cinsinden İfadesi", Ph.D. Thesis in Civil Engineering, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1972.
3. Terzaghi, K., "Old Earth Pressure Theories and New Test Results", *Engrg. News-Rec.*, 85 (14), 632-637, 1920.
4. Scheidig and Kogler, "Die Verteilung Senkrechter Drücke in Schüttungen", *Dissertation, Freiberg*, 1926.
5. Kjellman, W., "Report on an Apparatus for the Determination of the Coefficient of Lateral Earth Pressure at Rest", *Proc. 1st Int. Conf. on Soil Mech. And Fnd. Engrg.*, Harvard Printing Office, Cambridge, Mass. 2, 16-20, 1936.
6. Hanna, A. and Ghaly, A., "Effects of K_0 and Overconsolidation on Uplift Capacity", *Journal of Geotechnical Engineering*, 118 (9), 1449-1469, 1992.
7. Cho, S., and Vipulanandan, C., "Verification of Stress Distribution in a Soil Box", *CIGMAT-Department of Civil and Environmental Engineering University of Houston, Texas*, 77204-4003, 1998.
8. Hanna, A.M. and Soliman-Saad, N., "Effect of Compaction Duration on the Induced Stress Levels in a Laboratory Prepared Sand Bed", *Geotechnical Testing Journal*, 24 (4), 430-438, 2001.
9. Jaky, J., "Pressure in Soils", *Proc. 2nd Conf. On Soil Mech. And Found. Engrg.*, A. A. Balkema, Rotterdam, the Netherlands, 1, 103-107, 1948.
10. Boussinesq, J., "Application des Potentiels a L'etude de L'equilibre et du Movement des Solids Elastiques", *Gauthier-Villars, Paris*, 1885.

11. Jurgenson, L., "The Application of Theories of Elasticity and Plasticity to Foundation Problems", *Contributions to Soil Mechanics, 1925-1940, Boston Society of Civil Engineers, 1934.*
12. Yıldız, A.A., "Donatılı Zemine Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi", *Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2002.*

ÇAĞDAŞ PROJE YÖNETİMİ UYGULAMALARI KAPSAMINDA TÜRKİYE'DEKİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ EĞİTİM PROGRAMLARININ İRDELENMESİ

M. Emin ÖCAL, Ömer Latif ÖMÜR ve Ercan ERDİŞ
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Kaynakların iyi yönetilerek verimli ve etkin kullanılmaları konusunda gerekli bilincin oluşturulmasında eğitimin payı büyüktür. Bu bağlamda yüksek öğretim kurumlarında lisans ve yüksek lisans düzeyinde verilen meslek bilgilerinin "Proje Yönetimi" kapsamına giren derslerle desteklenmesi önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye ve gelişmiş ülkelerin inşaat mühendisliği bölümlerinde verilen proje yönetimi ile ilgili derslerin çeşitliliği araştırılarak bu bağlamda Türkiye'deki eğitim profilinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

A RESEARCH ON CIVIL ENGINEERING EDUCATION PROGRAMS IN TURKEY WITHIN CONTEXT OF CONTEMPORARY PROJECT MANAGEMENT APPLICATIONS

ABSTRACT : The role of education in creating the conscience about the efficient and effective usage of resources, is very important. At this point, it becomes vital to support the undergraduate or postgraduate education with "The Project Management" courses.

In this research, the number and the extent of project management courses in the Civil Engineering departments in Turkey and in developed countries (USA and Britain) have been compared. At this point, to analyze the education profile in Türkiye was aimed.

1. GİRİŞ

Üretime giren her türlü kaynağın tamamına yakınının miktarı sınırlı (kıt) olduğundan, israf edilmeden özenle kullanılması gerekmektedir. Ayrıca, serbest piyasa koşullarında bir ürünün fiyatının arzu edilen herhangi bir düzeyde belirlenmesi mümkün olamayacağına göre, kâr düzeyini koruyarak rekabet edebilmenin en etkin ve akılcı yolu üretim maliyetini azaltmaktır. Üretim maliyetinin azaltılmasına yönelik çabalar içerisinde katma değeri en yüksek olanı ise, üretime giren kaynakların verimli ve etkin kullanılması yönünde sağlanan başarıdır.

Belirtilen nedenle gelişmiş ülkelerde, üretim sürecinin her düzeyinde görev üstlenmekte olan mühendislere, lisans ve/veya yüksek lisans öğrenimleri sürecinde, yönettikleri kaynakları verimli ve etkin kullanmalarına yardımcı olacak araçları kullanabilme donanımı kazandıran çeşitli dersler verilmektedir. Son yıllarda ülkemizde de bu konudaki eksiklik fark edilmiş olup, bunun telafisine yönelik bazı gayretler gözlenmektedir. Ancak, ders programlarında belirtilen konulara yönelik olarak hangi derslerin yer almasının uygun olacağı ile ilgili çeşitli platformlarda akademik tartışmalar yapılmasına rağmen bunların sonuçlarının uygulamaya yeterince yansımalarını söylemek güçtür.

Bu çalışmada, bir kıyaslama zemini oluşturarak bu konuda bir perspektif kazandırmak amacıyla, ülkemiz ve bazı gelişmiş ülke üniversitelerinin inşaat mühendisliği bölümleri ders programlarında, proje yönetimine yönelik olarak verilen derslerin çeşitliliği araştırılmıştır. Literatürde konu ile ilgili olarak bu ayrıntıda çalışmaya rastlanılmamıştır (1-5).

Belirtilen amaç doğrultusunda, ülkemiz ile ABD ve İngiltere'deki üniversitelerin inşaat mühendisliği bölümlerinin programlarında yer alan proje yönetimi ile ilgili derslerin çeşitliliği hakkında bilgi toplanmış ve bunlar analiz edilerek yorumlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

Bu amaç ve kapsamda bir çalışma olmadığından, kaynak olarak basılı doküman yerine internet olanağı kullanılmıştır. Çalışmada, gelişmiş ülkeler kapsamında başlangıçta ABD, İngiltere, Fransa, Almanya, Rusya ve Japonya olmak üzere 6 ülkedeki üniversitelerin araştırılması hedeflenmiştir. Araştırma, her ülkedeki üniversitelerin web sitesine girilip inşaat mühendisliği sayfasından lisans ve yüksek lisans programlarında proje yönetimine yönelik verilen dersler ile ilgili bilgilerin toplanması şeklinde yapılmıştır. İnternet aracılığı ile ulaşılan inşaat mühendisliği bölümlerinde proje yönetimi ile ilgili derslerin isimleri, hangi dönemde verildiği ve kaç kredi olduğu araştırılmıştır. Ancak, her üniversitenin ilgili sayfasında üniversite ile ilgili bilgiler yeterince detaylı verilmemiştir. Bu durumdaki üniversitelerin ilgili birimlerine elektronik posta gönderilerek bilgi edinilmeye çalışılmasına rağmen Fransa, Almanya, Rusya ve Japonya üniversitelerinin çoğundan cevap alınamamıştır. Bu nedenle, ders programları incelenen gelişmiş ülkeler, Amerika Birleşik Devletleri ve İngiltere ile sınırlandırılmak zorunda kalmıştır (Ek 1, 2, 3).

Bir yüksek lisans tez çalışması kapsamında yürütülen bu çalışmada (6), Amerika Birleşik Devletleri'nde 685, İngiltere'de 140 ve Türkiye'de de 74 olmak üzere toplam 899 üniversitenin programı incelenmiştir. ABD'deki 685 üniversitenin 167 tanesinde, İngiltere'deki 140 üniversitenin 40 tanesinde ve Türkiye'deki 74 üniversitenin 38

tanesinde inşaat mühendisliği bölümü olduğu tespit edilmiştir. Toplam 245 üniversitenin inşaat programlarında yer alan dersler incelenmiştir.

Derslerin kredi saatleri ve içerikleri konusunda toplanan bilgiler arasında genellenebilir bir benzerlik tespit edilemediğinden, bu amaçla toplanan bilgiler çalışmaya konulmamıştır. Bu şekilde elde edilen bilgilere dayalı olarak öncelikle söz konusu ülkelerde bulunan üniversitelerin inşaat mühendisliği bölümlerinde proje yönetimine yönelik lisans ve yüksek lisans programlarında verilen derslerin yer aldığı tablolar oluşturulmuştur. Bu bilgiler aracılığı ile Türkiye'deki inşaat mühendisliği eğitiminde proje yönetimine yönelik olarak verilen eğitimin düzeyi vurgulanarak bu konuda yapılabilecek iyileştirmeler konusunda öneriler sunulmuştur.

3. TÜRKİYE VE GELİŞMİŞ ÜLKE ÜNİVERSİTELERİNİN İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMLERİNDE PROJE YÖNETİMİ ÜZERİNE VERİLEN EĞİTİMİN KARŞILAŞTIRILMASI

Kıyaslanabilir değerler elde edebilmek için, ABD, İngiltere ve Türkiye'deki üniversitelerin inşaat mühendisliği bölümlerinde proje yönetimi kapsamına giren dersler ayrı gruplar altında toplanarak özetlenmiştir. Dersler öncelikle lisans ve yüksek lisans eğitim programları esas alınarak gruplandırılmıştır. Bu gruplar oluşturulurken, bir gruba girip girmediği konusunda tereddüde düşülen dersler değerlendirme dışı bırakılmıştır. Ders grupları lisans ve yüksek lisans programları için ayrı ayrı düzenlenmek şartı ile "Proje ve Yapı Yönetimi", "Plan ve İş Programı", "Sözleşme ve Hukuk", "Yapı Maliyeti ve Keşfi", "Ekonomi", "Sosyal Davranışlar" adı altında 6 ana grupta toplanmıştır. Bu gruplar, ders isimlerinin farklı olmasına rağmen aynı amaca yönelik verilen bir çok dersten oluşmaktadır. Bu grupların dışında kalan ve proje yönetimi konusunda mühendis adaylarının ufkunu genişletebilecek çok sayıdaki ders "Proje Yönetimine Yardımcı Olabilecek Diğer Dersler" adı altında ayrı bir grupta toplanmıştır.

Tablo.1 ve Tablo.2'de Türkiye, İngiltere ve ABD üniversitelerindeki inşaat mühendisliği bölümlerinin kaç adedinde proje yönetimi ile ilgili derslere yer verildiği görülmektedir. Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5'de ise, söz konusu üç ülke üniversitelerinin inşaat mühendisliği bölümlerinde "Proje Yönetimi" kapsamında yer alan derslerin sayıları, yukarıda belirtilen yedi ana gruba ayrılarak verilmiş; bunların sonuçları Tablo:6 da kıyaslanmıştır. Tablo.7 ve Tablo.8'de ise, bir örnek oluşturmak amacıyla, aynı isim altında toplanabilir görünen dersler gruplandırılarak bunların söz konusu üç ülke üniversitelerinin inşaat bölümlerinde yer alma düzeyleri ile ilgili istatistiki değerler verilmiştir. Tablolarda verilen istatistiklerin ayrıntısı, sonuçlandırılmış bulunan yüksek lisans tezinde mevcuttur (6).

Tablo 1. "Proje Yönetimi" ne Yönelik Lisans Eğitimi Veren Üniversitelerin Sayısı

Ülke	İnşaat Mühendisliği Bölümü Bulunan Üniversite Sayısı	Lisans Programında Proje Yönetimi ile İlgili Dersler Bulunan Üniversite Sayısı	Yüzdesi (%)
	(a)	(b)	(c= b*100/a)
ABD	167	116	69
İngiltere	40	27	68
Türkiye	38	36	95

Tablo 2. "Proje Yönetimi" ne Yönelik Eğitim Yüksek Lisans Eğitimi Veren Üniversitelerin Sayısı

Ülke	İnşaat Mühendisliği Bölümü Bulunan Üniversite Sayısı	Lisans Programında Proje Yönetimi ile İlgili Dersler Bulunan Üniversite Sayısı	Yüzdesi (%)
	(a)	(b)	(c= b*100/a)
ABD	167	38	23
İngiltere	40	21	53
Türkiye	38	11	29

Tablo 3. ABD' de, İnşaat Mühendisliği Lisans ve Yüksek Lisans Programlarında "Proje Yönetimi"ne Yönelik Verilen Derslerin Dağılımı.

Sıra No	İlgili Alan	Toplam Ders Sayısı		İlgili Alandaki Ders Sayısı		Yüzdesi (%)	
		(a)		(b)		(c= b*100/a)	
		Lisans	Yüksek Lisans	Lisans	Yüksek Lisans	Lisans	Yüksek Lisans
1	Proje ve Yapım Yönetimi	377	260	108	116	29	45
2	Plan ve İş Programı			36	19	10	7
3	Sözleşme ve Hukuk			41	17	11	7
4	Yapı Maliyeti ve Keşfi			36	11	10	4
5	Ekonomi			55	30	15	12
6	Sosyal Davranışlar			60	36	16	14
7	Proje Yönetimine Yardımcı Olabilecek Diğer Dersler			41	31	11	12
	TOPLAM	377	260	377	260	100	100

Tablo 4. İngiltere' de, İnşaat Mühendisliği Lisans ve Yüksek Lisans Programlarında "Proje Yönetimi"ne Yönelik Verilen Derslerin Dağılımı.

Sıra No	İlgili Alan	Toplam Ders Sayısı		İlgili Alandaki Ders Sayısı		Yüzdesi (%)	
		(a)		(b)		(c= b*100/a)	
		Lisans	Yüksek Lisans	Lisans	Yüksek Lisans	Lisans	Yüksek Lisans
1	Proje ve Yapım Yönetimi	152	139	45	56	30	40
2	Plan ve İş Programı			5	9	3	6
3	Sözleşme ve Hukuk			21	19	14	14
4	Yapı Maliyeti ve Keşfi			4	6	3	4
5	Ekonomi			18	21	12	15
6	Sosyal Davranışlar			16	13	11	9
7	Proje Yönetimine Yardımcı Olabilecek Diğer Dersler			43	15	28	11
	TOPLAM	152	139	152	139	100	100

Tablo 5. Türkiye' de, İnşaat Mühendisliği Lisans ve Yüksek Lisans Programlarında "Proje Yönetimi"ne Yönelik Verilen Derslerin Dağılımı.

Sıra No	İlgili Alan	Toplam Ders Sayısı		İlgili Alandaki Ders Sayısı		Yüzdesi (%)	
		(a)		(b)		(c= b*100/a)	
		Lisans	Yüksek Lisans	Lisans	Yüksek Lisans	Lisans	Yüksek Lisans
1	Proje ve Yapım Yönetimi	86	61	29	29	34	48
2	Plan ve İş Programı			8	5	9	8
3	Sözleşme ve Hukuk			12	3	14	5
4	Yapı Maliyeti ve Keşfi			4	2	5	3
5	Ekonomi			13	10	15	16
6	Sosyal Davranışlar			13	3	15	5
7	Proje Yönetimine Yardımcı Olabilecek Diğer Dersler			7	9	8	15
	TOPLAM	86	61	86	61	100	100

Tablo 6. Türkiye, İngiltere ve ABD' de, İnşaat Mühendisliği Lisans ve Yüksek Lisans Programlarında "Proje Yönetimi"ne Yönelik Verilen Derslerin Sayısı ve Konulara Göre Dağılımının Karşılaştırılması.

Sıra No	İlgili Alan	Türkiye		İngiltere		ABD	
		Lisans	Yüksek Lisans	Lisans	Yüksek Lisans	Lisans	Yüksek Lisans
1	Proje ve Yapım Yönetimi	29	29	45	56	108	116
2	Plan ve İş Programı	8	5	5	9	36	19
3	Sözleşme ve Hukuk	12	3	21	19	41	17
4	Yapı Maliyeti ve Keşfi	4	2	4	6	36	11
5	Ekonomi	13	10	18	21	55	30
6	Sosyal Davranışlar	13	3	16	13	60	36
7	Proje Yönetimine Yardımcı Olabilecek Diğer Dersler	7	9	43	15	41	31
	TOPLAM	86	61	152	139	377	260

Tablo 7. Türkiye'deki Üniversitelerin İnşaat Mühendisliği Bölümlerinin Lisans Programlarında Verilmesi Gerektiği Düşünülen Derslerin, ABD ve İngiltere'deki Üniversitelerin İnşaat Mühendisliği Bölümlerindeki Durumu.

Sıra No	Ders Adı	ABD (167) ^(a)		İngiltere (40) ^(a)		Türkiye (38) ^(a)	
		Dersin Verildiği Üniversite Sayısı	%	Dersin Verildiği Üniversite Sayısı	%	Dersin Verildiği Üniversite Sayısı	%
		(a)	(b) = (a)*100/167	(c)	(d) = (c)*100/40	(e)	(f) = (e)*100/38
1	Yönetim (Genel)	20	12	26	65	6	16
2	İnsan Kaynakları Yönetimi	7	4	3	8	2	5
3	Stratejik Yönetim	2	1	0	0	1	3
4	Proses Yönetimi	2	1	1	3	0	0
5	Proje Yönetimi	60	36	17	43	23	61
6	Yapı Yönetimi	113	68	38	95	36	95
7	Proje Yönetiminde Bilgisayar	1	1	3	8	0	0
8	Enformasyon Sistemleri	2	1	6	15	0	0
9	Organizasyonel Davranış	11	7	2	5	1	3
10	Genel Ekonomi	22	13	3	8	9	24
11	Mühendislik Ekonomisi	27	16	6	15	24	63
12	Genel Muhasebe	16	10	1	3	0	0
13	Finansal Yönetim	9	5	8	20	0	0
14	Yapı Maliyeti ve Kesfi	49	29	9	23	5	13
15	Sözleşme, Şartname ve Hukuk	59	35	27	68	26	68
16	Mühendislik Uygulamaları	25	15	16	40	1	3
17	İnşaat Proje Uygulamaları	15	9	4	10	0	0
18	Kalite Yönetimi	10	6	2	5	3	8
19	Risk Analizi	7	4	1	3	2	5
20	Optimizasyon	5	3	0	0	1	3
21	Liderlik	4	2	0	0	1	3
22	Verimlilik	4	2	0	0	0	0
23	Pazarlama Prensipleri	3	2	0	0	0	0
24	Fizibilite	2	1	0	0	0	0
25	İletişim	15	9	8	20	4	11
26	İş Güvenliği ve Sağlığı	16	10	6	15	3	8
27	İş Ahlakı	6	4	1	3	1	3
28	Sosyal İlişkiler	21	13	1	3	3	8
29	Şantiye Tekniği	6	4	2	5	20	53
30	Sistem Mühendisliği	3	2	0	0	0	0
31	Ergonomi	1	1	0	0	0	0
32	Girişim	1	1	1	3	0	0
33	İnsanlık ve Sanat Tarihi	5	3	0	0	0	0

^(a) İnşaat Mühendisliği Bulunan Üniversite Sayısı

ÇAĞDAŞ PROJE YÖNETİMİ UYGULAMALARI KAPSAMINDA TÜRKİYE'DEKİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ EĞİTİM PROGRAMLARININ İRDELENMESİ

Tablo 8. Türkiye'deki Üniversitelerin İnşaat Mühendisliği Bölümlerinin Yüksek Lisans Programlarında Verilmesi Gerektiği Düşünülen Derslerin, ABD ve İngiltere'deki Üniversitelerin İnşaat Mühendisliği Bölümlerindeki Durumu.

Sıra No	Ders Adı	ABD (167) ^(a)		İngiltere (40) ^(b)		Türkiye (38) ^(c)	
		Dersin Verildiği Üniversite Sayısı	%	Dersin Verildiği Üniversite Sayısı	%	Dersin Verildiği Üniversite Sayısı	%
		(a)	(b) = (a)*100/167	(c)	(d) = (c)*100/40	(e)	(f) = (e)*100/38
1	Yönetim (Genel)	14	8	16	40	9	24
2	İnsan Kaynakları Yönetimi	13	8	9	23	2	5
3	Stratejik Yönetim	11	7	6	15	1	3
4	Proses Yönetimi	0	0	1	3	0	0
5	Proje Yönetimi	39	23	33	83	14	37
6	Yapı Yönetimi	51	31	19	48	8	21
7	Proje Yönetiminde Bilgisayar	10	6	0	0	1	3
8	Enformasyon Sistemleri	8	5	4	10	0	0
9	Organizasyonel Davranış	10	6	3	8	0	0
10	Genel Ekonomi	3	2	6	15	1	3
11	Mühendislik Ekonomisi	5	3	4	10	3	8
12	Genel Muhasebe	10	6	1	3	0	0
13	Finansal Yönetim	14	8	9	23	4	11
14	Yapı Maliyeti ve Kesfi	14	8	6	15	4	11
15	Sözleşme, Şartname ve Hukuk	21	13	22	55	4	11
16	Mühendislik Uygulamaları	24	14	1	3	0	0
17	İnşaat Proje Uygulamaları	6	4	1	3	0	0
18	Kalite Yönetimi	11	7	5	13	2	5
19	Risk Analizi	7	4	5	13	1	3
20	Optimizasyon	3	2	0	0	2	5
21	Liderlik	6	4	0	0	0	0
22	Verimlilik	3	2	1	3	1	3
23	Pazarlama Prensipleri	7	4	2	5	0	0
24	Fizibilite	2	1	0	0	0	0
25	İletişim	8	5	2	5	0	0
26	İş Güvenliği ve Sağlığı	14	8	1	3	1	3
27	İş Ahlakı	2	1	0	0	0	0
28	Sosyal İlişkiler	7	4	0	0	2	5
29	Şantiye Tekniği	1	1	2	5	2	5
30	Sistem Mühendisliği	1	1	0	0	1	3
31	Ergonomi	1	1	0	0	0	0
32	Girişim	0	0	0	0	0	0
33	İnsanlık ve Sanat Tarihi	1	1	0	0	0	0

^(a) İnşaat Mühendisliği Bulman Üniversite Sayısı

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Daha önce de ifade edildiği gibi bu araştırma sonuçları, internet üzerinden ulaşılabilen bilgilere dayanmaktadır. Ancak programları incelenebilen üniversitelerin sayısı, konu ile ilgili genel değerlendirme yapmaya olanak verecek düzeyde bulunmaktadır.

Tablo.1 ve Tablo.2 incelendiğinde, bünyesinde inşaat mühendisliği bulunan üniversitelerin ders programlarında proje yönetimi ve ilgili konulara yer verilme düzeyi özellikle lisan düzeyinde, ABD ve İngiltere'deki benzer üniversitelere göre ülkemiz üniversitelerinin önde olduğu görülmektedir. Ancak, Tablo.3, Tablo.4, Tablo.5, Tablo.6'daki değerlere göre, ABD ve İngiltere'de "Proje Yönetimi" kapsamına giren ders çeşitliliğinin, Türkiye'ye kıyasla oldukça zengin olduğu görülmektedir. Ayrıca aynı tablo verilerine göre, üç ülke üniversitelerinde de, proje yönetimi ile ilgili derslerin çeşitliliğinin, yüksek lisansta, lisans düzeyine nazaran daha az olduğu anlaşılmaktadır.

Şüphesiz, bir üniversitenin inşaat mühendisliği bölümünde ayrı bir ders ismi altında incelenen konulara, aynı ya da farklı ülkenin bir başka inşaat mühendisliği bölümünde, farklı isimdeki başka ders içerisinde değiniliyor olabilir. Örneğin, ülkemizdeki üniversitelerin inşaat mühendisliği bölümlerinin bazılarında, proje yönetimi kapsamındaki bazı konular "Yapı İşletmesi" adı altında bir ders içerisinde verilmektedir. Ancak, ders kredi-saati göz önüne alındığında, öngörülen konulara beklenen ayrıntıda incelenmesi olanaklı görünmemektedir. Doğru olan, farklı konuların programda başlı başına bir ders ismiyle yer almasıdır. Böylece dersin içeriğinin daha kapsamlı işlenmesine ve içeriğine uygun uzman öğretim elemanı görevlendirilmesine olanak sağlanmış olması yanında, öğrencilerin ders seçimi aşamasında daha bilinçli yönelmelerine zemin hazırlayacağı da kuşkusuzdur.

Sonuç olarak, kaynakların verimli ve etkin kullanılması gerekliliğinin iyi algılanması ve pratiğe aktarılması büyük önem taşımaktadır. Mal veya hizmet üretiminin pek çok alan ve aşamasında görev üstlenmekte olan mühendislerin mesleki faaliyetleri sürecinde verecekleri her karar, kullanılacak kaynakların miktar ve niteliğini doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla, öğrenimleri sürecinde kendilerine, mesleki bilgileri yanında, bu bilgilerini verimli ve etkin kullanmalarına yardımcı olacak araçlar ile ilgili bilgilerin de verilmesi gerekmektedir. Bu tür bilgilerin tümünü "Proje Yönetimi" kavram ve kapsamı için değerlendirmek mümkündür. Çünkü, sıradan bir projenin gerçekleştirilmesi sürecinde bile, teorik, ampirik ve/veya sezgisel nitelikli ve çeşitli bilimsel disiplinler içerisinde yer alan bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedene mühendislerimizin, mesleki ve beşeri potansiyellerinin farkına vararak bunu toplum yararına sunabilmeleri için, lisans ve/veya yüksek lisans öğrenimleri sürecinde proje yönetimi ve ilgili konularda da yeterince bilgilendirilmeleri hayati önem taşımaktadır.

Araştırma sonucuna göre, ülkemiz üniversitelerinin inşaat fakültesi ve bölümlerinin öğretim programlarında yer alan "Proje Yönetimi" kapsamındaki derslerin sayısı, kıyaslama yapılan iki ülke üniversitelerine göre çok da geride olmadığı anlaşılmaktadır. Ancak, hem bu derslerin verildiği inşaat mühendisliği bölümü sayısının artırılması hem de derslerin çeşit ve içerik akımından zenginleştirilmesi yönünde gayret gösterilmesi gerekliliği de açıktır.

Kuşkusuz, inşaat mühendisliği programlarında zorunlu meslek dersleri yanında çok sayıda ilave derse yer verilmesi de pek olanaklı görünmemektedir. Bu durumda, proje

yönetimi konulu derslerin olmazsa olmaz nitelikli olanlarını zorunlu dersler arasına serpiştirerek, ders programını zengin bir seçmeli ders çeşidi ile desteklemek uygun bir çözüm gibi görünmektedir.

Ayrıca, üniversitelerimizde proje yönetimine yönelik veya proje yönetimi ağırlıklı yüksek lisans programlarının yaygınlaştırılması; üniversiteler, meslek odaları, dernek ve kuruluşların proje yönetimi konularında, birikim kazandırmayı hedefleyen çeşitli nitelikte kurslar düzenlemeleri bu konuda önemli katkılar sağlayacaktır.

5. EKLER

Ek.1. Amerika Birleşik Devletleri'nde Ulaşılabilen Üniversiteler

Alabama, Arizona State, Arkansas State, Auburn, Boise State, Bradley, Brigham Young, Bucknell, California Institute of Technology, California State, Chico, California State, Fresno, Fullerton, Long Beach, Los Angeles, Northridge, Sacramento, Carnegie Mellon, Case Western Reserve, The Catholic University of America, Clarkson, Colorado, Christian Brothers, The Citadel U, Clemson , Columbia, Cooper Union for the Advancement of Science and Art, Duke, Florida Institute of Technology, Florida International, George Washington, Georgia Institute of Technology, Howard, Illinois Institute of Technology, Illinois State, Indiana State, Indiana, Iowa State, Jackson State, Lamar, Marquette, Massachusetts Institute of Technology, Montana State, Bozeman, New York, North Carolina Agricultural and Technical State, North Carolina State, North Dakota State-Fargo, Northeastern, Northwestern, Norwich, Ohio Northern, The Ohio State, Oregon Institute of Technology, Oregon State, Pittsburg State, Polytechnic University of New York, Polytechnic University of Puerto Rico, Pratt Institute, Princeton, Purdue, Rensselaer Polytechnic Institute, Roger Williams, Rose-Hulman Institute of Technology, Rutgers, San Francisco State, San Jose State, Santa Clara, Seattle, South Dakota School of Mines and Technology, Southern Illinois, Edwardsville, Stanford, State University of New York, Buffalo, Stevens Institute of Technology, Temple, Tennessee State, Tennessee Technological, Texas A&M, Texas Tech, Tulane, Newyork, Akron, Alabama, Alabama, Birmingham, Alabama, Huntsville, Alaska, Fairbanks, Arizona, Arkansas, Little Rock, California, Berkeley, California, Davis, California, Los Angeles, San Diego, Central Florida, Cincinnati, Colorado, Denver, Connecticut, Dayton, Delaware, Detroit Mercy, Columbia, Evansville, Florida, Hartford, Houston, Idaho, Illinois, Chicago, Illinois, Urbana-Champaign, Iowa, Kansas, Kentucky, Maine, Massachusetts, Amherst, Dartmouth, Lowell, Memphis, Miami, Michigan-Ann Arbor, Minnesota-Twin Cities, Mississippi, Missouri-Columbia, Missouri-Kansas City, Missouri-Rolla, Missouri-St. Louis, Nebraska, Lincoln, Nebraska, Omaha, Nevada Las Vegas, New Hampshire, Durham, New Haven, New Mexico, New Orleans, North Carolina, Charlotte, North Dakota, North Florida, Notre Dame, Pittsburgh, Johnstown, Portland, Rhode Island, South Alabama, South Florida, Southern California, Tennessee, Martin, Texas, Arlington, Texas, Austin, Texas, El Paso, Toledo, Utah, Vermont, Virginia, Washington, Wisconsin, Madison, Wisconsin, Milwaukee, Wisconsin, Platteville, Wisconsin, Stout, Wyoming, Utah State, Valparaiso, Virginia Military Institute, Virginia Tech, Washington State, Wayne State, Weber State,

Wentworth Institute of Technology, West Virginia, Western Kentucky, Western Michigan, Widener, Wilberforce, Worcester Polytechnic Institute.

Ek 2. İngiltere'de Ulaşılabilen Üniversiteler

Aberdeen, Abertay, Dundee, Aston, Birmingham, Birmingham, Bristol, City University, Central London, Coventry, Dundee, Durham, East London, Glasgow, Greenwich, London, Heriot Watt, Edinburgh, Kingston, South West London, Leeds, Liverpool, London Imperial College of Science, Technology and Medicine, London University College, Loughborough, Manchester, Manchester Institute of Science and Technology, (UMIST), Napier, Edinburgh, Newcastle, Nottingham, Oxford Brookes, Plymouth, The Portsmouth, Queen's University Belfast, Reading University, Salford, Sheffield, Sheffield Hallam, Southampton, South Bank, London, Strathclyde, Glasgow, Surrey, Guildford, Wales Swansea, Warwick, Wolverhampton.

Ek 3. Türkiye'de Ulaşılabilen Üniversiteler

Akdeniz, Anadolu, Atatürk, Balıkesir, Boğaziçi, Celal Bayar, Cumhuriyet, Çukurova, Dicle, Dokuz Eylül, Dumlupınar, Ege, Erciyes, Fırat, Gazi, Gaziantep, Harran, İstanbul, İstanbul Teknik, Karadeniz Teknik, Kırıkkale, Kocaeli, Mersin, Mustafa Kemal, Niğde, Orta Doğu Teknik, Ondokuz Mayıs, Osmangazi, Panukkale, Sakarya, Selçuk, Süleyman Demirel, Trakya, Yıldız Teknik, Zonguldak Karaelmas, Atılım, İstanbul Kültür, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

6. KAYNAKLAR

1. Haksever, A.M., Manisalı, E., "Türk ve İngiliz Eğitim Sistemlerinde Yapı İşletmesi Doktorasının Karşılaştırılması", 2.Yapı İşletmesi Kongresi, 243-258 s., 2000.
2. Müngen, U., Kuruoğlu, M., "İnşaat Mühendisliğinde Yapı İşletmesi Meslek İçi Eğitim İhtiyacı ve Bir Uygulama Programı Örneği", 2.Yapı İşletmesi Kongresi, 259-270 s., 2000.
3. Berköz, S., Kanoğlu, A., "Türkiye'de Yapım Yönetimi Eğitimi", Türkiye İnşaat Mühendisliği XII. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, 313-338 s., 1993.
4. Karaduman, M., Kaltakçı, M.Y. ve diğ., "İnşaat Mühendisliği Eğitiminde Sorunlar ve Bazı Öneriler", Türkiye İnşaat Mühendisliği XII. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, 339-349 s., 1993.
5. Uluatam, S.S., "İnşaat Mühendisliğinde Tecrübe ve Eğitim", Türkiye İnşaat Mühendisliği XII. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, 389-398 s., 1993.
6. Öcal, M.E., Ömür, Ö.L., "Çağdaş Proje Yönetimi Kapsamında Türkiye'deki İnşaat Mühendisliği Eğitim Programlarının İrdelenmesi", Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 115 s., 2000.

İDESTATİK HAZIR PROGRAMININ 1998 DEPREM YÖNETMELİĞİ BAKIMINDAN İRDELENMESİ

Koray İÇÖZ ve Beytullah TEMEL

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

ÖZET : *Bu çalışmada inşaat mühendisliği bina proje bürolarında kullanılan İDESTATİK bilgisayar programının deprem yönetmeliği analiz hesapları bakımından irdelenmesi yapılmaktadır. Önce çeşitli bina taşıyıcı sistemleri SAP2000 ile çözülmüştür. Kesin olduğu garanti edilen bu sonuçlar ile İDESTATİK programı sonuçları karşılaştırılarak irdelene yapılmıştır. Ayrıca İDESTATİK programının dayandığı ileri sürülen teorik temeller de incelenmiştir. Böylece deprem yönetmeliğinin analiz hesaplarında belirtilen hususların İDESTATİK programı tarafından ne ölçüde yerine getirildiği araştırılmaktadır.*

INVESTIGATION OF IDESTATIK COMPUTER PROGRAM IN TERMS OF TURKISH EARTHQUAKE CODE

ABSTRACT : *In this study, the popular IDESTATIK computer program which is used in building project offices is investigated in terms of the analysis aspect of Turkish Earthquake Code. To begin with several building structural systems are solved by SAP2000 which is well known general purpose structural computer program. These results are than compared with those obtained by IDESTATIK program. In addition to this, the theory on which the IDESTATIK program is claimed to be based on is also studied. Therefore, to what extend the analysis aspect of Turkish Earthquake Code is fulfilled by the popular IDESTATIK computer program is investigated.*

1. GİRİŞ

Ocak 1998 tarihinde yürürlüğe girmiş olan Türk Deprem Yönetmeliği (TDY98), kat döşemelerinin rijit diyafram olarak modellenmesi için getirilen koşullar, planda ve düşeyde düzensizlik durumları ve kontrolleri, görelî kat ötelemeleri, ikinci mertebeye etkileri, Mod Birleştirme Yöntemi, Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi gibi birçok olumlu yeniliği beraberinde getirmiştir. Ayrıca bina analizinin üç boyutlu yapılması zorunluluğu da bu olumlu gelişmeler arasındadır.

Bu işlemlerin hepsini veya belli bir kısmını pratik bir şekilde çözümleyen paket programları kullanmak bir zorunluluk haline gelmiştir. Ülkemizde, bu ihtiyaca karşılık vermek amacıyla yazılmış ve kullanılmakta olan İDESTATİK, PROBİNA, STA4-CAD gibi çeşitli paket programları bulunmaktadır. Bu tip programlar veri girişini ve çıkışını çok basitleştirmişlerdir. Bu paket programları kullanılarak hazırlanan projelerin denetimleri, modeldeki veri eksikliği veya programın şartnamelere uygunluğunu kontrolden öteye gidememektedir. Ülkemizde bu tip programların yeterliliği konusunda henüz bir standart oluşmadığından, paket programların, TDY98 ve diğer yönetmeliklerdeki şartları sağlayıp sağlamadığı araştırılmalıdır. Bu amaçla SAP2000, ANSYS gibi güvenilir programları yardımıyla proje bürolarında kullanılan paket programların denetimi yapılabilir. Bu denetimlerde göz önüne alınması gereken hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- a) Programın dayandığı teoriler, yapı statikliği, yapı dinamiği, betonarme ve deprem mühendisliği esaslarına uygun olmalıdır.
- b) Program, ilgili yönetmeliklere uygun olmalıdır (TDY98, TS500, TS498 gibi). Özellikle, yeni deprem yönetmeliğinde belirtilen, hesaplarda çeşitli düşey yük kombinasyonları ve 4 adet deprem yüklemesi ile 4 adet rüzgar yüklemesi altında binanın 3 boyutlu analizinin yapılması, burulma düzensizliği, yumuşak kat ve zayıf kat düzensizlikleri, görelî öteleme ve ikinci mertebeye etkileri gibi kontrollerin tümünü yapabilmelidir.
- c) Binanın, analizinden elde edilecek kesit tesirleri bir yerde saklanmalı ve taşıma gücü yönteminde en elverişsiz etkiyi verecek şekilde birleştirilmelidir.
- d) Kolon-kiriş ve perde-kiriş birleşim yerlerindeki rijit bölgeler göz önüne alınmalıdır. Ayrıca teçhizat hesabında, kirişlerin perdeye (veya kolona) saplandığı yerdeki azaltılmış kesit tesirleri kullanılmalıdır.

2. MOD BİRLEŞTİRME YÖNTEMİ

Bu yöntemi yapının her bir serbest titreşim modunun, deprem hareketine olan etkisinin ayrı ayrı elde edilip sonra uygun bir şekilde birleştirilmesi esasına dayanır.

Adım 1: Kat kütleleri TDY98 Denk 6.7.1.2' ye göre hesaplanır. Hesaplanan kat kütleleri (m_i) ve kütleli dönme atalet momentleri ($m\theta_i$) her bir katta, binanın deprem doğrultusuna dik boyunun $\pm \%5$ ' i kadar (TDY98 6.8.2.1) kaydırılmış kütle merkezlerinde tanımlandıktan sonra üç boyutlu serbest titreşim analizi yapılarak binanın titreşim periyot ve modları bulunur.

$m\theta_i$: Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalışması durumunda, i ' inci katın kaydırılmamış kütle merkezinden geçen düşey eksene göre kütleli dönme atalet momenti.

Adım 2: Hesaba katılacak mod sayısının belirlenmesi amacıyla aşağıdaki denklemlerle her bir mod için etkin kütle oranları hesaplanır.

$$M_r = \sum_{i=1}^N (m_i \cdot \Phi_{xir}^2 + m_i \cdot \Phi_{yir}^2 + m_i \cdot \Phi_{\theta ir}^2) \quad (1)$$

$$\sum_{r=1}^Y M_{xr} = \frac{\sum_{r=1}^Y \{ [\sum_{i=1}^N (m_i \cdot \Phi_{xir})]^2 / M_r \}}{\sum_{i=1}^N m_i} \geq 0.90 \quad (2a)$$

$$\sum_{r=1}^Y M_{yr} = \frac{\sum_{r=1}^Y \{ [\sum_{i=1}^N (m_i \cdot \Phi_{yir})]^2 / M_r \}}{\sum_{i=1}^N m_i} \geq 0.90 \quad (2b)$$

Burada,

Φ_{xir} : Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, r'inci mod şeklinin i'inci katta x eksenini doğrultusundaki yatay bileşeni,

Φ_{yir} : Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, r'inci mod şeklinin i'inci katta y eksenini doğrultusundaki yatay bileşeni,

$\Phi_{\theta ir}$: Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, r'inci mod şeklinin i'inci katta düşey eksen etrafındaki dönme bileşenidir.

Etkin kütle oranlarının hesabında TDY98' de belirtilen yukarıdaki üç denklem dışında Clough and Penzien (1993)'de belirtilen ve aynı sonuçları veren aşağıdaki denklemler de kullanılabilir. Buna göre, önce mod şekil vektörleri ve sistem kütle matrisi kullanılarak her bir mod için katılım faktörü $\alpha_i = \{\Phi_i\}^T [M] \{r\}$ bulunur ve modal kütle $M_{ci} = \{\Phi_i\}^T [M] \{\Phi_i\} = 1$ olacak şekilde normalize edilirse toplam i'inci etkin kütle, aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilir. Burada $\{\Phi_i\}$, i'inci modal vektörü göstermektedir.

$$M_{ci} = \frac{\alpha_i^2}{M_i} \quad (3)$$

Toplam etkin kütle ise her bir kat için bulunan etkin kütlelerin toplanması ile elde edilir.

$$M_{ci} = \frac{\alpha_1^2}{M_1} + \frac{\alpha_2^2}{M_2} + \dots + \frac{\alpha_i^2}{M_i} = \sum M_{ci} = \sum_{i=1}^Y \alpha_i^2 \quad (4)$$

Burada Y, göz önüne alınan mod sayısını göstermektedir. Bulunan toplam etkin kütle, binanın kütlesine bölündüğünde etkin kütle oranı tespit edilmiş olur.

$$\frac{M_{ci}}{M_T} = \frac{\alpha_i^2}{\sum_{i=1}^N m_j} \quad (5)$$

Adım 3: Her bir mod için hesaplanan etkin kütle oranlarının kümülatif toplamının 0.90'dan büyük olması ve etkin kütlesi, bina toplam kütlesinin %5'inden büyük olan tüm modların hesaba alınması şartını göz önüne alarak, hesaba katılması gereken yeterli titreşim mod sayısı (Y) belirlenir. (TDY98 6.8.3.1)

Adım 4: Yerel zemin koşullarına ve r'inci bina doğal periyoduna bağlı olarak TDY98 Denk 6.2'ye göre Spektrum Katsayıları $S(T_r)$ hesaplanır.

Spektrum Katsayıları kullanılarak TDY98 Denk 6.1' de Spektral İvme Katsayıları $A(T_r)$ belirlenir.

Taşıyıcı sistem Davranış Katsayısı'na (R) ve binanın r'inci doğal titreşim periyodu, T_r 'ye bağlı olarak TDY98 Denk 6.3'e göre Deprem Yüklü Azaltma Katsayısı $R_d(T_r)$ bulunur.

Bulunan bu katsayılar kullanılarak r'inci titreşim modunda göz önüne alınacak ivme spektrumu aşağıdaki denklem ile bulunur.

$$S_{pm}(T_r) = A(T_r)g/R_d(T_r) \quad (6)$$

$A(T_r)$ = r'inci doğal titreşim modu için spektral ivme katsayısı.

$R_d(T_r)$ = r'inci doğal titreşim modu için deprem yükü azaltma katsayısı,

g = Yerçekimi ivmesidir (9.81 m/s^2).

Adım 5: Yapının spektrum analizi yapılarak deplasmanlar ve elemanlardaki iç kuvvet bileşenlerine her moddan gelen maksimum katkılar hesaplanır. TDY98 6.8.4'te belirtilen yöntemlerden uygun bir birleştirme yöntemi ile, Karelerinin Toplamının Kare Kökü Kuralı (SRSS) veya Tam Karesel Birleştirme Kuralı (CQC) ile yapı deplasmanları ve eleman uç kuvvetleri bulunur.

Adım 6: Hesaplanan iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri için alt sınır değerleri belirlenir. Bunun için Mod Birleştirme Yöntemi ile bulunan bina toplam deprem yükü (V_{IB}) ve Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi ile hesaplanan bina toplam deprem yükü (V_I) elde edilir. Adım 8'de açıklanan β değerine göre $V_{IB} < \beta V_I$ olması durumunda Mod Birleştirme Yöntemi'ne göre bulunan tüm iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri aşağıdaki denklem kullanılarak büyütülecektir.

$$B_D = (\beta V_I / V_{IB}) B_B \quad (7)$$

B_D : Büyütülmüş yer değiştirme veya iç kuvveti.

B_B : Mod birleştirme yönteminde bulunan herhangi bir yer değiştirme veya iç kuvveti göstermektedir.

Bodrumda çepeçevre perde olması halinde, TDY98 6.7.2.4 (c)'ye göre üst katlardaki iç kuvvet ve deplasmanlar için sadece üst yapının modal analizi sonucu bulunan büyüklükler kullanılırken, bodrum katlar için ise üst yapının modal analizi sonucu bodrum katlarda oluşan iç kuvvetlerle, bodrum katlar için yapılan modal analiz sonucu bulunan iç kuvvetlerin karelerinin toplamının karekökü kullanılır.

Adım 7: Binada perde varsa, binanın süneklik düzeyine göre:

i. Süneklik düzeyi yüksek sistemlerde, TDY98 6.5.2.1'e göre deprem yüklerinden dolayı perdelerin tabanında oluşan eğilme momentlerinin toplamının, binanın tümü için tabanda meydana gelen toplam devrilme momentine oranı olan α_M 'in 0.75'ten fazla olup olmadığına bakılır. $\alpha_M \leq 0.75$ ise Taşıyıcı sistem davranış Katsayısı $R=7$ olarak kullanılabilir. Eğer $0.75 < \alpha_M \leq 1.0$ ise Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı $R=10-4 \times \alpha_M$ denklemi ile belirlenir ve yeni R ile işlemler, Adım 4' ten itibaren tekrarlanır veya elde edilen sonuçlar (R_{cski}/R_{ycni}) oranıyla çarpılarak büyütülür.

ii. Süneklik düzeyi normal sistemlerde, $\alpha_M \geq 0.75$ sağlanmalıdır. Bu şart sağlanmazsa perde kesit alanları artırılarak işlemler Adım 1'den itibaren tekrarlanır.

iii. Süneklik düzeyi karma sistemlerde her bir deprem doğrultusunda $\alpha_M \geq 0.40$ olmalıdır. $\alpha_M \geq 2/3$ olması durumunda TDY98 Tablo 6.5'te deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi perde tarafından taşındığı durum için verilen R katsayısı ($R=R_{yp}$), taşıyıcı sistemin tümü için kullanılabilir.

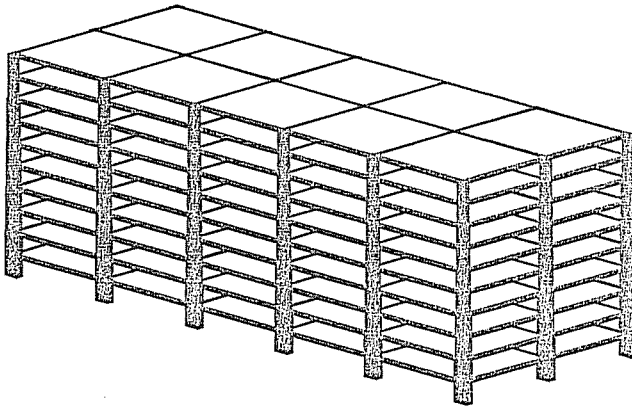
$0.40 > \alpha_M > 2/3$ aralığında, her iki deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin tümü için $R = R_{NÇ} + 1.5 \alpha_M (R_{YP} - R_{NÇ})$ bağıntısı uygulanır.

Adım 8: TDY98 Tablo 6.1'de belirtilen planda ve düşey doğrultudaki düzensizlik durumlarına karşı kontroller, TDY98 Şekil 6.1 ve TDY98 Tablo 6.1'deki formüller yardımıyla yapılır. A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerden en az birinin yapıda bulunması durumunda $\beta=1.00$, bulunmaması durumunda ise $\beta=0.90$ alınacak ve hesaplanan B_D ile bütün yer değiştirme ve iç kuvvetler büyütülecektir.

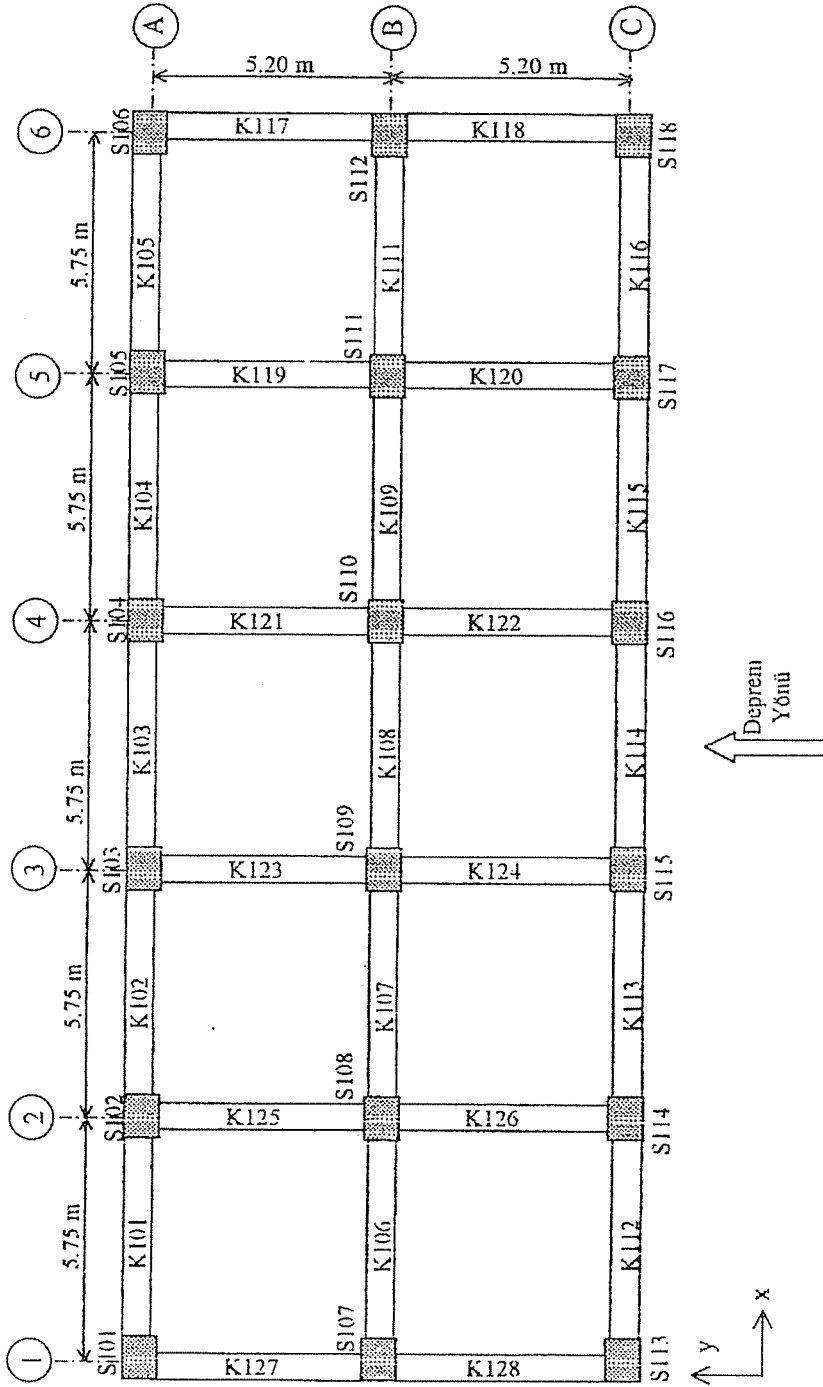
Adım 9: TDY98 Denk 6.20a, TDY98 Denk 6.20b, TDY98 Denk 6.21 denklemleri kullanılarak görelî kat ötelemelerinin ve ikinci mertebe etkilerinin kontrolü yapılır.

3. SAYISAL UYGULAMA

Bu örnekte betonarme çerçevelerden oluşan 10 katlı bir yapının deprem hesabı mod birleştirme yöntemi ile İdestatik ve SAP2000 programları kullanılarak incelenmiştir.



Şekil 1. Örnek 1'e ait yapı



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

Adım 7: Binada perde varsa, binanın süneklik düzeyine göre:

i. Süneklik düzeyi yüksek sistemlerde, TDY98 6.5.2.1'e göre deprem yüklerinden dolayı perdelerin tabanında oluşan eğilme momentlerinin toplamının, binanın tümü için tabanda meydana gelen toplam devrilme momentine oranı olan α_M 'in 0.75'ten fazla olup olmadığına bakılır. $\alpha_M \leq 0.75$ ise Taşıyıcı sistem davranış Katsayısı $R=7$ olarak kullanılabilir. Eğer $0.75 < \alpha_M \leq 1.0$ ise Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı $R=10-4 \times \alpha_M$ denklemi ile belirlenir ve yeni R ile işlemler, Adım 4' ten itibaren tekrarlanır veya elde edilen sonuçlar (R_{eski}/R_{yeni}) oranıyla çarpılarak büyütülür.

ii. Süneklik düzeyi normal sistemlerde, $\alpha_M \geq 0.75$ sağlanmalıdır. Bu şart sağlanmazsa perde kesit alanları artırılarak işlemler Adım 1'den itibaren tekrarlanır.

iii. Süneklik düzeyi karma sistemlerde her bir deprem doğrultusunda $\alpha_M \geq 0.40$ olmalıdır. $\alpha_M \geq 2/3$ olması durumunda TDY98 Tablo 6.5'te deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi perde tarafından taşındığı durum için verilen R katsayısı ($R=R_{yp}$), taşıyıcı sistemin tümü için kullanılabilir.

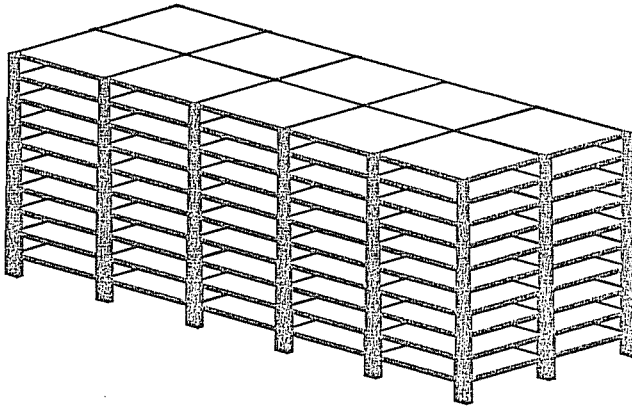
$0.40 > \alpha_M > 2/3$ aralığında, her iki deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin tümü için $R = R_{NÇ} + 1.5 \alpha_M (R_{YP} - R_{NÇ})$ bağıntısı uygulanır.

Adım 8: TDY98 Tablo 6.1'de belirtilen planda ve düşey doğrultudaki düzensizlik durumlarına karşı kontroller, TDY98 Şekil 6.1 ve TDY98 Tablo 6.1'deki formüller yardımıyla yapılır. A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerden en az birinin yapıda bulunması durumunda $\beta=1.00$, bulunmaması durumunda ise $\beta=0.90$ alınacak ve hesaplanan B_D ile bütün yer değiştirme ve iç kuvvetler büyütülecektir.

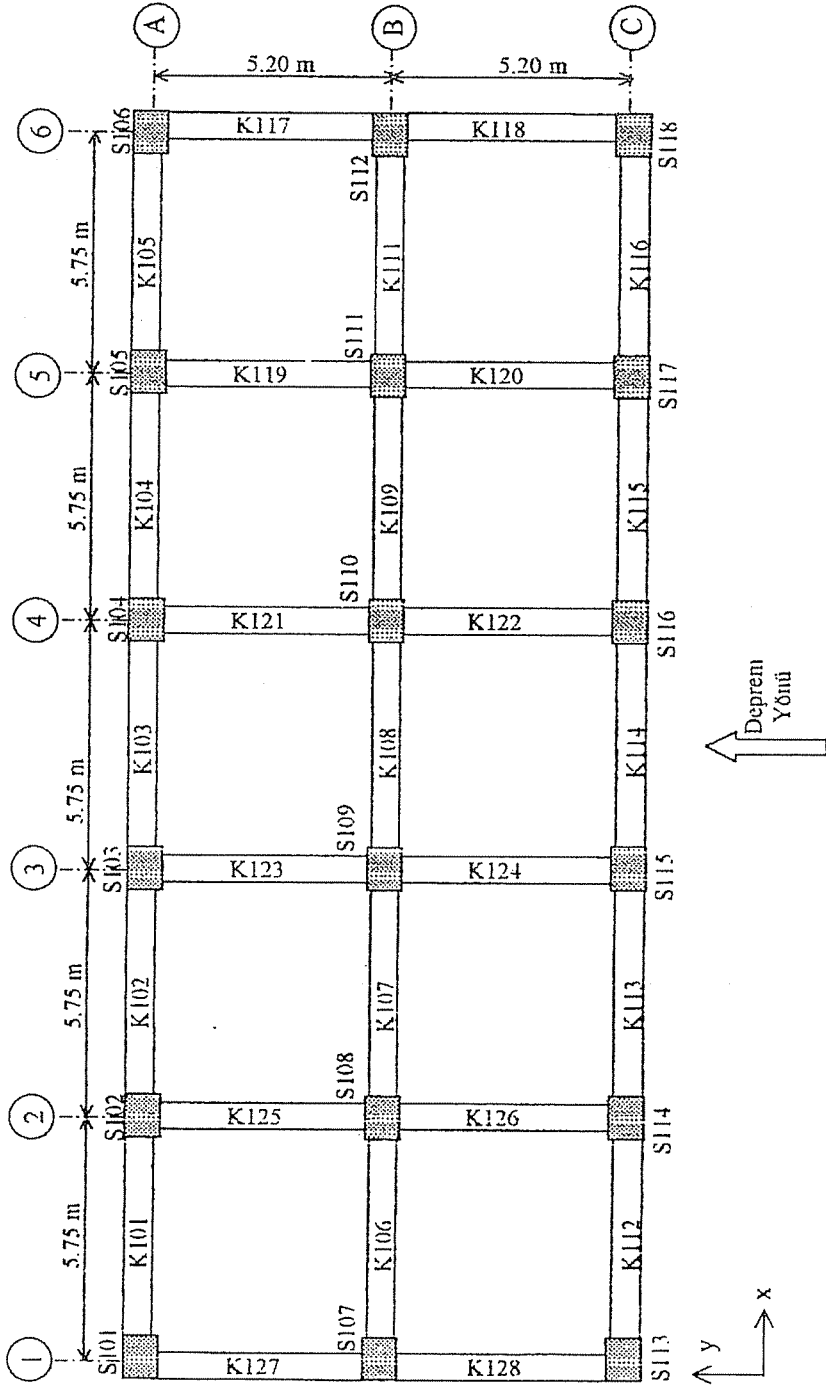
Adım 9: TDY98 Denk 6.20a, TDY98 Denk 6.20b, TDY98 Denk 6.21 denklemleri kullanılarak görelî kat ötelemelerinin ve ikinci mertebe etkilerinin kontrolü yapılır.

3. SAYISAL UYGULAMA

Bu örnekte betonarme çerçevelerden oluşan 10 katlı bir yapının deprem hesabı mod birleştirme yöntemi ile İdestatik ve SAP2000 programları kullanılarak incelenmiştir.



Şekil 1. Örnek 1'e ait yapı



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

Bina, Zemin ve Deprem Bilgileri:

Kat sayısı: 10,
Kat yüksekliği: 3.5 m. (tüm katlar),
Bina türü: Konut,
Bina önem katsayısı: $I=1$ (TDY98 Tablo 6.3),
Taşıyıcı sistem türü: Yerinde dökme betonarme çerçevesel sistem,
Deprem Bölgesi: 1'inci bölge,
Etkin yer ivmesi katsayısı: $A_0=0.4$ (TDY98 Tablo 6.2),
Yerel zemin sınıfı: Z2,
Spektrum karakteristik periyotları: $T_A=0.15$ sn., $T_B=0.40$ sn. (TDY98 Tablo 6.4),
Hareketli yük katılım katsayısı: $n=0.3$ (TDY98 Tablo 6.7),
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı: $R=8$ (TDY98 Tablo 6.5).

Kiriş Boyutları: Tüm katlarda 300 mm×500 mm boyutlarında kiriş kesiti kullanılmıştır (bw=300 mm, h=500 mm).

Kolon Boyutları:

Tablo 1. Örnek 1'in kolon boyutları

KAT NO:	KOLON NO:	BOYUT (X×Y):
1	Tüm Kolonlar	800 mm × 400 mm
2	Tüm Kolonlar	800 mm × 400 mm
3	Tüm Kolonlar	700 mm × 400 mm
4	Tüm Kolonlar	700 mm × 400 mm
5	Tüm Kolonlar	600 mm × 400 mm
6	Tüm Kolonlar	600 mm × 400 mm
7	Tüm Kolonlar	500 mm × 400 mm
8	Tüm Kolonlar	500 mm × 400 mm
9	Tüm Kolonlar	400 mm × 400 mm
10	Tüm Kolonlar	400 mm × 400 mm

Elastisite Modülü: 2.85×10^6 ton/m²

Poisson Oranı: 0.15

Çizelge 1. Örnek 1'e ait kat ağırlıkları

Kat No	w _i (ton)		Kat No	w _i (ton)	
	İDESTATİK	SAP2000		İDESTATİK	SAP2000
10	117.41	117.3276	5	117.45	117.3276
9	117.41	117.3276	4	117.44	117.3276
8	117.43	117.3276	3	117.47	117.3276
7	117.43	117.3276	2	117.49	117.3276
6	117.45	117.3276	1	117.49	117.3276
Σw _i				1174.46	1173.276

Çizelge 2. Örnek 1'e ait kat kütle eylemsizlik momentleri hesabı

Kat No	m _i		mθ _i	
	İDESTATİK	SAP2000	İDESTATİK	SAP2000
10	11.9684	11.9600	932.261	932.6068
9	11.9684	11.9600	932.261	932.6068
8	11.9704	11.9600	932.417	932.6068
7	11.9704	11.9600	932.417	932.6068
6	11.9725	11.9600	932.580	932.6068
5	11.9725	11.9600	932.580	932.6068
4	11.9715	11.9600	932.503	932.6068
3	11.9745	11.9600	932.736	932.6068
2	11.9766	11.9600	932.900	932.6068
1	11.9766	11.9600	932.900	932.6068
M _T	119.722	119.600		

Kat kütleleri SAP2000 programında +%5 kaydırılmış kütle merkezlerinde tanımlanmış ve yapının serbest titreşim analizi yapılarak aşağıdaki periyotlar bulunmuştur. İdestatik programında ise kat kütleleri depreme dik doğrultudaki en büyük bina boyununun ±%5'i kadar kaydırılmış olan kütle merkezinde tanımlanmaktadır.

Çizelge 3. Örnek 1'e ait titreşim periyotları

Mod	1	2	3	4	5	6	7
İDESTATİK	1.0004	0.3420	0.1996	0.1399	0.1062	0.0869	0.0730
SAP2000	1.2305	0.9837	0.9106	0.4126	0.3383	0.3083	0.2376

Çizelge 4. Örnek 1'e ait etkin kütle oranları

Mod	Kümülatif oran	
	İDESTATİK	SAP2000
1	0.7949	0.7590
2	0.9037	0.7590
3	0.9427	0.7939
4	0.9635	0.8940
5	0.9768	0.8940
6	0.9841	0.8995
7	0.9893	0.9361

Analizi yapılan bina, süneklik düzeyi yüksek sistem olarak kabul edilmiştir. Bina sadece çerçevelerden oluştuğu ve birinci deprem bölgesinde bulunduğu için TDY98 Tablo 6.5' e bakıldığında Yapı Davranış Katsayısı R'nin 8 alınacağı görülmektedir.

Yerel zemin sınıfı Z2 olduğundan TDY98 Tablo 6.4'e göre Spektrum Karakteristik Periyotları $T_A=0.15$ sn. ve $T_B=0.40$ sn. olarak elde edilmektedir.

Binanın serbest titreşim periyotları yukarıda tespit edilen Spektrum Karakteristik Periyotları ışığında gerekli her bir mod incelenmiştir. Her bir mod için Spektrum Katsayıları TDY98 Denk 6.2'ye göre bulunmuştur.

Binanın serbest titreşim periyotları Yapı Davranış Katsayısı R ve T_A 'ya göre incelenirse TDY98 Denk 6.3b'ye uygun olduğu görülmektedir. Her bir mod için Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı $R_d(T_r)=8$ olduğu görülmektedir. Sadece idestatik programında 4. modda $R_d(T_r)=7.562$, 5. modda $R_d(T_r)=6.104$, 6. modda $R_d(T_r)=5.267$, 7. modda $R_d(T_r)=4.665$ olmaktadır.

Bina, birinci deprem bölgesinde olduğundan TDY98 Tablo 6.2'ye göre Etkin Yer İvmesi $A_0=0.40$ ve bina konut olduğundan dolayı da TDY98 Tablo 6.3'e göre Bina Önem Katsayısı $I=1$ değerleri kullanılarak her bir mod için Spektral İvme Katsayısı $A(T_r)$ TDY98 Denk 6.1 kullanılarak bulunmuştur.

Yukarıda elde edilen değerlerle herhangi bir r'inci titreşim modunda gözönüne alınacak ivme spektrumu ordinatı TDY98 Denk 6.15 ile bulunmuştur.

Çizelge 5. Örnek 1'e ait katsayılar

MOD	Periyot (T)		S(T)	
	İDESTATİK	SAP2000	İDESTATİK	SAP2000
1	1.0004	1.2305	1.201	1.0175
2	0.3420	0.9837	2.5	1.217
3	0.1996	0.9106	2.5	1.2946
4	0.1399	0.4126	2.399	2.4387
5	0.1062	0.3383	2.062	2.5
6	0.0869	0.3083	1.869	2.5
7	0.0730	0.2376	1.730	2.5
MOD	A(T _r)		S _{pa} (T _r)	
	İDESTATİK	SAP2000	İDESTATİK	SAP2000
1	0.480	0.4070	0.589	0.4491
2	1	0.4868	1.226	0.5969
3	1	0.5178	1.226	0.6350
4	0.960	0.9755	1.245	1.1963
5	0.825	1	1.326	1.2263
6	0.748	1	1.393	1.2263
7	0.692	1	1.456	1.2263

Hesaba katılacak mod sayısına göre yapının spektrum analizi yapılarak mod katkıları birleştirilmiştir. Mod katkılarının birleştirilmesinde tüm programlarda "Tam Karesel Birleştirme (CQC)" yöntemi kullanılmaktadır.

Çizelge 6. Örnek 1'e ait taban kesme kuvvetleri

Taban Kesme Kuvveti	İDESTATİK	SAP2000
V _{tb}	58.68	49.0178
V _t	56.85	60.5400

Binada düzensiz durumlar olduğu varsayılarak TDY98 6.8.5'te belirtilen alt sınır değerler durumu olduğundan Mod Birleştirme Yöntemi'ne göre bulunan tüm iç kuvvetler ve deplasmanlar $\beta=1.00$ alınarak TDY98 Denk 6.18 ile çarpılarak büyütülmüştür.

Çizelge 7. Örnek 1'e ait iç kuvvet ve deplasmanları büyütme katsayısı

$\beta \times V_i / V_{TB} (\beta=1.00)$	
İDESTATİK	SAP2000
0.9700	1.2351

Çizelge 8. Örnek 1'e ait görel kat ötelemeleri kontrolü

Kat No	h_i	$(\Delta_i)_{max}$		$(\Delta_i)_{max}/h_i$	
		İDESTATİK	SAP2000	İDESTATİK	SAP2000
10	3.5	0.00109	0.00156	0.00031	0.000444
9	3.5	0.00174	0.00259	0.00050	0.00074
8	3.5	0.00213	0.00321	0.00061	0.000917
7	3.5	0.00257	0.00392	0.00073	0.001121
6	3.5	0.00272	0.00430	0.00078	0.001229
5	3.5	0.00300	0.00483	0.00086	0.001381
4	3.5	0.00299	0.00507	0.00085	0.001448
3	3.5	0.00311	0.00537	0.00089	0.001533
2	3.5	0.00290	0.00502	0.00083	0.001435
1	3.5	0.00198	0.00303	0.00057	0.000867

$$(\Delta_i)_{max}/h_i \leq 0.0035$$

$$(\Delta_i)_{max}/h_i \leq 0.02/R = 0.0025$$

Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden görel kat ötelemesinin sınırları TDY98 Denk 6.20'de belirtilen yukarıdaki şartlardan en elverişsiz olana göre incelenir. Çizelge 8'de görüldüğü üzere Örnek 1 için bu kontrolde sınır değerler aşılmamıştır.

Çizelge 9. Örnek 1'e ait ikinci mertebe etkilerinin kontrolü (θ_i)

Kat No	w_i		$\sum_{j=1}^N w_j$	
	İDESTATİK	SAP2000	İDESTATİK	SAP2000
10	117.41	117.3276	117.41	117.3276
9	117.41	117.3276	234.82	234.6550
8	117.43	117.3276	352.25	351.9830
7	117.43	117.3276	469.68	469.3100
6	117.45	117.3276	587.13	586.6380
5	117.45	117.3276	704.58	703.9660
4	117.44	117.3276	822.02	821.2930
3	117.47	117.3276	939.49	938.6210
2	117.49	117.3276	1056.98	1055.950
1	117.49	117.3276	1174.47	1173.280

Çizelge 9'dan görüleceği gibi her iki program için de bina kat ağırlıkları yakın değerler alınmıştır.

Çizelge 9'un devamı

Kat No	$(\Delta_i)_{ort}$		V_i	
	İDESTATİK	SAP2000	İDESTATİK	SAP2000
10	0.00094	0.00120	12.78	13.1801
9	0.00151	0.00198	24.29	23.8879
8	0.00183	0.00247	34.53	31.6302
7	0.00222	0.00301	43.52	37.8162
6	0.00235	0.00331	51.22	42.9878
5	0.00258	0.00372	57.64	47.6979
4	0.00257	0.00390	62.78	51.9864
3	0.00268	0.00414	66.64	56.1232
2	0.00251	0.00389	69.22	59.2987
1	0.00172	0.00237	70.51	60.5419

Çizelge 9'un Devamı

Kat No	h _i	θ _i	
		İDESTATİK	SAP2000
10	3.5	0.00247	0.00305
9	3.5	0.00417	0.00556
8	3.5	0.00533	0.00785
7	3.5	0.00684	0.01067
6	3.5	0.00769	0.01291
5	3.5	0.00901	0.01569
4	3.5	0.00963	0.01760
3	3.5	0.01080	0.01978
2	3.5	0.01090	0.01979
1	3.5	0.00819	0.01312

TDY98 Denk 6.21'e göre her bir kat için bulunan ikinci merteye etkileri $\theta_i < 0.12$ 'den küçük olmak zorundadır. Çizelge 9'dan görüldüğü gibi tüm sonuçlar istenilen şartı sağlamaktadır.

Çizelge 10. Örnek 5.1'e ait S106 ve S113 kolon kesme kuvvetleri
(Deprem yönü y)

Kolon No	V _y (ton)	
	İDESTATİK	SAP2000
S106	3.94	4.22
S113	2.95	2.23

Çizelge 11. Örnek 5.1'e ait S106 ve S113 kolon moment değerleri
(Deprem yönü y)

Kolon No	M _{yAlt}		M _{yÜst}	
	İDESTATİK	SAP2000	İDESTATİK	SAP2000
S106	9.21	10.48	4.57	3.16
S113	6.88	5.95	3.43	1.86

4. SONUÇ

İDESTATİK (V 4.0). SAP2000 programları ile çözülen örneklere ait sonuçlar karşılaştırıldığında İDESTATİK ile ilgili ortaya çıkan değerlendirmeler aşağıdaki gibidir.

Program, TDY98'e göre getirilen tüm yeni uygulamaları kullanmakta ve sonuçları anlaşılır bir şekilde kullanıcıya sunmaktadır.

Program sadece Mod Birleştirme Yöntemi'ni kullanıp bütün hesaplamaları bu yöntem üzerine kurmuştur.

Mod Birleştirme Yöntemi uygulandığı zaman programda mod sayısının el ile istenilen sayıda girilmesi bölümü olmasına rağmen program, yeterli mod sayısının üstünde mod oluşturamamaktadır. Bu da SAP2000 programı ile karşılaştırmalarda önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca İDESTATİK programı titreşim frekansı bulmada uyguladığı farklı yöntemden dolayı (Vianello Stodola), SAP2000 ile yapılan çözümlerden elde edilen titreşim frekansları arasında farklılıklar göze çarpmaktadır. Bu farklılık İDESTATİK programının hesap adımlarında SAP2000'e göre farklı sonuçlar çıkmasına neden olmaktadır.

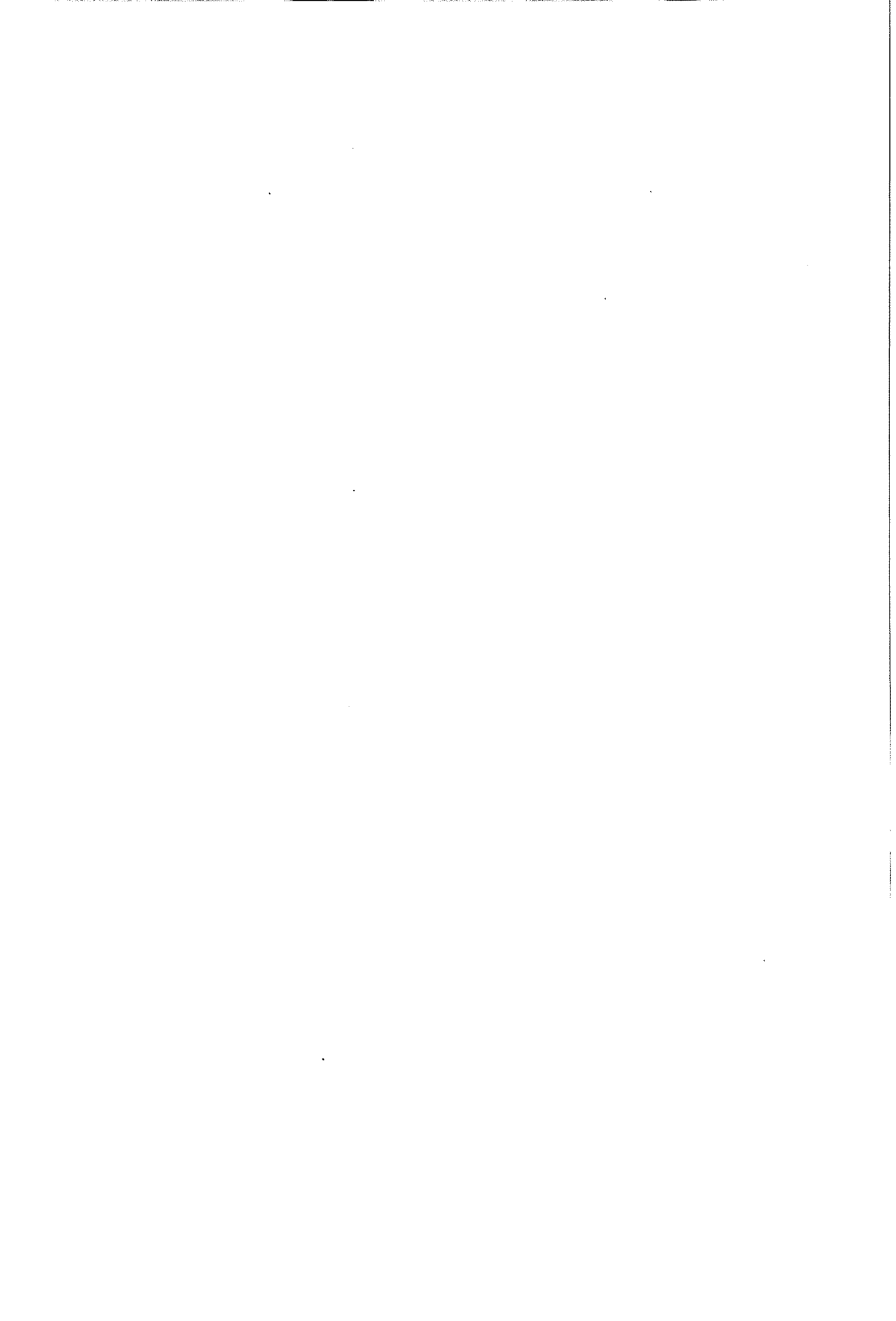
İDESTATİK programı, Mod Birleştirme Yöntemi'ne göre yaptığı analizlerde yeterli mod sayısının hesaplanmasında etkin modal kütle oranları toplamlarının, toplam bina kütlelerine oranının %100'ü geçtiği değere kadar mod sayısını yeterli bulmaktadır. Oysa TDY98'e göre bu oran %90'dır.

5. KAYNAKLAR

1. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Eğitim Merkezi, "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 85 s., İzmir, 1998.
2. İdeyapı Bilgisayar Destekli Tasarım Müh. Dan. Taah. Ltd.Şti., "İdestatik Referans El Kitabı", İdeyapı, 554 s., Bursa, 2001.
3. Celep,Z., Kumbasar,N., "Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanlı Yapı Tasarımı", 596 s., İstanbul, 2000.
4. Özmen,G., Orakdoğan,E., Darılmaz,K., "Örneklemlerle SAP2000", 172 s., İstanbul, 2002.
5. Kural,E., Özdemir,E.K., Yerli,H.R., Temel,B., "Yeni Deprem Yönetmeliğinin Analiz Bakımından Uygulamaları (Çözümlü Örnekler)", İnşaat Mühendisleri Odası Adana Şubesi, 114 s., Adana, 2000.
6. Kural,E., Tanrıkulu,A.K., Diindar,C., Tokgöz,S., "Yeni Deprem Yönetmeliğine Göre Bina Analiz ve Tasarımı", 127 s., Adana, 1998.
7. Baran,T., "Probina Orion 2000 Hazır Programının Yeni Deprem Yönetmeliği Bakımından İrdelenmesi", Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Y.Lisans Tezi, 239 s., Adana, 2001.
8. Clough,R., Penzien,J., "Dynamics of Structures. Mc.Graw-Hill Inc.", 738 s., Singapore, 1993.
9. Macit,F.K., "Asal Eksenleri Deprem Doğrultularına Paralel Olmayan Taşıyıcı Sistem Elemanlarına İlişkin Büyüklüklerin Düzeltilmesi", Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Y. Lisans Tezi, 250 s., Adana, 2000.

10. Duman,M., “*Sta4-Cad Hazır Programının Yeni Deprem Yönetmeliği Bakımından İrdelenmesi*”, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Y. Lisans Tezi, 137 s., Adana, 2000.

11. Aydınalev,F., “*Çok Katlı Yapıların Yeni Deprem Yönetmeliği'ne Göre Analizi ve Yapı Düzensizliklerinin İrdelenmesi*”, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Y.Lisans Tezi, 207 s., Adana, 2000.



GÜÇLENDİRİLMİŞ PLAK DÖŞEMELERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜMÜ

Beytullah TEMEL

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

ÖZET : *Bu çalışmada, güçlendirilmiş plak döşemelerin statik yükler altında analizi sonlu elemanlar yardımı ile incelenmiştir. Plak ve kiriş malzemeleri lineer elastik ve izotrop kabul edilerek temel denklemler yazılmıştır. Plak orta yüzeyi ile kiriş ekseninin aynı düzlemde olmaması nedeniyle dış merkezlik oluşmaktadır. Buna bağlı olarak plak orta yüzeyinin düzlem içi yer değiştirmeleri de gözönüne alınmıştır. Tabliyelerin keyfi bölgele olabileceği de düşünülerek genel bir dörtgen plak elemanı seçilip, plak elemanı için rijitlik matrisi sayısal olarak elde edilmiştir. Güçlendirilmiş plak döşemelerin statik analizi için genel amaçlı bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu çalışmada bulunan sonuçların literatür ile uyum içinde olduğu gösterilmiştir.*

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STIFFENED SLABS

ABSTRACT : *In this study, stiffened slabs subjected to the static loads are investigated with the aid the finite element method. The materials of the plate and beam are assumed to be linear elastic and isotropic. In the formulation, the eccentricity between plate mid-surface and beam axis and the in-plane displacements due to eccentricity are taken into account. The stiffness matrix for a general quadrilateral plate element is obtained numerically to be used for slabs of arbitrary shape. A general computer program is developed for the static analysis of stiffened slabs. The results obtained in this study are found to be in a good agreement with those available in the literature.*

* Bu çalışma Ç.Ü. Araştırma Projelerince desteklenmiştir (MMF2002 BAP.49).

1. GİRİŞ

Arada kolon arzu edilmeyen büyük açıklıklı döşemeler ve köprü tabliyeleri gibi taşıyıcı plaklar, tek veya iki doğrultuda kirişler ile takviye edilerek eğilme rijitlikleri artırılmaktadır. Plak ve kirişler aynı malzemeden üretildiği gibi bazen köprü tabliyelerinde boyuna kirişler çelik profillerden, plaklar ise betonarmeden yapılabilirlerdir.

Plak ve kirişin birlikte çalışmasında uygun bir model oluşturmak için üç farklı yaklaşım kullanılmaktadır. İlk yaklaşım, plak ve kiriş kompozit sistemi yerine eşdeğer bir düzlem ızgara kiriş sistemi kullanılmıştır. Bu elemanter yöntemle ait örnekler (1) ile (2) de bulunabilir. İkinci elemanter yaklaşım ise, plak ve kiriş sistemi yerine, eşdeğer rijitlikte homojen, ortotropik bir plak sistemi kullanılmaktadır. (3) ile (4) de verilen çalışmalar bu yöntemle örneklerdir. Üçüncü yaklaşımda, plağın kirişler üzerine, aralarında kayma olmaksızın oturduğu varsayılmakta ve kirişle plak arasında sadece kuvvet şeklinde etki-tepki olduğu kabul edilmektedir. Bu yaklaşıma, paralelkenar şeklindeki plak-kirişli köprü tabliyelerinde Sonlu Farklar Yöntemi ile sayısal çözümler (5) de verilmektedir.

Plak ve kiriş (eş merkezli ya da dış merkezli) sistemini monolitik olarak birlikte çalışmasını göz önüne alan ilk çalışmalar (6,7) de incelenmektedir. Takip eden çalışmada [8] lineer bir paralelkenar eleman kullanılıp Sonlu Elemanlar yaklaşımı yapılmaktadır. Değişik Sonlu Eleman formülasyonu (Kolleksiyon, Ritz, En Küçük Kareler gibi) sayısal ve deneysel araştırmalara (9-11) örnek verilebilir. Eksantrik kirişli döşemelerin çözümü için "Constraint Metod"unun Sonlu Elemanlara uygulanması (12) de yapılmıştır. Birçok araştırmacı, (12) de verilen, ortasında tek ve iki doğrultuda birer kirişi bulunan örnekleri çözerek adı geçen çalışma ile karşılaştırmalar yapmaktadır. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile eksantrik kirişli dikdörtgen plaklar ve eşdeğer ortotropik plaklar ile ilgili çeşitli örnek problemler (13) de çözülmüştür. (12) de ele alınan problemler, (13) çalışmasında da çözülmüş ve oldukça uygun sonuçlar elde edilmiştir. Düşey yükler altında, kirişlerle güçlendirilmiş plak eğilmesine ait çeşitli uygulamalar, (14-16) da bulunmaktadır.

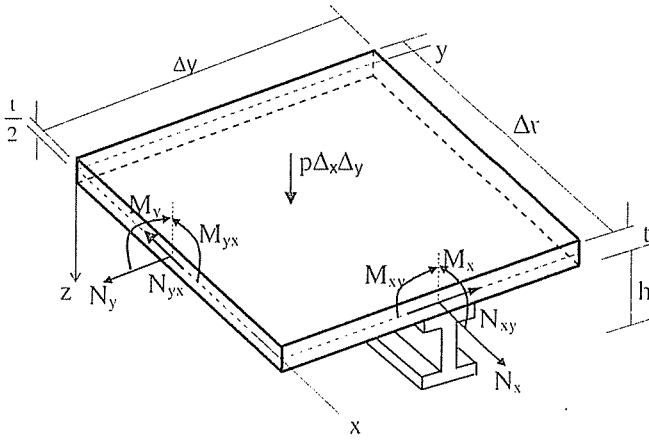
Karışık sınır koşulları kullanılarak eksantrik kirişli plak eğilmesine ait bazı uygulamaları (17) de, gemi yapıları için güçlendirilmiş plak eğilmesine ait bazı uygulamaları da (18) de bulmak mümkündür. (19) da Sonlu Elemanlar Yöntemi ile trapez şeklinde geometriye sahip tek açıklıklı bir döşeme çözülmüş ve literatür ile karşılaştırılmıştır. Yakın zamanda, Karışık Sonlu Elemanlar Yöntemi ile eksantrik kirişli plak eğilmesi için çeşitli uygulamalar yapılmıştır (20,21). Karışık Sonlu Elemanlar Yöntemine dayalı formülasyonlarda deplasmanlar ile gerilmeler aynı anda birlikte ele alınmaktadır.

Bu çalışmada, güçlendirilmiş plak döşemelerin düşey yükler altında çözümü için Sonlu Elemanlar Yöntemine dayalı, uygulamaya yönelik bir model sunulmuştur. Bu modelde plak ve kiriş malzemeleri ayrı ayrı lineer elastik ve izotrop kabul edilmiştir. Temel denklemler yazılırken plak orta düzleminin de şekil değiştirdiği kabul edilmiştir. Orta düzlemin düzlem içi deplasmanları için bilinear, düzleme dik düşey deplasmanı için ise bilinen kübik baz polinomları seçilmiştir. Literatürde de bu baz polinomları kullanılarak dikdörtgen plaklar için çözümler yapılagelmektedir. Aynı baz polinomları, burada plak referans elemanı için göz önüne alınıp, genel dörtgen bir plak elemanın

rijitlik matrisine ait şekil değiştirme matrisinin elemanları ise bu çalışmada elde edilmiştir. Plağın herhangi bir noktasının serbestlik derecesi, üç deplasman (u,v,w) ve iki dönme (θ_x, θ_y) olmak üzere beştir. Buna göre, dört düğümlü genel bir dörtgen plak elemanın rijitlik matrisi 20x20 boyutlu ve iki düğümlü kiriş elemanının rijitlik matrisi 10x10 boyutlu olmaktadır. Bu çalışmada, güçlendirilmiş döşemelerin keyfî geometriye sahip olabileceği de dikkate alınarak, genel bir dörtgen eleman için plak rijitlik matrisi ve yük vektörü sayısal olarak hesaplanmış ve bununla birlikte eksantrik kiriş elemanı için rijitlik matrisi de kapalı olarak verilmiştir.

2. KİRİŞLİ PLAKLAR İÇİN TEMEL DENKLEMLER

Şekil 1'deki eksantrik kirişli bir plak elemanı göz önüne alınmaktadır. Plak ve kiriş malzemelerinin ayrı ayrı elastik ve izotrop olduğu kabul edilmektedir. Plak deformasyonu ile ilgili kabuller yapılırken Kirchhoff plak teorisi göz önüne alınmış olup bu teoriye göre $\gamma_{xz}=\gamma_{yz}=0$ olarak alınmaktadır. z-doğrultusundaki çökme, w sadece x ve y nin fonksiyonudur. Çökme, plak kalınlığı yanında çok küçüktür. Deformasyondan önce plak ve kirişin orta düzlemine dik olan düzlemler deformasyondan sonra da orta düzleme dik kalırlar.



Şekil 1. Eksantrik kirişli plak elemanı

Herhangi bir noktadaki yer değiştirmeler aşağıda verilmektedir [8].

$$U(z) = u - z \frac{\partial w}{\partial x}, \quad V(z) = v - z \frac{\partial w}{\partial y}, \quad (1)$$

Burada, U ve V, referans yüzeyinden z- mesafesinde oluşan, sırasıyla x- ve y-doğrultularındaki deplasmanlardır. u, v ve w referans yüzeyindeki deplasman bileşenleridir. Referans yüzeyi olarak plak orta düzlemi alınmaktadır.

Aşağıdaki şekil değiştirme-deplasman bağıntıları (1) eşitliklerinin türevlerinden yazılmıştır.

$$\begin{aligned}
\varepsilon_x &= \frac{\partial U}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial x} - z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\
\varepsilon_y &= \frac{\partial V}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial y} - z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\
\gamma_{xy} &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} - 2z \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}
\end{aligned} \tag{2}$$

Burada, ε_x , ε_y ve γ_{xy} şekil değiştirme oranlarıdır. İzotropik plaklar için düzlem gerilme halinde bünye denklemleri

$$\begin{aligned}
\sigma_x &= c_{11}\varepsilon_x + c_{12}\varepsilon_y \\
\sigma_y &= c_{21}\varepsilon_x + c_{22}\varepsilon_y \\
\tau_{xy} &= c_{33}\gamma_{xy}
\end{aligned} \tag{3}$$

olup, burada c_{11} , c_{22} , c_{12} ve c_{33} malzeme sabitleri (4) de verilmektedir.

$$c_{11} = c_{22} = \frac{E_p}{1 - \nu^2}, \quad c_{12} = c_{21} = \frac{\nu E_p}{1 - \nu^2}, \quad c_{33} = \frac{E_p}{2(1 + \nu)} \tag{4}$$

2.1. Plaklar İçin Gerilme-Deplasman Bağlıları

(2) ifadeleri (3) denklemlerinde yerlerine konursa,

$$\begin{aligned}
\sigma_x &= c_{11} \left(\frac{\partial u}{\partial x} - z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) + c_{12} \left(\frac{\partial v}{\partial y} - z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \\
\sigma_y &= c_{21} \left(\frac{\partial u}{\partial x} - z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) + c_{22} \left(\frac{\partial v}{\partial y} - z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \\
\tau_{xy} &= c_{33} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} - 2z \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)
\end{aligned} \tag{5}$$

plaklar için gerilme-deplasman ilişkisi yazılmaktadır.

2.2. Gerilme Bileşikleri-Deplasman Bağlıları

Plak elemanına ait düzlemsel hal için gerilme bileşikleri,

$$\begin{aligned}
N_{xp} &= \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_x dz = c_{11} t \frac{\partial u}{\partial x} + c_{12} t \frac{\partial v}{\partial y} \\
N_{yp} &= \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_y dz = c_{21} t \frac{\partial u}{\partial x} + c_{22} t \frac{\partial v}{\partial y} \\
N_{xyp} &= \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{xy} dz = c_{33} t \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)
\end{aligned} \tag{6}$$

ve plak eğilmesi hali için gerilme bileşkeleri,

$$\begin{aligned}
 M_{xp} &= \int_{-l/2}^{l/2} z\sigma_x dz = -\left(D_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + D_1 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right) \\
 M_{yp} &= \int_{-l/2}^{l/2} z\sigma_y dz = -\left(D_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + D_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right) \\
 M_{xyp} &= -\int_{-l/2}^{l/2} z\tau_{xy} dz = 2D_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}
 \end{aligned} \tag{7}$$

(5) ifadelerinin plak kalınlığı boyunca integralleri alınarak bulunmuş olup, malzeme sabitleri aşağıda verilmektedir.

$$D_x = D_y = \frac{t^3 c_{11}}{12}, \quad D_1 = \frac{t^3 c_{12}}{12}, \quad D_{xy} = \frac{t^3 c_{33}}{12} \tag{8}$$

2.3. Kiriş İçin Gerilme-Deplasman Bağıntısı

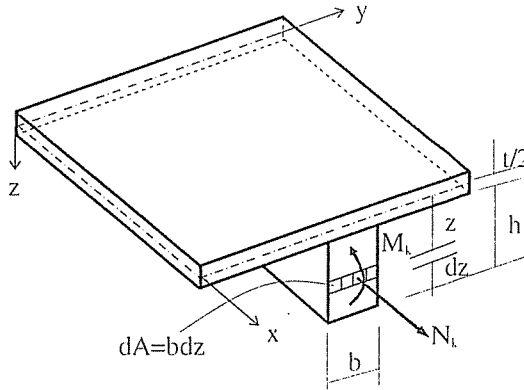
Kiriş için gerilme-deplasman bağıntısı,

$$\sigma_x = E_k \left(\frac{\partial u}{\partial x} - z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \tag{9}$$

olup, E_k , kirişin elastisite modülüdür.

Dış merkez (eksantrik) kiriş elemanı için gerilme bileşkeleri, kiriş kesiti boyunca (9) ifadesinin integralleri alınarak bulunmaktadır.

$$\begin{aligned}
 N_x &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x dA = E_k A_x \frac{\partial u}{\partial x} - E_k S_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\
 M_x &= \int_{-h/2}^{h/2} z\sigma_x dA = E_k S_x \frac{\partial u}{\partial x} - E_k I_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}
 \end{aligned} \tag{10}$$

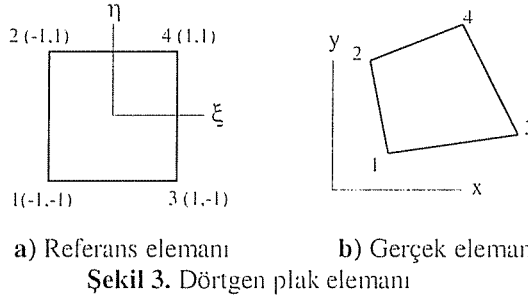


Şekil 2. Kirişte gerilme bileşkeleri

Burada, A_k , kiriş kesit alanını, $S_k (=eA_k)$ ve I_k , referans düzlemine göre kiriş statik momentini ve atalet momentini göstermektedir. e ise, referans düzlemi ile kiriş eksenindeki eksantrisite mesafesidir.

3. PLAK ELEMANI İÇİN FORMÜLASYON

Eleman rijitlik matrisinin formülasyonu için düzlemsel hal ve plak eğilmesi hali ayrı ayrı ele alınıp, şekil değiştirme-deplasman ilişkisi yazılırken birleştirilecektir.



Şekil 3. Dörtgen plak elemanı

Plak elemanının herhangi bir noktasının koordinatları düğüm koordinatları cinsinden,

$$\begin{Bmatrix} x \\ y \end{Bmatrix} = \sum_{i=1}^4 \begin{bmatrix} \bar{N}_i & 0 \\ 0 & \bar{N}_i \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_i \\ y_i \end{Bmatrix} \quad (11)$$

şeklinde ifade edilmektedir. **Düzlemsel halde** herhangi bir noktanın deplasmanları,

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \sum_{i=1}^4 \begin{bmatrix} \bar{N}_i & 0 \\ 0 & \bar{N}_i \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \end{Bmatrix} \quad (12)$$

(12) bağıntısı ile verilmektedir. Düzlem içi deplasmanlar için bilinear baz polinomları seçilerek aşağıdaki interpolasyon şekil fonksiyonları elde edilmektedir.

$$\bar{N}_1 = (-1+\eta)(-1+\xi)/4, \quad \bar{N}_2 = (1+\eta)(1-\xi)/4, \quad \bar{N}_3 = (1-\eta)(1+\xi)/4, \quad \bar{N}_4 = (1+\eta)(1+\xi)/4 \quad (13)$$

Plak eğilmesi halinde referans elemanına ait w , çökme (düşey deplasman) için kübik baz polinomları (Ref. 22) seçilmektedir.

$$w = a_1 + a_2\xi + a_3\eta + a_4\xi^2 + a_5\xi\eta + a_6\eta^2 + a_7\xi^3 + a_8\xi^2\eta + a_9\xi\eta^2 + a_{10}\eta^3 + a_{11}\xi^3\eta + a_{12}\xi\eta^3 \quad (14)$$

θ_ξ ve θ_η dönmeleri çökmenin türevlerinden hesaplanmaktadır.

$$\theta_\xi = -\frac{\partial w}{\partial \eta}, \quad \theta_\eta = \frac{\partial w}{\partial \xi} \quad (15)$$

Burada, (14) bağıntısı matris formunda

$$w = \{P\}^T \{a\} \quad (16)$$

kapalı olarak yazılıp,

$$\{P\}^T = \{1, \xi, \eta, \xi^2, \xi\eta, \eta^2, \xi^3, \xi^2\eta, \xi\eta^2, \eta^3, \xi^3\eta, \xi\eta^3\} \quad (17)$$

ve

$$\{a\}^T = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}\} \quad (18)$$

tarifleri yapılmaktadır. Herhangi bir noktanın çökme ve dönmeleri matris formunda,

$$\begin{Bmatrix} w \\ \theta_z \\ \theta_\eta \\ \theta_\xi \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{P^T}{\partial P^T} \\ \frac{\partial \eta}{\partial P^T} \\ \frac{\partial P^T}{\partial \xi} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \cdot \\ a_{12} \end{Bmatrix} \quad (19)$$

yazılıp, $[C_i]$ matrisi referans elemanın 4 düğümü için oluşturulursa,

$$[C] = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{bmatrix} \quad (20)$$

ifadesi elde edilir. Buradan $[C]$ matrisinin tersi alınıp, $\{N\}^T = \{P\}^T [C]^{-1}$ eşitliği çözülerek plak eğilmesi haline ait interpolasyon şekil fonksiyonları elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} N_1 &= -(-1+\xi)(-1+\eta)(-2+\xi+\xi^2+\eta+\eta^2)/8 & N_2 &= (-1+\xi)(-1+\eta)^2(1+\eta)/8 \\ N_3 &= -(-1+\xi)^2(1+\xi)(-1+\eta)/8 & N_4 &= (-1+\xi)(1+\eta)(-2+\xi+\xi^2-\eta+\eta^2)/8 \\ N_5 &= (-1+\xi)(-1+\eta)(1+\eta)^2/8 & N_6 &= (-1+\xi)^2(1+\xi)(1+\eta)/8 \\ N_7 &= (1+\xi)(-1+\eta)(-2-\xi+\xi^2+\eta+\eta^2)/8 & N_8 &= -(1+\xi)(-1+\eta)^2(1+\eta)/8 \\ N_9 &= -(-1+\xi)(1+\xi)^2(-1+\eta)/8 & N_{10} &= -(1+\xi)(1+\eta)(-2-\xi+\xi^2-\eta+\eta^2)/8 \\ N_{11} &= -(1+\xi)(-1+\eta)(1+\eta)^2/8 & N_{12} &= (-1+\xi)(1+\xi)^2(1+\eta)/8 \end{aligned} \quad (21)$$

Referans elemanın herhangi bir noktasının çökmesi düğüm deplasmanları cinsinden,

$$w(\xi, \eta) = \{N\}^T \{d\}_{re} \quad (22)$$

olup, burada, $\{N\}$ şekil fonksiyonları vektörü,

$$\{N\}^T = \{N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}\} \quad (23)$$

ve $\{d\}_{re}$, referans elemanın düğüm deplasmanları,

$$\{d\}_{re}^T = \{w_1, \theta_{\xi 1}, \theta_{\eta 1}, w_2, \theta_{\xi 2}, \theta_{\eta 2}, w_3, \theta_{\xi 3}, \theta_{\eta 3}, w_4, \theta_{\xi 4}, \theta_{\eta 4}\} \quad (24)$$

açık olarak yazılmaktadır. Gerçek elemana ait deplasmanları yazabilmek için Jacobian matrisi $[J]$ ve bunun tersine ihtiyaç vardır.

$$[J] = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^4 \frac{\partial \bar{N}_i}{\partial \xi} x_i & \sum_{i=1}^4 \frac{\partial \bar{N}_i}{\partial \xi} y_i \\ \sum_{i=1}^4 \frac{\partial \bar{N}_i}{\partial \eta} x_i & \sum_{i=1}^4 \frac{\partial \bar{N}_i}{\partial \eta} y_i \end{bmatrix}, \quad [J]^{-1} = [J]^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \xi}{\partial x} & \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ \frac{\partial \xi}{\partial y} & \frac{\partial \eta}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (25)$$

Dönmelerin, gerçek eleman ile referans elemanı arasındaki ilişkisi,

$$\frac{\partial w}{\partial \xi} = \theta_{\eta} = J_{11} \frac{\partial w}{\partial x} + J_{12} \frac{\partial w}{\partial y} \quad (26.a)$$

$$\frac{\partial w}{\partial \eta} = \theta_{\xi} = J_{21} \frac{\partial w}{\partial x} + J_{22} \frac{\partial w}{\partial y} \quad (26.b)$$

(26) tarifleri ile yazılabilmektedir. Bu tarifler kullanılarak, (22) eşitliği, gerçek elemana ait herhangi bir noktanın çökmesi cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$\begin{aligned} w(x,y) = & N_1 w_1 + (N_2 J_{22} + N_3 J_{12}) w_{1,y} + (N_2 J_{21} + N_3 J_{11}) w_{1,x} \\ & + N_4 w_2 + (N_5 J_{22} + N_6 J_{12}) w_{2,y} + (N_5 J_{21} + N_6 J_{11}) w_{2,x} \\ & + N_7 w_3 + (N_8 J_{22} + N_9 J_{12}) w_{3,y} + (N_8 J_{21} + N_9 J_{11}) w_{3,x} \\ & + N_{10} w_4 + (N_{11} J_{22} + N_{12} J_{12}) w_{4,y} + (N_{11} J_{21} + N_{12} J_{11}) w_{4,x} \end{aligned} \quad (27)$$

Burada,

$$w_{i,x} = \frac{\partial w_i}{\partial x} = \theta_{y_i}, \quad w_{i,y} = \frac{\partial w_i}{\partial y} = \theta_{x_i} \quad (28)$$

tarifleri yapılmaktadır.

3.1. Şekil Değiştirme-Deplasman İlişkisi

Düzlemsel hal ve plak eğilmesi hali birlikte gözönüne alındığında, gerçek elemana ait herhangi bir noktanın şekil değiştirmeleri,

$$\{\varepsilon\}^T = \left\{ \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}, \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}, -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}, 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right\} \quad (29)$$

olup, şekil değiştirmeler ile düğüm deplasmanları arasındaki ilişki şöyledir:

$$\{\varepsilon\} = \sum_{i=1}^4 \underbrace{\begin{bmatrix} B_{11i} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & B_{22i} & 0 & 0 & 0 \\ B_{31i} & B_{32i} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & B_{43i} & B_{44i} & B_{45i} \\ 0 & 0 & B_{53i} & B_{54i} & B_{55i} \\ 0 & 0 & B_{63i} & B_{64i} & B_{65i} \end{bmatrix}}_{[B_i]} \underbrace{\begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \\ \theta_{xi} \\ \theta_{yi} \end{Bmatrix}}_{\{d_i\}} = [B] \{d\}_c \quad (30)$$

Burada, $\{d\}_e$, gerçek elemanın düğüm deplasmanlarını göstermektedir.

$$\{d\}_e^T = \{u_1, v_1, w_1, \theta_{x1}, \theta_{y1}, u_2, v_2, w_2, \theta_{x2}, \theta_{y2}, u_3, v_3, w_3, \theta_{x3}, \theta_{y3}, u_4, v_4, w_4, \theta_{x4}, \theta_{y4}\} \quad (31)$$

(30) eşitliğindeki $[B_i]$ matrisinin elemanları bu çalışmada elde edilmiş ve (32) ifadeleri ile sunulmuştur.

$$\begin{aligned} B_{1i} &= \frac{\partial \bar{N}_i}{\partial x}, \quad B_{2i} = \frac{\partial \bar{N}_i}{\partial y}, \quad B_{3i} = \frac{\partial \bar{N}_i}{\partial y}, \quad B_{4i} = \frac{\partial \bar{N}_i}{\partial x} \\ B_{5i} &= -\left(\frac{\partial^2 N_i}{\partial x^2}\right), \quad B_{6i} = -\left(\frac{\partial^2 N_i}{\partial y^2}\right), \quad B_{7i} = 2\left(\frac{\partial^2 N_i}{\partial x \partial y}\right), \quad (i=1,2,3,4) \\ B_{8j} &= -\left(J_{11} \frac{\partial^2 N_{i1}}{\partial x^2} + J_{12} \frac{\partial^2 N_{i2}}{\partial x^2} + 2J_{11} \frac{\partial J_{21}}{\partial \xi} \frac{\partial N_{i1}}{\partial x} + 2J_{12} \frac{\partial J_{12}}{\partial \eta} \frac{\partial N_{i2}}{\partial x}\right), \quad (j=i*3-2) \\ B_{9j} &= -\left(J_{21} \frac{\partial^2 N_{i1}}{\partial y^2} + J_{22} \frac{\partial^2 N_{i2}}{\partial y^2} + 2J_{21} \frac{\partial J_{21}}{\partial \xi} \frac{\partial N_{i1}}{\partial y} + 2J_{22} \frac{\partial J_{12}}{\partial \eta} \frac{\partial N_{i2}}{\partial y}\right), \quad (32) \\ B_{10j} &= 2\left(J_{12} \frac{\partial^2 N_{i1}}{\partial x \partial y} + J_{12} \frac{\partial^2 N_{i2}}{\partial x \partial y} + J_{21} \frac{\partial J_{21}}{\partial \xi} \frac{\partial N_{i1}}{\partial x} + J_{11} \frac{\partial J_{22}}{\partial \xi} \frac{\partial N_{i1}}{\partial y} + J_{22} \frac{\partial J_{12}}{\partial \eta} \frac{\partial N_{i2}}{\partial x} + J_{12} \frac{\partial J_{12}}{\partial \eta} \frac{\partial N_{i2}}{\partial y}\right), \\ B_{11j} &= -\left(J_{21} \frac{\partial^2 N_{i1}}{\partial x^2} + J_{11} \frac{\partial^2 N_{i2}}{\partial x^2} + 2J_{11} \frac{\partial J_{21}}{\partial \xi} \frac{\partial N_{i1}}{\partial x} + 2J_{12} \frac{\partial J_{11}}{\partial \eta} \frac{\partial N_{i2}}{\partial x}\right), \\ B_{12j} &= -\left(J_{21} \frac{\partial^2 N_{i1}}{\partial y^2} + J_{11} \frac{\partial^2 N_{i2}}{\partial y^2} + 2J_{21} \frac{\partial J_{21}}{\partial \xi} \frac{\partial N_{i1}}{\partial y} + 2J_{22} \frac{\partial J_{11}}{\partial \eta} \frac{\partial N_{i2}}{\partial y}\right), \\ B_{13j} &= 2\left(J_{21} \frac{\partial^2 N_{i1}}{\partial x \partial y} + J_{11} \frac{\partial^2 N_{i2}}{\partial x \partial y} + J_{21} \frac{\partial J_{21}}{\partial \xi} \frac{\partial N_{i1}}{\partial x} + J_{11} \frac{\partial J_{21}}{\partial \xi} \frac{\partial N_{i1}}{\partial y} + J_{22} \frac{\partial J_{11}}{\partial \eta} \frac{\partial N_{i2}}{\partial x} + J_{12} \frac{\partial J_{11}}{\partial \eta} \frac{\partial N_{i2}}{\partial y}\right), \end{aligned}$$

(32) ifadelerinde yer alan birinci ve ikinci kısmi türevler aşağıdaki tariflere göre yapılmıştır.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} &= J_{11} \frac{\partial}{\partial \xi} + J_{12} \frac{\partial}{\partial \eta}, \quad \frac{\partial}{\partial y} = J_{21} \frac{\partial}{\partial \xi} + J_{22} \frac{\partial}{\partial \eta} \\ \frac{\partial^2}{\partial x^2} &= (J_{11})^2 \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} + 2J_{11}J_{12} \frac{\partial^2}{\partial \xi \partial \eta} + (J_{12})^2 \frac{\partial^2}{\partial \eta^2} \\ \frac{\partial^2}{\partial y^2} &= (J_{21})^2 \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} + 2J_{21}J_{22} \frac{\partial^2}{\partial \xi \partial \eta} + (J_{22})^2 \frac{\partial^2}{\partial \eta^2} \\ \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} &= J_{11}J_{21} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} + (J_{12}J_{21} + J_{11}J_{22}) \frac{\partial^2}{\partial \xi \partial \eta} + J_{12}J_{22} \frac{\partial^2}{\partial \eta^2} \end{aligned} \quad (33)$$

3.2. Gerilme-Şekil Değişirme İlişkisi

Plak için gerilme-şekil değişirme ilişkisi,

$$\begin{Bmatrix} N_{xp} \\ N_{yp} \\ N_{zp} \\ M_{xp} \\ M_{yp} \\ M_{zp} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11}t & c_{12}t & 0 & 0 & 0 & 0 \\ c_{21}t & c_{22}t & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_{33}t & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & D_x & D_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & D_y & D_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D_{xy} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ 2\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix} \quad (34)$$

olup, [E] malzeme matrisinin elemanları (4) ve (8) eşitliklerinde verilmektedir. (30) eşiliğinde verilen $\{\varepsilon\}$, (34) de yerine konursa,

$$\{\sigma\} = [E] [B] \{d\}_e \quad (35)$$

plak elemanın herhangi bir noktasında gerilme bileşikleri ile düğüm deplasmanları arasındaki ilişki elde edilmektedir.

3.3. Plak Elemanı Rijitlik Matrisi ve Yük Vektörü

Plak rijitlik matrisi, elemanın 4 düğüm noktası için $[B] = [B_1, B_2, B_3, B_4]$ olmak üzere,

$$[k_p] = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [E] [B] \det[J] d\xi d\eta \quad (36)$$

(36) ifadesi ile hesaplanmaktadır. Plak düzlemine dik olarak etkiyen üniform yayılı yük altında eleman yük vektörü de,

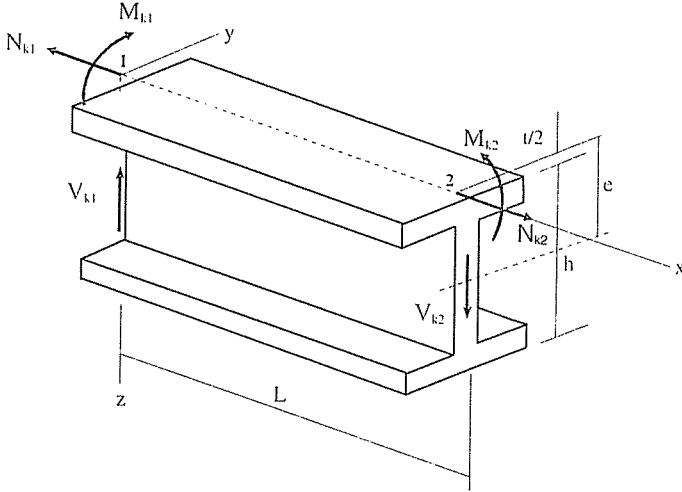
$$\{f_p\} = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \{N^e\}^T p \det[J] d\xi d\eta \quad (37)$$

integrali ile hesaplanmaktadır. (36) ve (37) ifadelerinin integralleri, Gauss sayısal integral yöntemi ile (3x3 Gauss integrasyon noktası alınarak) yapılmaktadır. Burada p, plak yüzeyine etkiyen üniform yayılı yükü göstermektedir. $\{N^e\}^T$ ise,

$$\begin{aligned} \{N^e\}^T = & \{0, 0, N_1, (N_2 J_{22} + N_3 J_{12}), (N_2 J_{21} + N_3 J_{11}), \\ & 0, 0, N_4, (N_5 J_{22} + N_6 J_{12}), (N_5 J_{21} + N_6 J_{11}), \\ & 0, 0, N_7, (N_8 J_{22} + N_9 J_{12}), (N_8 J_{21} + N_9 J_{11}), \\ & 0, 0, N_{10}, (N_{11} J_{22} + N_{12} J_{12}), (N_{11} J_{21} + N_{12} J_{11}) \} \end{aligned} \quad (38)$$

şeklinde yazılmaktadır.

4. EKSANTRİK KİRİŞ ELEMANI İÇİN FORMÜLASYON



Şekil 4. Eksantrik kiriş elemanı ve pozitif uç kuvvetleri

Kiriş elemanı, plak elemanının kenarları boyunca alınmaktadır. Şekil 4’de görülen eksantrik kiriş elemanı x- eksenine doğrultusundadır. Herhangi bir noktada u deplasmanı doğrusal, w deplasmanı ise kübik terimler içermektedir. Kirişin herhangi bir noktasında u, w yer değiştirmeleri ve θ_y dönmesi,

$$\begin{Bmatrix} u \\ w \\ \frac{\partial w}{\partial x} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & x & x^2 & x^3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 2x & 3x^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \\ \alpha_5 \\ \alpha_6 \end{Bmatrix} \quad (39)$$

matris formunda yazılabilir. Elemanın iki ucunda 10 adet deplasman bulunmaktadır. Eksantrik kirişin bir düğümünde u, v, w deplasmanları ile $\partial w / \partial y$, $\partial w / \partial x$ dönmeleri göz önüne alınmalıdır. Düzlemi içinde şekil değiştiren bir çubuk için rijitlik matrisi elde edilirken sadece u aksenal deformasyon ile w çökmesi ve $\partial w / \partial x$ dönmenin etkisi göz önüne alınmaktadır. Diğerlerinin etkisi rijitlik matrisi elde edildikten sonra eklenecektir.

(39) bağıntısı elemanın iki ucu için,

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ w_2 \\ \theta_{y1} \\ u_2 \\ w_2 \\ \theta_{y2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & L & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L & L^2 & L^3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 2L & 3L^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \\ \alpha_5 \\ \alpha_6 \end{Bmatrix} \quad (40)$$

veya kısaca,

$$\{d_i\} = [C_i]\{\alpha\} \quad (41.a)$$

yazılabilir. Buradan,

$$\{\alpha\} = [C_i]^{-1}\{d_i\} \quad (41.b)$$

olarak çözümlür. Kiriş elemanı için şekil değiştirme-deplasman ilişkisi,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \end{Bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & -6x \end{bmatrix}}_{[Q_i]} \{\alpha\} \quad (42)$$

veya kısaca,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_i \\ \chi_i \end{Bmatrix} = [Q_i][C_i]^{-1}\{d_i\} \quad (43)$$

şeklinde yazılabilir. (10) denklemleri matris formunda,

$$\begin{Bmatrix} N_i \\ M_i \end{Bmatrix} = E_i \underbrace{\begin{bmatrix} A_i & S_i \\ S_i & I_i \end{bmatrix}}_{[D_i]} \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \end{Bmatrix} \quad (44)$$

yazılıp, (43) ifadesi burada yerine konursa,

$$\begin{Bmatrix} N_i \\ M_i \end{Bmatrix} = [D_i][Q_i][C_i]^{-1}\{d_i\} \quad (45)$$

bulunur. Kiriş elemanına verilen virtüel deplasman nedeniyle iç kuvvetlerin virtüel işi,

$$\delta W_i = \int_u^i \begin{Bmatrix} \delta \varepsilon_i \\ \delta \chi_i \end{Bmatrix}^T \begin{Bmatrix} N_i \\ M_i \end{Bmatrix} dx \quad (46)$$

olup, dış kuvvetlerin virtüel işi de virtüel uç deplasmanları birim alarak,

$$\delta W_e = \{f_i\}[I] = \{f_i\} \quad (47)$$

bulunur. İç kuvvetlerin virtüel işi = dış kuvvetlerin virtüel işi, ilkesinden aşağıdaki eleman rijitlik denklemi elde edilmektedir.

$$\{f_k\} = \underbrace{\left([C_k]^T \right)^T \left(\int_0^L Q_k I'' D_k \| Q_k \| dx \right)}_{[k_k]} C_k I^T \{d_k\} \quad (48)$$

(48) ifadesindeki $[k_k]$, burulma ve v deplasmanı içermeyen rijitlik matrisidir.

Burulma açısının kiriş elemanı boyunca doğrusal değiştiği varsayılmaktadır. Kiriş elemanın uçlarındaki $w_{1,y}$ ve $w_{2,y}$ dönmeler, burulma momentleri oluşturmaktadır. Matris formunda aşağıda verilmektedir.

$$\begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{GJ}{L} & -\frac{GJ}{L} \\ -\frac{GJ}{L} & \frac{GJ}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} w_{1,y} \\ w_{2,y} \end{Bmatrix} \quad (49)$$

Burada T_1 ve T_2 burulma momentlerini, G , kayma modülünü, J ise, burulma atalet momentini simgelemektedir. Kiriş elemanı plaklarla birlikte çalışacağı için, y-doğrultusunda v_1 ve v_2 uç deplasmanlarından doğan yanal kuvvetler olacaktır. Bunlar,

$$\begin{Bmatrix} N_{v1} \\ N_{v2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{12 E_k I_x}{L^3} & -\frac{12 E_k I_x}{L^3} \\ -\frac{12 E_k I_x}{L^3} & \frac{12 E_k I_x}{L^3} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{Bmatrix} \quad (50)$$

matris şeklinde yazılmaktadır. (49) ve (50) denklemlerinde görülen rijitlikler, $[k_k]$ eleman rijitlik matrisine uygun bir şekilde eklenirse,

$$\{f_k\} = [k_k] \{d_k\} \quad (51)$$

eleman rijitlik denklemi elde edilir. Burada $[k_k]$, eleman rijitlik matrisi ve $\{d_k\}$ eleman uç deplasmanlarının bileşenleri (52) eşitliğinde açık olarak görülmektedir.

$$\begin{Bmatrix} N_{k1} \\ N_{xy1} \\ V_{k1} \\ T_{k1} \\ M_{k1} \\ N_{k2} \\ N_{xy2} \\ V_{k2} \\ T_{k2} \\ M_{k2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E A}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{E S}{L} & -\frac{E A}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{E S}{L} \\ \frac{12 E_k I_x}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{12 E_k I_x}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12 E_k I_x}{L^3} & 0 & \frac{6 E_k I_x}{L} & 0 & 0 & -\frac{12 E_k I_x}{L^3} & 0 & \frac{6 E_k I_x}{L} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{4 E_k I_x}{L} & \frac{E S}{L} & 0 & -\frac{6 E_k I_x}{L} & 0 & \frac{2 E_k I_x}{L} & \frac{E S}{L} \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{6 E_k I_x}{L} & \frac{E A}{L} & 0 & 0 & 0 & -\frac{E S}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{12 E_k I_x}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{12 E_k I_x}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{6 E_k I_x}{L} & 0 & -\frac{6 E_k I_x}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{4 E_k I_x}{L} & -\frac{E S}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \\ \theta_{x1} \\ y_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ w_2 \\ \theta_{x2} \\ y_2 \end{Bmatrix} \quad (52)$$

(52) eşitliğinde A_k , kirişin kesit alanını, $S_k (=A_k e)$, referans yüzeyine göre kirişin statik momentini, e ise eksantrisiteyi, I_x , kirişin referans yüzeyine göre atalet momentini ve I_y ise kirişin diğer yöndeki atalet momentini göstermektedir. Bu denklem ile hesaplanan kiriş uç kuvvetleri referans yüzeyindeki düğüm noktalarında hesaplanmaktadır. Uç kuvvetlerini kirişin kendi ekseninde hesaplayabilmek için eğilme momentlerinin transformasyonları yapılmaktadır.

$$M'_{11} = M_{11} + e N_{11} \quad \text{ve} \quad M'_{12} = M_{12} + e N_{12} \quad (53)$$

Kiriş kesiti boyunca herhangi bir noktadaki gerilme, (43) ifadesindeki $\partial u / \partial x$ ve $\partial^2 w / \partial x^2$ terimleri (9) da yerlerine konularak bulunmaktadır. Buraya kadar yapılan işlemler eksantrik (dış merkezli) kirişler içindir. Özel olarak eksantrisitenin sıfır olması durumunda konsantrik (eş merkezli) kirişler de çözülebilmektedir.

Kiriş rijitlik matrisini ortak bir sistem koordinat takımında yazabilmek için aşağıdaki transformasyon yapılmaktadır.

$$[T] = \begin{bmatrix} [t] & 0 \\ 0 & [t] \end{bmatrix}, \quad [t] = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & 0 & 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \quad (54)$$

Sistem koordinatlarında eleman rijitlik matrisi şöyle yazılabilir.

$$[k'_e] = [T]^T [k_e] [T] \quad (55)$$

5. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu çalışmada, sonlu eleman formülasyonu kullanılarak, güçlendirilmiş plak döşemelerin düzlemine dik statik yükler altında analizini yapan genel amaçlı KPLAK isimli Fortran dilinde bir bilgisayar programı hazırlanmıştır.

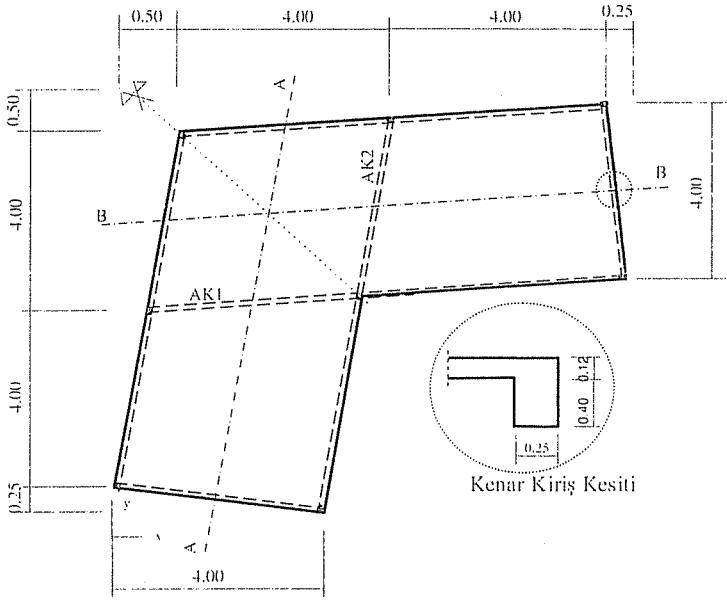
Hazırlanan bilgisayar programını test etmek amacıyla, literatürde (22) çeşitli sınır şartları için verilen kare plakın sonlu elemanlar çözümleri ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Karşılaştırmalarda, kenarları basit ve ankastre mesnetli, üniform yüklü kare plakın sonlu eleman sonuçları ile aynı değerler bulunmuş, bu problemin analitik çözümlerine de oldukça yakın değerler elde edilmiştir.

Bu çalışmada, keyfi dörtgen geometriye sahip kirişli plakların eğilmesi için bir örnek problem ele alınmıştır. Çeşitli kiriş birleşim durumları için ANSYS(23) sonuçları ile kıyaslamalar yapılmıştır. Ayrıca, eksantrik (eş merkez) ve konsantrik (dış merkez) kirişli birleşimlerin plak eğilme rijitliğine etkileri de araştırılmıştır.

Örnek: L Şeklinde Keyfi Dörtgen Bölge Kirişli Döşeme

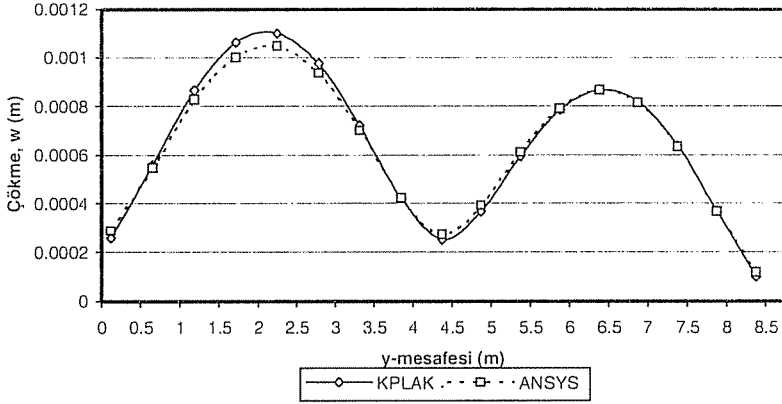
Şekil 5'de görülen kenarlarında ve döşeme arakesitlerinde eksantrik kirişler bulunan L şeklindeki keyfi dörtgen plak döşeme, kiriş birleşim noktalarında kolonlara mesnetlenmiş ve 6500 N/m^2 şiddetinde üniform yayılı yüklerle yüklenmiştir. Plak ve kirişlerin elastisite modülü, $2.85 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ ve Poisson oranı 0.15 seçilmiştir. Problem.

bu çalışmada hazırlanan KPLAK programı ile çözülmüştür. Çözümler yapılırken her bir açıklık 8 elemana bölünerek sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur. Sınır şartları olarak mesnetlerde sadece w , dikey deplasmanlar tutulmuştur. Aynı problem döşeme arakesitlerindeki kirişlerin (AK1 ve AK2) mevcut olmaması durumu için ayrıca çözülmüştür. Bununla birlikte kirişlerin eş merkezli olması durumu için çözümler yapılmış ve kirişlerin dış merkezli olması durumuna ait çözümler ile karşılaştırılmıştır.

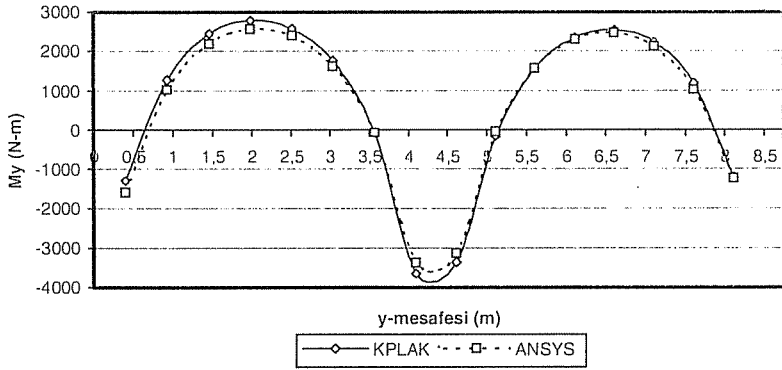


Şekil 5. L şeklinde keyfi dörtgen bölgeyi döşeme

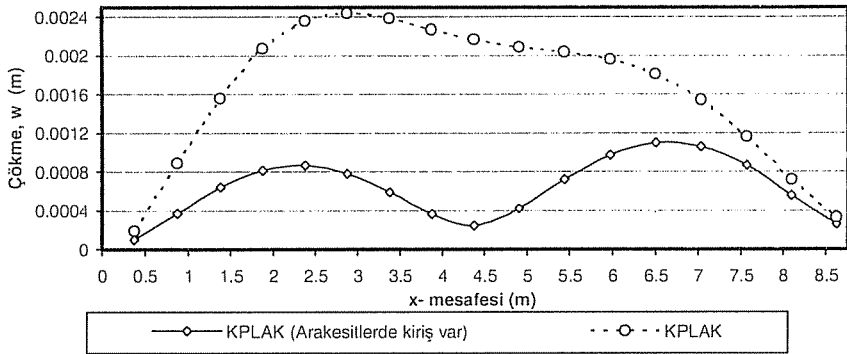
Şekil 6 ve Şekil 7'de, döşeme arakesitlerinde AK1 ve AK2 kirişlerinin mevcut olması durumu için A-A aksı boyunca çökme ve plak M_y momentlerinin değişimi, bu çalışmada hazırlanan KPLAK ve ANSYS programlarının sonuçları karşılaştırılmıştır. Şekil 8 ve Şekil 9'da döşeme arakesitlerinde AK1 ve AK2 kirişlerinin mevcut olup olmaması durumları için B-B aksı boyunca çökme ve plak M_x momentleri karşılaştırılmıştır. Şekil 10 ve Şekil 11'de, tüm kiriş enkesitlerinin eş merkez ve dış merkezli birleşimler için B-B aksı boyunca çökme ve plak M_x momentleri karşılaştırılmıştır.



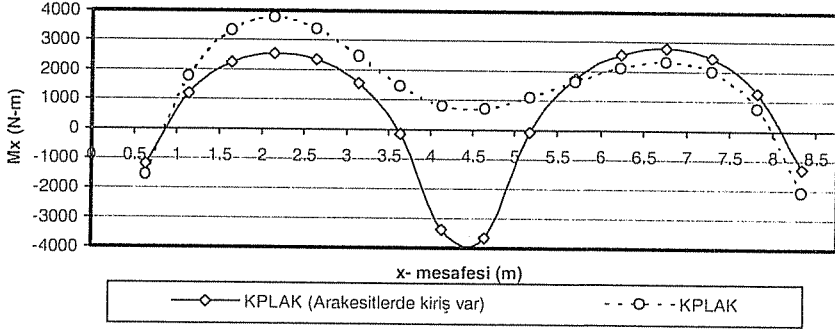
Şekil 6. A-A Aksı boyunca çökmelerin değişimi (eksantrik kirişli hal)



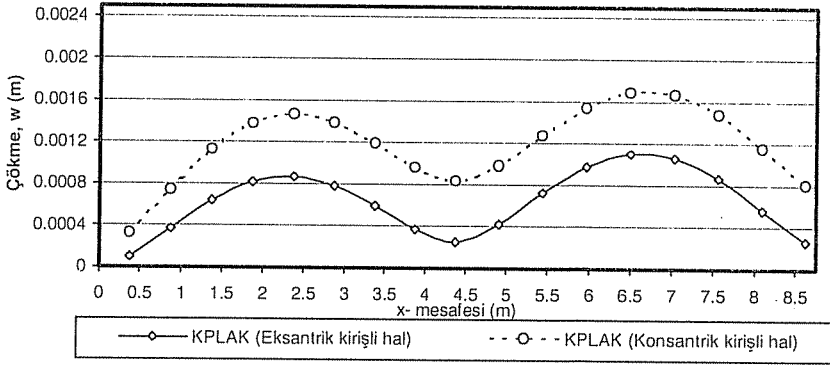
Şekil 7. A-A Aksı boyunca My momentlerinin değişimi (eksantrik kirişli hal)



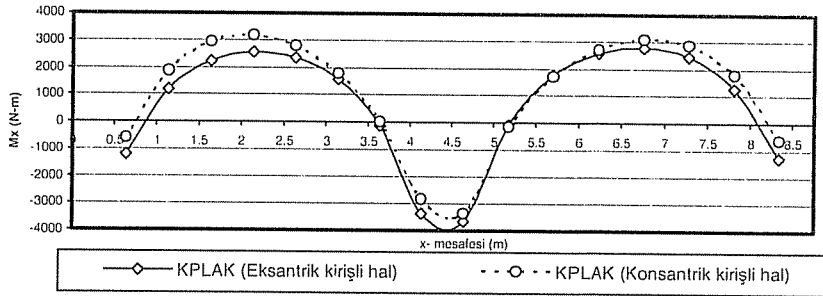
Şekil 8. B-B Aksı boyunca çökmelerin değişimi (eksantrik kirişli hal)



Şekil 9. B-B Aksı boyunca Mx momentlerinin değişimi (eksantrik kirişli hal)



Şekil 10. Eksantrik ve konsantrik kirişli durumlarda B-B Aksı boyunca çökmelerin değişimi



Şekil 11. Eksantrik ve konsantrik kirişli durumlarda B-B Aksı boyunca Mx momentlerinin değişimi

Her iki program ile hesaplanan çökme ve momentlerin birbirlerine yakın oldukları görülmektedir. Maksimum değerlerde görülen çok küçük farklar, Kirchhoff kabulünde kayma şekil değiştirmesinin göz önüne alınmamasından kaynaklanmaktadır. ANSYS'de kullanılan plak eğilmesi elemanında kayma şekil değiştirmesinin etkisi göz önüne alınmaktadır. Döşeme arakesitlerindeki AK1 ve AK2 kirişlerinin mevcut olması durumunda çökmelerin önemli ölçüde azaldığı, bu kirişlerin üzerindeki elemanlarda plak için mesnet etkisi yaptığı gözlenmiştir. Şekil 10 ve Şekil 11'de, tüm kiriş enkesitlerinin eksantrik ve konsantrik olması durumları için B-B aksı boyunca çökmeler ve plak Mx momentleri karşılaştırılmış, çökmeler arasındaki büyük farklar olmasına karşın plak eğilme momentlerinin birbirine yakın oldukları gözlenmiştir.

6. SONUÇLAR

Keyfi geometriye sahip L şeklindeki kirişli döşeme KPLAK ve ANSYS programları ile çeşitli durumlar için çözümler yapılmış ve sonuçlar grafik olarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca, eş merkez (eksantrik) ve dış merkez (konsantrik) kiriş birleşimlerin eğilme rijitliğine etkileri irdelenmiştir. Varılan genel sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

Eş merkez ve dış merkez kiriş birleşim durumlarında, çökmeler arasındaki fark plak eğilme momentlerine göre daha fazla olmaktadır.

Büyük açıklıklı döşemelerde ara kirişlerin mevcudiyeti plak eğilme rijitliğini önemli ölçüde arttırmaktadır.

TS500 de mevcut olmayan keyfi dörtgen bölgeyi kirişli plak döşemeler, KPLAK programı yardımı ile kolayca çözülebilmektedir.

Büyük açıklıklı kaset döşemelerin ve kompozit malzemeli köprülerin analizleri de, bu çalışmada hazırlanan program yardımıyla yapılabilmektedir.

7. KAYNAKLAR

1. Hendry, A.W. and Jaeger, L.G., "The Analysis of Grid Frameworks and Related Structures", Chatto and Windus, London, 1958.
2. Lightfoot, E. and Sawko, F., "Grid Frameworks Resolved by Generalized Slope-Deflection", *Engineering*, 187, 18-20, London, 1959.
3. Massonet, C., "Methods de Calcul des Ponts a' Poutres Multiple Tenant Compte de leur Resistance a la Torsion", *International Association for Bridge and Structural Engineering*, 10(147), 1950.
4. Chu, K.H. and Krishnamoorthy, G., "Use of Orthotropic Plate Theory in Bridge Design", *Journal of Structural Division, ASCE*, 88(ST3), Proc. Paper 3157, 35-77, 1962.
5. Chen, T.Y., Siess, C.P. and Newmark, N.M., "Moments in Simply Supported Skew I Beam Bridges", *Bulletin 439, Engineering Experiment Station, University of Illinois, Urbana*, 1957.
6. Tekinalp, B., "Elastik Kirişlere Oturan Plakların Çözümü", *Doktora Tezi, İ.T.Ü.*, 1951.
7. Hoppman, W.H., Huffington, J.J. and Magness, A., "Study of Orthogonally Stiffened Plates", *Trans ASME, J. Appl. Mech.*, 78, 343-350, 1956.
8. Gustafson, W.C. and Wright, R.N., "Analysis of Skewed Composite Girder Bridges", *Journal of The Structural Division, ASCE*, 94 (No. ST4), 919-941, 1968.

9. Ghosh,P. and Som,R.K., "Automated System Analysis of Plates with Edge Beam Interactions", *Computers and Structures*, 9, 101-111, 1978.
10. Mukhopadhyay,M. and Satsangi,S.K., "Isoparametric Stiffened Plate Bending Element for The Analysis of Ships Structures", *The Royal Institution of Naval Architects*, 141-51,1983.
11. Deb,A. and Booton,M., "Finite Element Models for Stiffened Plates Under Transverse Loading", *Computer and Structures*, 28(3), 361-372., 1988.
12. Rossow,M.P. and Ibrahimkhail,A.K., "Constraint Method Analysis of Stiffened Plates", *Computers and Structures*, 8, 51-60, 1978.
13. Kural,E. ve Temel,B., "Kirişli Döşemelerin Bilgisayar İle Hesabı", *Teknik Yayınevi*, Ankara, 1990.
14. Srinivasan,R.S. and Thiruvenkatachari,V., "Static Analysis of Stiffened Plates", *AIAA Journal*, 22(9), 1342-1344, 1984.
15. Applegarth,L.Y., Li,I., Bull,W.J., Bettes,P. and Bond,T.J., "Adaptive Analysis of Stiffened Structures Using Stiffened Plate Bending Elements", *Int. J. Pres. Vessels & Piping*, 65, 117-125, 1996.
16. Bedair,O.K., "Analysis of Stiffened Plates Under Lateral Loading Using Sequential Quadratic Programming (SQP)", *Computers and Structures*, 62(1), 63-80, 1997.
17. Siddiqi,Z.A., Kukreti,A.R., "Analysis of Eccentrically Stiffened Plates With Mixed Boundary Condition Using Differential Quadrature Method", *Applied Mathematical Modelling*, 22, 251-275, 1998.
18. Satish Kumar,Y.V., Mukhopathyay,M., "Finite Element Analysis of Ship Structures Using A New Stiffened Plate Element", *Applied Ocean Research*, 22, 364-374, 2000.
19. Temel,B. ve Hunu,D.Z., "Keyfi Dörtgen Bölge Kirişli Döşemelerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi", *İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, IV. Uluslararası Kongre, Doğu Akdeniz Üniversitesi, Gazimagusa, KKTC*, 2, 579-587, 2000.
20. Aköz,Y. ve Özçelikörs,Y., "Takviyeli Plaklar", *5. Ulusal Mekanik Kongresi*, Bursa, 1987.
21. Özçelikörs,Y. ve Aköz,Y., "A Mixed Finite Element Formulation of Eccentrically Stiffened Plates", *Bull. Tech.Uni. Istanbul*, 46, 257-277, 1993.
22. Zienkiewicz,O.C., "The Finite Element Method in Engineering Science", *McGraw-Hill*, London, 1971.
23. ANSYS Swanson Analysis System, Inc., 201 Johnson Road, Houston, PA 15342-1300, USA.

OSMANİYE'DE ÜRETİLEN BETONLARIN BASINÇ DAYANIMLARININ İNCELENMESİ

Hanifi BİNİCİ

Ç.Ü, Osmaniye Meslek Yüksekokulu, Osmaniye/Türkiye

İsmail Hakkı ÇAĞATAY

Ç.Ü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Bu çalışmada birinci derece deprem bölgesinde bulunan Osmaniye'de yapı üretiminde kullanılan betonların basınç dayanımları deneysel olarak incelenmiştir. Beton döküm sırasında resmi yapılardan alınan 96 adet ve özel yapılardan alınan 120 adet küp numunelerin basınç dayanımları test edilmiştir. Yeni deprem yönetmeliğine göre birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde üretilecek betonların sınıfı en az C20 olmalıdır. Deneysel sonuçlarından özellikle özel yapılarda kullanılan betonların %30'unun istenilen mukavemeti sağlamadığı anlaşılmıştır.

AN EXPERIMENTAL STUDY ON COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETES USED IN OSMANIYE

ABSTRACT : In this study, compressive strengths of concretes used in building in Osmaniye have been determined experimentally. Compressive strengths of 96 concrete samples taken from the official buildings and 120 samples from the residential buildings have been tested. The concrete strengths in buildings to be built in the first and second seismic zones should be C20 at least. The result showed that 30% of the compressive strengths of concretes taken from the residential buildings do not have required compressive strength.

1. GİRİŞ

Beton; çimento, agrega, su ve gerekli ise katkı malzemesinin uygun oranlarda karıştırılması ile elde edilen başlangıçta plastik kıvamda olup daha sonra çimentonun hidratasyonu sebebi ile sertleşen bir yapı malzemesidir. Bu tanımda agrega dolgu malzemesi, su ve çimento harcı ise agregalar arası boşluklarını dolduran, agrega üzerini bir zarf gibi saran ve agrega taneciklerini birbirine bağlayarak bir kütlelen meydana gelmesini sağlayan bağlayıcı malzemedir. Sözü edilen malzemeler belli oranlarda karıştırıldığında kalıplarda istenilen biçimi alabilecek plastik bir malzeme elde edilir. Betonun diğer yapı malzemelerinden üstün kılan önemli bir özelliği, istenilen şekli verilebilmesini sağlayan plastik kıvamıdır. Beton karıştırılıp kalıba döküldükten sonra kısa sürede katılaşıp ve zamanla dayanım kazanır (1).

Betonda yeterli bir mukavemet; çimento hamurunun kalitesine ve su/çimento oranına bağlıdır. İstenilen mukavemeti en ekonomik şekilde elde etmek ancak çimento hamurunu azaltmak yerine fazla agrega kullanmakla mümkündür. Yeterli bir akıcılığın elde edilebilmesi, çimento hamuru miktarını arttırmayı gerektirir. Çimento hamurunun görevi; agreganın boşluklarını doldurmaktan başka, tanelerin etrafını ince bir tabaka halinde sararak homojen bir bünye meydana gelmesini sağlar. Çimento hamuru miktarını, agrega boşlukları ve agrega yüzeyleri etkiler. Bunlardan yalnız bir tanesini dikkate alıp diğerini ihmal etmek doğru olmaz (1).

Yüksek kaliteli beton elde etmek için mümkün olabilen en yüksek sıkışabilirliğe sahip agrega karışımı araştırılmalıdır. Denemeler göstermiştir ki, aynı çaptaki tanelerden meydana gelen bir grubun sıkışabilirliği çapın büyüklüğüne bağlı olmayıp yalnız tane şekline bağlıdır. Belirli bir tane şekli tespit edildiğinde sıkışma sabittir. Daha yüksek sıkışmalar elde edilmesi için çapları farklı gruplar birbirleriyle karıştırılmalıdır. Böylece küçük taneler büyüklerin arasına girerek onların boşluklarını dolduracaktır.

Beton mukavemetine etki eden bileşenlerden biri agreganın kendi kalitesidir. Beton agregalarının kalitesi, tanelerin yüzey durumu, tanelerin biçimi, granülometrisi ve fiziksel özellikleri ile ilgilidir. Betonda agregalar ile çimento hamuru arasında büyük bir bağ kuvvetinin bulunması betonun mukavemetini yükseltir. Agrega yüzeylerinin pürüzlülüğü betonun mukavemetini artırır. Beton için en uygun agregalar küp veya küre şeklinde olmalıdır. Yassı ve uzun agregalar, betonun kompasitesini azaltıp, mukavemetinin düşmesine neden olur. Ayrıca, işlenebilirlik beton karışım oranına ve bunların ayrı ayrı özelliklerine bağlıdır. Taze betonun kıvamı yalnız ilave edilen su miktarının bir fonksiyona değil, aynı zamanda belirli bir kıvamın elde edilmesi için su ihtiyacını tayin eden agreganın tane şekli ve granülometrisinin de bir fonksiyonudur. Betonda kullanılacak agregalar hem yüksek kaliteli beton üretiminin gerektirdiği ölçüde dayanıklı olmalı, hem de betonda oluşacak aşınmalara karşı yeterli direnç gösterebilmelidir. Çakıl ve kumun dayanımını çimentonun dayanımından az olmamalıdır. Agreganın dayanımını çimentonun dayanımından az olursa yapılan betonun gücü çimento dayanımına erişmeden agreganın kırılmasıyla tükenecektir. Bu durumda karışım oranlarını değiştirerek veya çimentoyu artırarak dayanımı yükseltmek olanaksız olacaktır. İyi kalitede ve kullanılabilir kıvamda beton yapılabilmesi için, kullanılan kum ve çakıldaki çeşitli tane çaplarının karışım içinde bulunması gereklidir. Başka bir deyişle, kum ve çakıl karışımının granülometri bileşimi belli sınırlar içinde kalmalıdır (2).

Beton üretiminin bitmesi ile birlikte betonun bakım ve kontrolüne başlanmış olmalıdır. Beton üretiminden sonraki günlerde titiz bir bakıma ihtiyaç duymaktadır. Basınç mukavemeti üzerine etkiyen faktörlerden biri de beton yapıldıktan sonraki bakım şeklidir. Beton numuneleri değişik şekilde kür edilirse değişik mukavemetler verirler. Beton yapıldıktan sonra uzun süre rutubetli küre tabi tutulmazsa rötre çatlakları meydana gelir (3).

Basınç dayanımı, betonun en önemli karakterlerinden sadece birisi değildir. Betonun çok daha fazla dayanıklı ve geçirimsiz olması için daha çok çimentoya ihtiyacı olabilir. Basınç mukavemeti betonun diğer bileşenleri aynı kalmak şartıyla çimentoyla beraber artmaktadır (4).

Bu çalışmada Osmaniye'de üretilen betonların basınç dayanımları araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

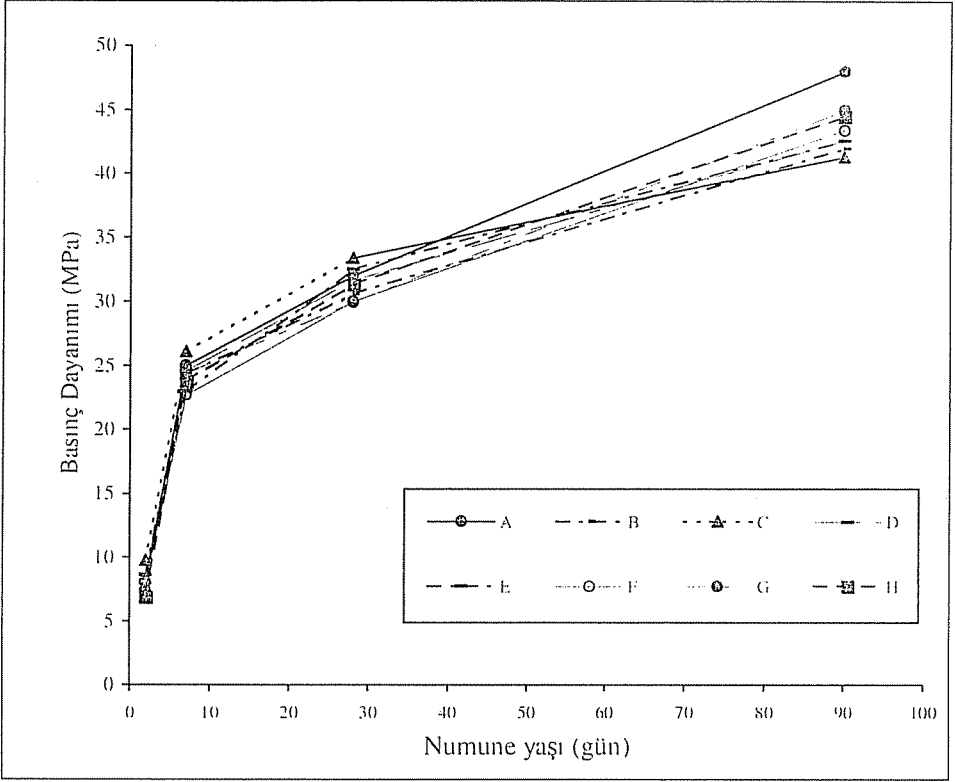
Bu çalışmada Osmaniye'deki özel ve resmi yapılardan beton döküm esnasında küp numuneler alınmıştır. Resmi yapılara ait küp numunelerin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları, özel yapılara ait küp numunelerin 2, 7, ve 28 günlük basınç dayanımları deneysel olarak test edilmiştir. Numunelerin bakım ve kürü TS 1247 (5)'e göre yapılmıştır.

2.1. Resmi Yapılardan Alınan Numunelerin Test Edilmesi

Osmaniye'de sekiz ayrı resmi yapı inşaatından daha beton döküm esnasında; 15x15x15 cm boyutlarındaki küp numuneler alınmıştır. Her yapıdan 12 şer adet olmak üzere toplam 96 adet numune alınmış ve numunelerin 2, 7, 28, 90 günlük basınç dayanımları test edilmiştir. Numunelerin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları TS 3114 (6)'e göre yapılmış, değerleri Tablo 1'de verilmiş ve Şekil 1'de grafiği çizilmiştir. Tablodaki değerler ortalama değerleri göstermektedir.

Tablo 1. Resmi Yapılarda Kullanılan Betonların Basınç Dayanımları (MPa)

Örnekler	Numune Yaşı (Gün)			
	2	7	28	90
A	8.1	25.0	32.0	48.0
B	8.6	24.3	30.6	42.0
C	9.8	26.1	33.4	50.5
D	8.6	24.6	31.6	41.3
E	7.9	23.0	32.5	42.6
F	8.1	22.7	30.0	43.4
G	7.4	24.4	29.9	45.0
H	6.9	23.8	31.3	44.5
Ortalama	8.1	24.2	31.4	44.6



Şekil 1. Resmi Yapılarda Kullanılan Betonların Basınç Dayanım Grafiği

Tablo 1'den görüldüğü gibi numunelerin basınç dayanım değerleri genel olarak standartları sağlamaktadır. Bunun en önemli nedenlerinden biri numunelerin kür koşullarının iyi olmasıdır. Bunun dışında bir diğer faktör de bu yapılarda hazır beton kullanılması da olabilir.

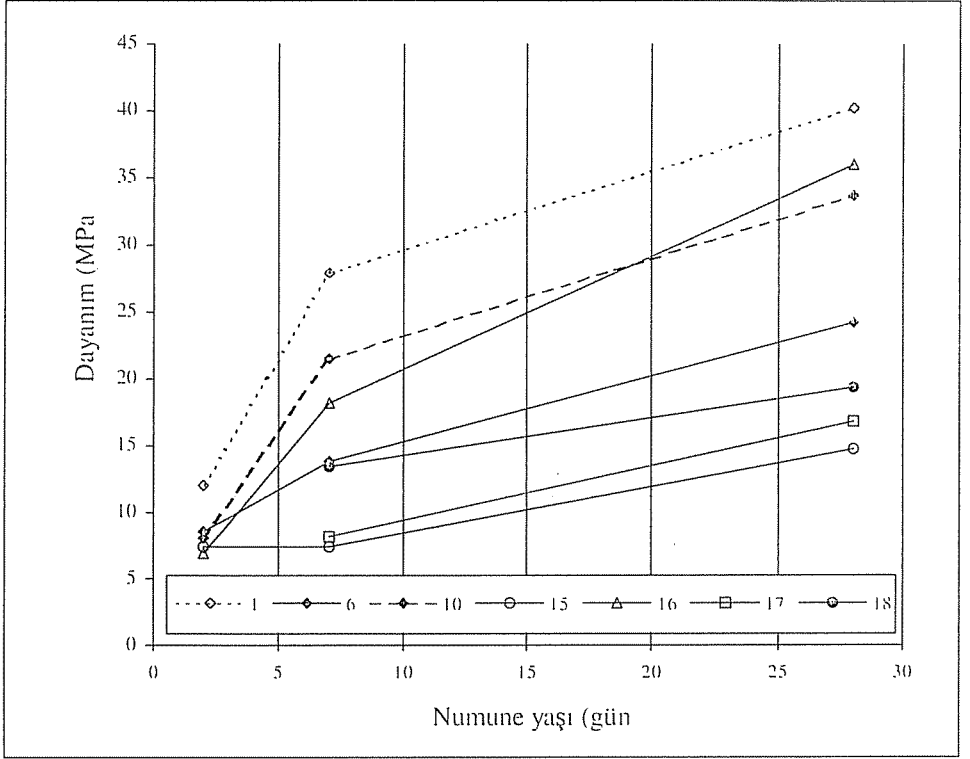
2.2. Özel Yapılardan Alınan Numunelerin Test Edilmesi

Osmaniye'de 20 değişik özel yapılardan daha beton döküm esnasında; 15x15x15 cm boyutlarındaki küp numuneler alınmıştır. Toplam 120 adet numune alınmış ve numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları test edilmiştir. Numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları değerleri Tablo 2'de verilmiş ve Şekil 2'de grafiği çizilmiştir. Tablodaki değerler ortalama değerleri göstermektedir.

Tablo 2. Özel Yapılarda Kullanılan Betonların Basınç Dayanımları (MPa)

Örnekler	Numune Yaşı (Gün)	
	7	28
1	28,0	40,3
2	21,4	30,0
3	20,5	33,0
4	21,5	32,6
5	16,4	17,7
6	13,8	24,2
7	12,2	27,7
8	18,1	29,2
9	13,7	23,8
10	21,6	33,7
11	25,7	31,4
12	10,2	18,7
13	12,9	18,4
14	15,6	22,5
15	7,5	14,7
16	18,2	36,0
17	8,2	16,8
18	13,5	19,3
19	11,4	37,2
20	18,1	29,2
Ortalama	16,4	26,8

20 ayrı özel inşaattan alınan numuneler test edilerek görülmüştür ki 28 günlük basınç dayanımları arasında büyük farklar bulunmaktadır. Min. dayanım 14.70 MPa, maksimum dayanım 40.3 MPa ve ortalama basınç dayanımı 26.82 MPa bulunmuştur. Altı adet yapının ortalama basınç dayanım değerleri 20 MPa'dan daha düşüktür. Yeni deprem yönetmeliğine göre birinci derece deprem bölgesinde basınç dayanım en az değeri 20 MPa olmalıdır. Halbuki binaların %30' u bu değeri iyi kür koşullarına rağmen sağlamamıştır. Şantiyedeki beton kür koşullarının daha kötü olabileceği de düşünülürse sonuç daha olumsuz olabilir.



Şekil 2. Özel Yapılarda Kullanılan Betonların Basınç Dayanımları

3. SONUÇLAR VE YORUMLAR

Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1- Değişik resmi kurumlara ait yapıların üretimi için kullanılan betonlardan alınan örnek numunelerin genel olarak basınç dayanımları uygun bulunmuştur. Özellikle 28 günlük dayanımlar 30 MPa dolayındadır. Bu sonuçlar Osmaniye'de üretimi yapılan resmi yapıların beton basınç dayanımlarının iyi olduğunu göstermekle birlikte laboratuvar kür koşulları ile şantiye kür koşullarının uyum içerisinde olmayacağı düşünülürse yapılan üretimde kullanılan betonların basınç dayanımları daha düşük olabilir. Resmi inşaatlarda kullanılan betonların hazır beton olması beton basınçlarını olumlu etkilemiştir.

2-Osmaniye'deki özel yapılarda kullanılan betonlar basınç dayanımları çok farklı bulunmuştur. Basınç dayanımları 14.7 MPa ile 40.3 MPa arasında değişmektedir. Basınç dayanımları bu kadar farklı olmasının en önemli nedenlerinden bir tanesi beton üretiminin elle yapılmasıdır. Kötü kür koşulları, agrega ve çimento gibi faktörlerde dikkate alındığında beton basınç dayanımı düşük olması beklenir. Özellikle özel yapıların denetimine önem verilmesi gereği vardır.

3- Deprem kuşağında bulunan ülkemizde son yaşanan Erzincan, Dinar, Ceyhan, Marmara ve Sultandağı depremlerinde yıkılan betonarme binalarda yıkım nedenlerinden

bir tanesi de düşük beton basınç dayanımları olduğu belirlenmiştir. Üretimin hemen sonrasında betona yeterli bakım yapılırsa betonun, servis ömrü boyunca mukavemeti artmaktadır.

4- Yeni deprem yönetmeliğimizde birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde üretilecek betonlar en az C20 olmalıdır. Oysa Osmaniye'de üretilen betonların %30'u C16'nın bile altındadır. Bu çalışmada test edilen numunelerin laboratuvar koşullarında bakımı yapıldığı düşünülürse şantiyede üretilen betonların basınç dayanımlarının daha da düşük olabileceği göz ardı edilmemelidir.

5-Betondan sadece basınç dayanımının yüksek olması değil, aynı zamanda durabilite gibi teknolojik özelliklere sahip olması da beklenmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Postacıoğlu,B., "Beton", Cilt 2, 404s, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul 1986.
2. Lea,F.M, "The Chemistry of Cement And Concrete", 3rd Edition, 636s. Edward Arnold Ltd., London, 1956.
3. Beyazıt,Ö,L "Beton ve Deneyleri", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, DSİ Yayını, 238 s, Ankara, 1988.
4. Neville,A. M., "Properties of Concrete", Halsted Press, New York, 1983.
5. TS 1247, "Beton Yapımı, Döküm ve Bakım Kuralları", Ankara , Şubat 1985.
6. TS 3114, "Beton Basınç Mukavemeti Tayini", Ankara, Aralık 1990.



OSMANİYE İLİ AGREGALARININ MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Hanifi BİNİCİ

Ç.Ü., Osmaniye Meslek Yüksekokulu, Osmaniye/Türkiye

İsmail Hakkı ÇAĞATAY

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

ÖZET : *Bu çalışmada Osmaniye'de kullanılan sekiz ayrı bölgeden alınan agregaların değişik özellikleri, beton yapımında kullanılıp kullanılmayacağı ilgili TS standartlarına göre araştırılmıştır. Agregaların birim ağırlıkları, özgül ağırlıkları, su emme kapasiteleri, organik madde miktarı, Los Angeles aşınma miktarları, porozite, kompasite, tane şekli, yüzey tekstürü, granülometri eğrileri deneysel olarak belirlenmiştir. Karacay ve Ceyhan agregaları, betona zarar veren içerikte olduğu için yıkanmadan kullanılmamalıdır.*

INVESTIGATION OF ENGINEERING PROPERTIES OF THE AGGREGATES IN OSMANIYE

ABSTRACT : *The properties of aggregates used in the eight different regions in the city of Osmaniye were investigated. In order to determine if they can be used for concrete production according to the Turkish Standards. Unit weight, specific gravity, water absorption capacity, organic impurities, Los Angeles abrasion, porosity, gradation curves of aggregates have been determined experimentally. Karacay and Ceyhan aggregates should not be use because of its harmful contents unless they are washed.*

1. GİRİŞ

Sertleşmiş beton hacminin %75 kadarını agregalar oluşturur. Bu nedenle sertleşmiş betonun mukavemeti çimentonun mukavemetinin yanısıra betonun büyük bir kısmını oluşturan agreganın da mukavemetine bağlıdır. Dolayısıyla iyi kalite veya istenen kalitede beton elde edebilmek için betonda kullanılan agreganın özelliklerinin çok iyi bilinmesi gereklidir.

Bilindiği gibi Osmaniye birinci derece deprem bölgesindedir ve beton sınıfı en az C20 olmalıdır. Bu nedenle bu çalışmada beton üretiminde kullanılacak Osmaniye bölgesi agregalarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması yapılmıştır.

Osmaniye ili agregalarının fiziko-mekanik özelliklerinin tespiti için önce, agrega ocağını temsil edecek şekilde sekiz değişik ocaktan numune alınmıştır.

Agregaların ilgili TS standartlarına göre birim ağırlıkları, özgül ağırlıkları, su emme kapasiteleri, organik madde miktarı, Los Angeles aşınma miktarları, porozite, kompasite, tane şekli, yüzey tekstürü, granülometri eğrileri deneysel olarak belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Sekiz adet ocaktan alınan agregaların her bir kısmı için aşağıda açıklanan deneyler yapılmıştır. Bu ocaklar A,B,.. H olarak isimlendirilmiştir. A ocağı: Akyürek Kum ve Çakıl Ocağı (Ceyhan nehri üzeri) Eleme ve yıkama sistemleri bulunmaktadır. B ocağı: Kırmıtlı Kum ve Çakıl Ocağı (Ceyhan nehri üzeri) Eleme sistemi var, yıkama sistemi bulunmamaktadır. C ocağı: Yeni köy Kum ve Çakıl Ocağı (Ceyhan nehri üzeri) Eleme sistemi var, yıkama sistemi bulunmamaktadır. D ocağı: Dervişkiye Kum ve Çakıl Ocağı: Eleme ve yıkama sistemi bulunmamaktadır. E ocağı: Karaçay Tüvenan Agregaları: Kurumuş olan bu nehirden alınan agregaların eleme-yıkama sistemi bulunmamaktadır. Bu ocakta tüvenen agrega bulunmaktadır. F ocağı: Demirler Kum ve Çakıl Ocağı: Eleme sistemi var, yıkama sistemi yok. Agregalar nehirden alındıktan sonra yıkanıp boyutlara göre elendikten sonra 20 mm den büyük olanlar konkasörle kırılarak istenen boyutlarda kırmataş agrega elde edilmektedir. G ocağı: Osmaniye Spor Kum ve Çakıl Ocağı: Eleme-yıkama sistemi bulunmamaktadır. B ocağı: DSİ Kum ve Çakıl Ocağı: Eleme sistemi-yıkama sistemi bulunmaktadır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Birim Ağırlık

Literatürde birim ağırlık değerlerinin 1.30-2.30 kg/dm³ arasında değişebileceği ifade edilmektedir (1-3). Birim ağırlık değerlerinin geniş aralıklar içinde değişmesinin sebebi, bu değerler değişik faktörlerin etkisi altındadır. Bunlardan en önemlileri, agrega örneğinin tane biçimi ve granülometrisidir. Çeşitli agrega numunelerinin değişik birim ağırlık değerleri Tablo 1'de verilmektedir.

İncelenen agregalarda gevşek birim ağırlık değerleri 1.35-2.04 kg/dm³ arasında değişirken, sıkışık birim ağırlık değerleri de 1.80-2.22 kg/dm³ arasında değişmiştir.

Tablo 1. Agregaların Birim Ağırlık Değerleri

Agrega Ocakları	Gevşek Birim Ağırlık (kg/dm ³)	Sıkışık Birim Ağırlık (kg/dm ³)
A	1.45	1.85
B	1.35	2.12
C	2.04	2.07
D	1.44	1.95
E	1.65	2.10
F	1.59	2.22
G	1.62	1.80
H	1.70	2.00

3.2. Özgül Ağırlık

Bir agreganın özgül ağırlık değerleri agregayı oluşturan kayaların mineral içerikleri ile ilişkilidir. Örneğin, içerisinde ağır mineral ya da ağır mineral içerikli kayaç bulunduran agregaların özgül ağırlık değerleri yüksek olur. Özgül ağırlık değeri agrega kalitesini belirten bir ölçüt değildir. Bir agreganın özgül ağırlığı, projede veya yapıda bir ünitenin maksimum ya da minimum ağırlıkta olması gereken yerlerde önem kazanır. T.S 706'da beton agregaları için limit değeri getirilmemiştir. Ancak, normal ağırlıklı beton karışımlarında kullanılacak agreganın 2.60-2.70 kg/dm³ değerleri arasında olması istenir. Bu tür beton karışımları için kompasite özelliği için anılan büyüklüğün 2.60'dan küçük olmasının beton pratikliği açısından pek tercih edilmediği ifade edilmektedir (4). Diğer taraftan özgül ağırlık malzemenin mekanik büyüklükleriyle (basınç, çekme dayanımı, elastisite modülü) yakından ilişkilidir. Betonda kullanılacak agreganın özgül ağırlığının 2.55'den büyük değerlerde seçilmesi gerektiği belirtilmektedir (5). İncelenen agregalarda özgül ağırlık değerleri 2.35-2.87 kg/dm³ arasında değişmektedir. (Tablo 2).

Tablo 2. İri ve İnce Agreganın Özgül Ağırlık Değerleri

Agrega Ocakları	İri Agreganın Özgül Ağırlığı (kg/dm ³)	İnce Agreganın Özgül Ağırlığı (kg/dm ³)
A	2.85	2.71
B	2.66	2.68
C	2.80	2.83
D	2.76	2.76
E	2.35	2.56
F	2.66	2.66
G	2.54	2.54
H	2.67	2.87

3.3. Su Emme Kapasitesi

Agreganın emdiği su miktarı, tanelerin kökenine, tanelerin yapı ve dokusuna, çimentolaşma türü ve çimento maddesine, tanelerin boyutuna, porozitesine, maruz kaldığı kimyasal ve mekanik ayrışmanın şiddetine, granülometrik bileşimine bağlı olarak değişir. Beton üretiminde kullanılacak agreganın su emme değeri ne kadar az ise, o kadar az karışım suyu absorbe edecek ve karışım tasarımında o ölçüde az dalgalanmalara neden olacaktır. Ayrıca, don olayına uğrayabilecek betonlarda yapı içinde meydana gelebilecek çekme gerilmelerini minimuma indirmek için su emme değerinin düşük olması gerekmektedir. TS.706'da agreganın su emme değeri hakkında bir açıklama bulunmamaktadır. Su emme değerinin %10 dolaylarında bulunmasının doğal olduğu belirtilmektedir (2). İncelenen agrega örneklerinin su emme kapasiteleri Tablo 3' te verilmektedir.

İncelenen alüvyoner agregalarda (akarsu çökelleri ve alüvyon yelpazesi), su emme yüzdesi en fazla olan agrega, A agregasıdır. Su emme değeri yüksek olan diğer agregalar ve değerleri şöyledir: B (%10),G (%7), F (%6.5) ve D (%5.7) . Genellikle ince agreganın su emme değeri iri agregaya göre fazla çıkmıştır.

Tablo 3. Agregaların Su Emme Oranları

Agrega Ocakları	Su Emme(%)	
	İri Agregası	İnce Agregası
A	6.5	12
B	2.5	10
C	3.7	5.1
D	3.8	5.7
E	3.5	5
F	2.7	3.5
G	4.4	7
H	4.2	4.7

3.4. Yıkanabilir Madde Miktarı

TS 3526'da (6) 63 milimikron açıklıklı kare gözlü elekten geçen madde olarak tanımlanan yıkanabilir madde miktarı TS.706'ya göre, kumda maksimum %5, çakılda ise maksimum %1 olması gerektiği ifade edilmiştir. Yıkanabilir maddeler kil, silt, ve çok ince kaya unundan oluşur. Kil boyutundaki tanelerde kil mineralleri yanında, birçok minerallerde yer alabilir.

Tablo 4' te agregaların yıkanabilir madde miktarları verilmiştir. A agregası (%8) en çok, F agregası ise (%3) en az bulunmuştur. Agregası ocaklarının yıkanmış-elenmiş agrega olarak piyasaya sunduğu agregaların laboratuvarında incelenmesi sonucunda, bazı agregaların yıkanma işlemlerinin yetersiz olduğu içerdikleri standart dışı yıkanabilir madde miktarı fazlalığıyla açıkça ortaya çıkmaktadır. Bunlar sırayla, A, C ve E agregalarıdır. (Tablo 4)

Tablo 4. İnce Agregaların Yıkanabilir Madde Miktarı

Agrega Ocakları	Yıkanabilir Madde Miktarı (%)
A	8
B	4,9
C	6,8
D	4,1
E	5
F	3
G	4,9
H	3,7

3.5. Organik Madde Miktarı

TS 3673'de (7) belirtildiği şekilde sodyum hidroksitle yapılan deneyde, TS.706'da belirtilen tanıma uygun olarak agreganın organik madde miktarı tayin edilir. Organik madde içerikli agregalarla üretilen betonların sertleşmesi gecikebilir ve nihai dayanım azalabilir. İncelenen agrega örneklerinde sodyum hidroksitli sıvının rengi, D agregasında kırmızı, C agregasında koyusarı, G agregasında bir örnekte koyu sarı, H agregasının bir örneğinde de koyu sarı renkte izlenmiştir. Diğer agrega örneklerinde ise: sarı, açık sarı ve renksiz izlenmişlerdir. Adı geçen agregalardan G agregasının iyice yıkanması halinde bile tanelere nüfuz eden kırmızı renk kaybolmamaktadır. Diğer taraftan B agregasına nüfuz etmiş koyu sarı-açık kırmızimsı renk, agreganın yıkanması ile çıkarılmaktadır. F agregası renksiz bulunduğundan bu agregaya organik içermemektedir.

3.6. Los Angeles Aşınma Değerleri

Los Angeles aşınma deneyi agregaların aşınma mukavemetinin tespiti yönünden önemlidir. İri agreganın darbe ve aşınmalara karşı dayanımını, agregadaki kayaçların cinsi ve bunların petrografik olarak incelenmesiyle yaklaşık olarak saptamak mümkündür. Agreganın aşınmaya karşı dayanıklılığı, agregayı oluşturan kayacın kristallenme derecesiyle de yakından ilişkilidir (8). Agreganın tane biçimi, agregaya tanesini oluşturan kayacın yapısal özellikleriyle direkt ilişkilidir. Yassı-uzun tanelerin aşınma kaybı değeri fazla olmaktadır. Diğer taraftan daha gevşek ve kırılğan taneler, yumuşak tanelere göre daha fazla aşınma yüzdesi vermektedir. TS.706 ve TS 3694'de (9) beton agregası için benimsenen Los Angeles aşınma değeri, 100 devir için ağırlıkça %10'dan, 500 devir için ağırlıkça %50'den fazla olmamalıdır. İncelenen agregaların tümünde Los Angeles aşınma değeri standartlarda belirtilen sınır değerinin altında kalmıştır, Tablo 5. Ancak, C, D, E agregalarında Los Angeles aşınma kaybı değeri sınır değerlerinin altında olmasına karşın yüksektir. Aşınma kaybı, diğerlerine göre iyi olan agregalar A ve F dir.

Tablo 5. İri Agregaların Aşınma Değerleri

Agrega Ocakları	Aşınma (%)
A	5.5
B	9.6
C	10.8
D	17.6
E	14.3
F	6.8
G	9.0
H	7.6

3.7. Agregaların Porozite ve Kompasite Değerleri

Sıkıştırılmış veya sıkıştırılmamış agreganın bir miktarının kapladığı hacim içinde agrega taneleri aralarında kalan boşluklar da bulunur. Birim hacim agrega da agrega tanelerince işgal edilen gerçek hacim kompasiteyi verir. Kompasite ne kadar fazla ise agrega taneleri aralarında kalan boşluklar o kadar az demektir. Dolayısıyla bu boşlukları doldurması gereken çimento miktarı o derece de azalacaktır. Agregaların porozite ve kompasite değerleri Tablo 6-7'de verilmiştir.

Tablo 6. İri Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agrega Ocakları	Porozite (%)	Kompasite (%)
A	0.63	0.37
B	0.60	0.40
C	0.62	0.38
D	0.62	0.38
E	0.58	0.42
F	0.66	0.36
G	0.57	0.43
H	0.61	0.59

Tablo 7. İnce Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agrega Ocakları	Porozite (%)	Kompasite (%)
A	0.62	0.38
B	0.62	0.38
C	0.65	0.35
D	0.55	0.45
E	0.60	0.40
F	0.54	0.46
G	0.57	0.43
H	0.55	0.45

3.8. Tane Şekli

T.S. 3814'e (10) göre yapılan tane şekli sınıflamasında, agrega tanesinin en büyük tane boyutunun en küçük tane boyutuna oranı 4/1'den büyük olan taneler kusurlu taneler olarak tanımlanmış, bunların şekillerinin yassı (disket) ve uzun (baget) oldukları ifade edilmiştir. TS 706'da, 8 mm üzerindeki bir agrega örneğinde kusurlu tanelerin ağırlıkça %50'den çok olmaması gerektiği belirtilmektedir. Ancak, tanımdan bir agrega örneğinde maksimum tane boyutunun 32 mm olması durumunda, her 8-16 mm ve 16-32 mm elek aralıklarında kusurlu tanelerin ağırlıkça %25 ten fazla olmaması gerekliliği anlaşılır. Buradan TS.706'da 8 mm altındaki kusurlu tanelerin dikkate alınmamış olduğu görülür. Toplam agregadaki kusurlu taneler, ağırlıkça en çok %10-15 (11), %15-16 olmalıdır (2-3). İncelenen agregalarda, tane şekli TS 3814'e uymayan agregalar ve bozuk tanelerin ağırlıkça yüzde değerleri şöyle sıralanabilir: A %20, F %18.7, B %17, E %14. H agregasında 4-16mm elek aralığında bozuk tanelerin ağırlıkça yüzde değeri %17 dir. Aynı Şekilde D agregasında ise 4-8mm arası %17 dir. Diğer taraftan C agregalarında tane şeklinin TS 3814'e uymadığı görülmüştür. Bozuk tanelerin şekli dere agregalarından farklıdır. Yassı (disket) şekilli taneler yer almamaktadır. Kıran kayacın yapı ve dokusal özelliğine ve kırma sistemi tipine bağlı olarak piramidal taneler yer almasından dolayı bozuk tanelerin ağırlıkça yüzdesinin %23 olduğu görülmüştür. Diğer taraftan piramidal bozuk tane ile dere agregalarında bolca izlenen karé tabanlı dik prizma şekilli yassı-uzun taneleri birbirinden ayırmak gerekmektedir. İncelenen tüvenan agregalarda tane şekli en iyi olan agrega, C , E ve F agregasıdır.

3.9. Agreganın Yüzey Tekstürü

Agrega taneleri ile çimento hamuru arasında kuvvetli bir aderans mukavemetinin oluşması için, agrega tanesi üzerinde geniş bir temas yüzeyinin oluşması gereklidir. Camsı minerallerden oluşan kayalarla, sertliği az minerallerin oluşturduğu yüzey tekstürü camsı ve düzgün olduğundan, aderans bakımından elverişsizdir. Tane yüzey tekstürü; pürüzlü, kristalli ve boşluklu olmasının aderans bakımından elverişli olduğu kabul edilmektedir. İncelenen agregalar içinde A ve F agregasında, ince kristalli kireçtaşlarından dolayı, agrega içinde önemsiz yüzdelerde düzgün yüzey tekstürüne sahip taneler bulunduğu görülmüştür.

3.10. Granülometri Eğrileri ve İncelik Modülleri

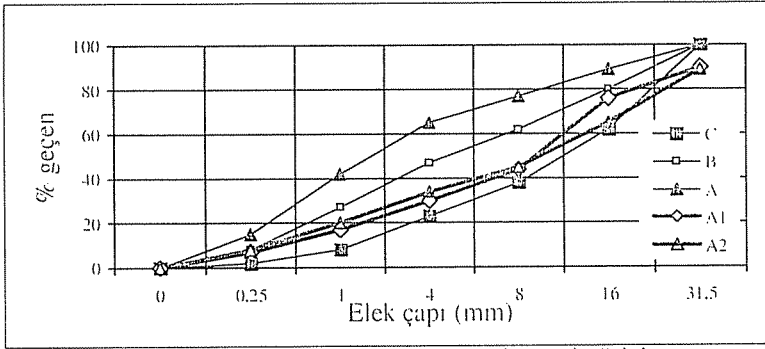
Agreganın granülometresi betondaki agrega dağılımını göstermektedir. Dolayısıyla iyi bir beton üretebilmek için agregaların granülometri değerlerinin TS 706'da verilen sınır değerlere uyması gerekmektedir. İncelenen agregaların elek analizleri TS 3530'a (12) göre yapılmıştır. İncelenen agregaların granülometri eğrileri de Şekil.1-8'de. agregaların incelik modülü değerleri de Tablo 8'de verilmiştir. Granülometri deneyleri her grup agrega için ikişer defa yapılmıştır.

E tüvenan agrega örneklerinin inceleri fazla ve irileri az olan agregalar olduğu, granülometri eğrilerinin kullanılabilir bölge sınırı dışında kaldığı belirlenmiştir. Nitekim, adı geçen agregaların incelik modülü değerleri (A: 2.46, F:2.66, B:3.38; G: 2.57)'nin düşük değerde olması daha fazla ince madde içerdiğine işaret etmektedir. Diğer taraftan E tüvenan agregası incelik modülü değeri en fazla (3.89) olan agrega olup, irileri fazla inceleri az olan agregadır. Tüvenan agreganın granülometri eğrisi

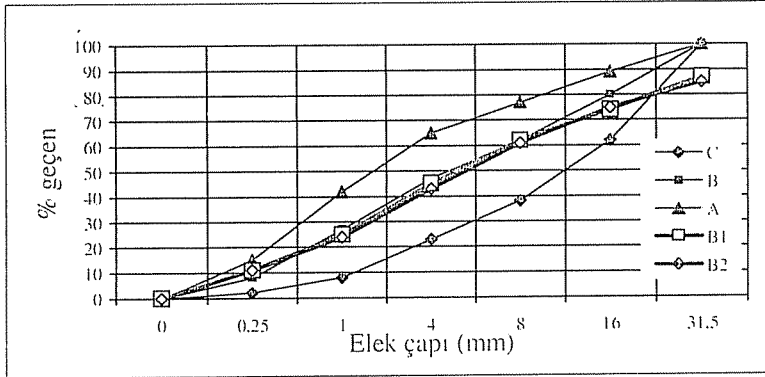
kullanılabilirlik sınır değerlerinin dışında yer almıştır. Benzer şekilde incelik modülü değeri fazla olan (3.89) tüvenan E agregası örneğinin granülometri eğrisi de, A30 sınırına hemen yakın bir konumda yer almıştır. G agregası, oluşum gereği altıvyon yelpazesi olduğundan tüvenan agregada düzenli bir granülometri beklenemez.

Tablo 8. Agregaların İncelik Modülü Değerleri

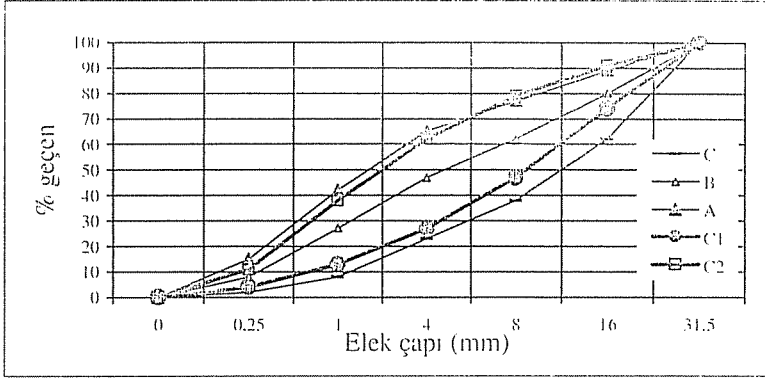
Agrega Ocağı	İncelik Modülü Değerleri
A	2.46
B	3.38
C	2.79
D	3.19
E	3.89
F	2.66
G	3.51
H	3.84



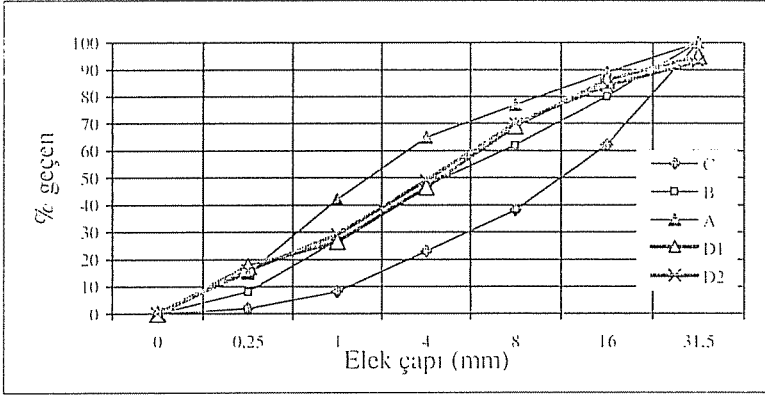
Şekil 1. A agregasının granülometri eğrisi



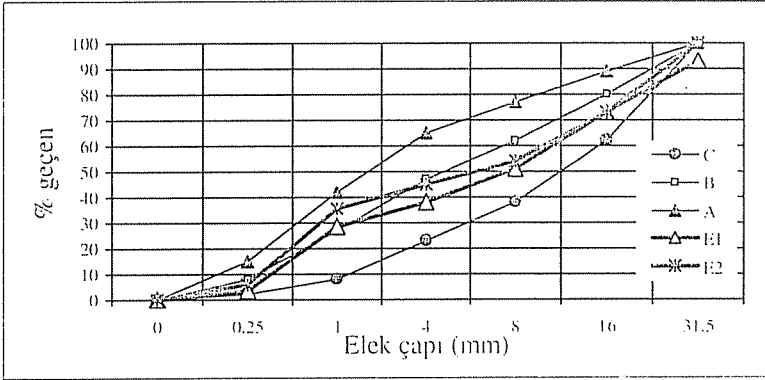
Şekil 2. B agregasının granülometri eğrisi



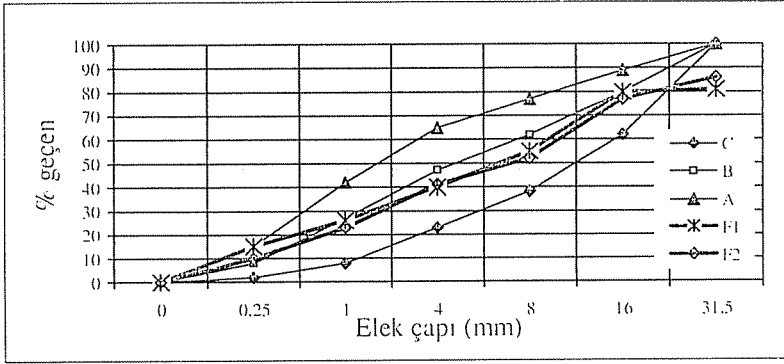
Şekil 3. C agregasının granülometri eğrisi



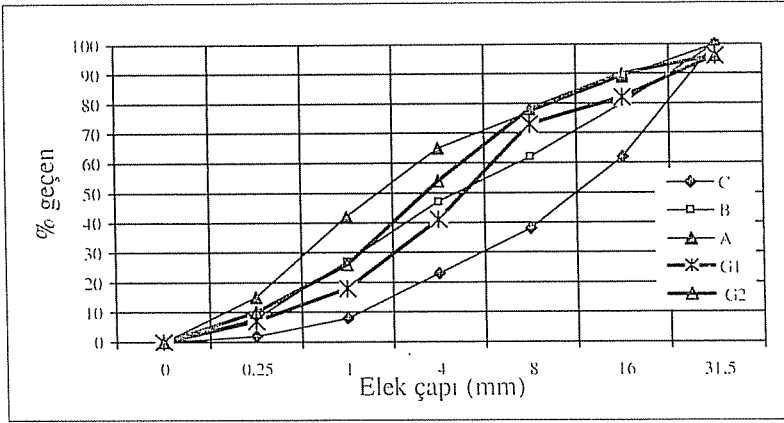
Şekil 4. D agregasının granülometri eğrisi



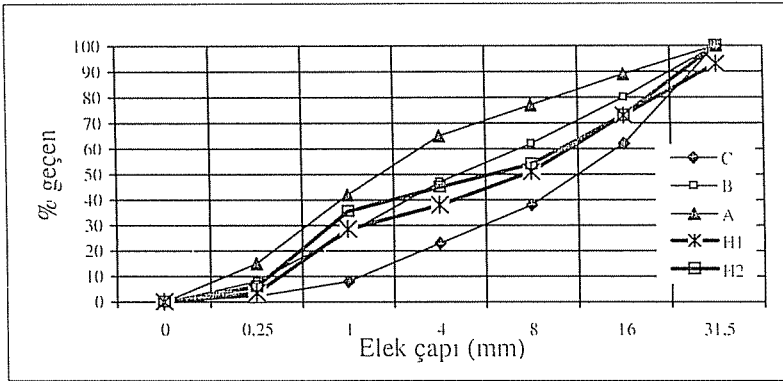
Şekil 5. E agregasının granülometri eğrisi



Şekil 6. F agregasının granülometri eğrisi



Şekil 7. G agregasının granülometri eğrisi



Şekil 8. H agregasının granülometri eğrisi

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Osmaniye ilinde bulunan sekiz adet değişik agrega ocağından alınan agrega numunelerinin ilgili TS standartlarına göre birim ağırlıkları, özgül ağırlıkları, su emme kapasiteleri, organik madde miktarı, Los Angeles aşınma miktarları, porozite, kompasite, tane şekli, yüzey tekstürü, granülometri eğrileri deneysel olarak belirlenmiştir.

Diğer mekanik özellikleri iyi olmasına karşın su emme ve yıkanabilir madde miktarı fazla olan A, B ve C agregaları ile, su emme yıkanabilir madde içeriği çok ve iri eleman fazlalığıyla düzensiz bir granülometriye sahip bulunan D agregalarının ortak özellikleri, dere kanallarının ya direkt sülfat yatakları ile ilişkili olmaları (A), ya da jips ve anhidrit katmanlı çökellerle ilişkili olabilir (A, E). Dere tabanındaki agregada sülfatlı mineral ve kayaların konsantr olduğu zonlar olabileceği ağırlık kazandığından, agrega olarak kullanılabilirlikleri sakıncalı olduğu düşünülmektedir. Su emme ve yıkanabilir madde miktarı yüksek olan G agregasının betonarme betonlarının üretiminde kullanılması uygun değildir.

C agregası, bozuk tane şekli, bir miktar yüksek su emme değeri ve yıkanabilir madde miktarı dışındaki diğer fiziksel özellikleri göz önüne alınarak, granülometri bileşiminin düzenlenmesi sonucuyla beton üretiminde kullanılabilir bir agregadır. Ancak agrega tanelerini oluşturan koyu kırmızı rengin kayacın kendi doğal rengi olmadığı, ve bu rengin renk oluşturan, mineral kolloidlerle birlikte tanelerin içine doğru nüfuz eden maddeler limonitik kilden oluştuğunu unutmamak gerekmektedir. Limonitik kil, köken itibarıyla bataklık ortamın mahsulüdür. Çimento pastası ile tane aderansını zayıflatan organik kökenli mineral kolloidlerin mevcudiyeti nedeniyle, kullanılmaması yönünde önerilen bir agregadır. Laboratuara getirilen agrega örneklerinden bazılarında, hem çakılda ve hem da kumda yıkanabilir madde içerikliği, E agregasının beton dayanıklılığı ve basınç dayanımına etki edebilecek olumsuz özellikleri fazla olan bir agrega olduğu görüşü ağırlık kazandırmaktadır. Yıkanabilir madde miktarı fazla olan H agregası, standart dışı bozuk tane yüzdesi de göz önüne alındığında, iyice yıkanarak ve granülometrisi düzenlenerek don olmayan bölgelerde kullanılabilirliği önerilebilir. Standart dışı bozuk tane yüzdesinin fazlalığı, karışım tasarımında su gereksinimini arttıracığından, üretilecek betonların basınç dayanımlarının düşük olması kaçınılmazdır.

A agregası, yıkanabilir madde miktarı ve çakılın su emme miktarı fazla olan bir agregadır. İyice yıkanarak, kum kirliliğine neden olan maddelerin uzaklaştırılması ve granülometrisinin düzenlenmesi koşulları göz önüne alınır ise kullanılması önerilebilir. Agreganın su emmesi ve yıkanabilir madde yüzdesi biraz fazladır. Los-Angeles aşınma kaybının standartların altında olmasına rağmen, diğer agregalara göre biraz fazla olmasının nedeni, agrega tanelerinin etrafını saran yapışık kum tanelerinin bulunmasıdır. Kırma-Yıkama-Elemente sistemleri ile agreganın fiziko-mekanik özellikleri daha da iyileştirilebilecektir. G agregasının, iyice yıkanarak ve granülometrisi düzenlenerek kullanılabilir. A ve B agregaları, su emmesi fazla olan agregalardır. Kumda fazla miktarda yer alan yapraklı mineraller ve kayalar betonun sertleşmesini hızlandırabilecek özelliktedir. Agreganın iyice yıkanması ve granülometrisinin düzenlenmesiyle beton üretiminde kullanılmasına salık verilir. Standart dışı bozuk tane yüzdesi ve su emmesi fazla olan C agregasının diğer fiziko-mekanik özellikleri iyidir. Granülometrik bileşimin sıkça kontrol edilmesi ve yıkanması koşulları ile kullanılabilir.

Bu agregada su emme yüzdesi biraz fazla olan fakat diğer fiziksel özellikleri iyi olan agregadır. Kil kirliliğinden arındırmak için yıkama işlemi zorunludur.

Osmaniye il merkezi ve yakın ilçelerinin %85 civarında agregada ihtiyacı karşılayan Ceyhan agregası maddadan mansaba doğru yukarıda incelenen özelliklerinde hissedilebilir değişkenlikler göstermektedir. Bu durum ocak işletmeciliğinde olduğu kadar, standart bir beton üretiminin gerçekleşmesi için de önemlidir.

5. KAYNAKLAR

1. TS 706, "Beton Agregaları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
2. TS 3529, "Beton Agregalarında Birim Ağırlıklarının Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
3. Postacıoğlu, B., "Beton Cilt2", Matbaa Teknisyenleri Basımevi, 404s., İstanbul, 1986.
4. Akman, S., "Yapı Malzemeleri", İTÜ, İnşaat Fakültesi Matbaası, 162s., İstanbul, 1990.
5. Baradan, B., "Yapı Malzemesi I", Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, Genişletilmiş Üçüncü Baskı, İzmir, 1994.
6. TS 3526, "Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
7. TS 3673, "Beton Agregalarında Organik Madde Oranı Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
8. Erdoğan, T., "Betonu Oluşturan Malzemeler, Agregalar", Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul, 1995.
9. TS 3694, "Beton Agregalarında Numune Aşımaya Dayanıklılık Aşımaya Oranı Tayini Metodu", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1981.
10. TS 3814, "Beton Agregalarında Tane Dağılımı", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
11. Neville, A.M., "Properties of Concrete", Third Edition, Longman, Scientific and Technical, 778s, London, 1993.
12. TS 3530, "Beton Agregalarında Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini Granülometrik Birleşim Tayini", Ankara, 1980.

BETONARME YAPILARIN PERDE TAKVİYESİ İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

M. Serhat KÖRLÜ, İbrahim Ö. DENEME ve Hüseyin R. YERLİ
Ç. Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

ÖZET : Tüm yapılar yük etkisi ile şekil değiştirirler. Bu şekil değiştirmeler eğer yükler belli değerlerin altında ise elastiktir. Yükler büyük olduğu zaman özellikle deprem gibi durumlarda yapı rijitliğini ve dayanımını kaybeder ve hasarlar oluşur.

Bu çalışmada, betonarme yapıların güçlendirilmesi için perde duvar ile takviye yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde yapının ölü duvarları yerine perde duvar takviyesi ile yeni elemanlar oluşturulmuştur. Bu amaç doğrultusunda yapıda bulunan hasarlı ve kesitleri yetersiz olan kolonlar, kirişler, perdeler ve temel sistemi lokal veya genel olarak güçlendirilir. Değişik perde düzeni için sistem STA4CAD paket programı yardımıyla çözülmüştür. Sonuç kısmında güçlendirme için yapılacak genel çalışma verilerek statik sistem için seçilecek en uygun güçlendirme modeli verilmiştir.

STRENGTHENING OF RC BUILDINGS BY ADDING SHEAR WALLS

ABSTRACT : All structures deform under loading effect. In case of service loads, structures behave elastically. If loads are high, especially earthquake loads, structures lose their strength and stiffness and deformations occur.

In this paper, for strengthening the reinforced concrete buildings, adding shear walls method is used. At this method new elements can be formed with replacing the dead walls to the shear walls. By doing this way, columns, beams, shear walls and base systems are strengthened locally or globally. Different shear wall systems are solved by STA4CAD. In lights of the results of analysis the most suitable model for reinforced concrete buildings is proposed in the last section.

1. GİRİŞ

Ülkemizde doğal afetler sonucu meydana gelen yapı ve alt yapı hasarlarının çoğunluğu depremler sonucu meydana gelmektedir.

Ülkemizin büyük bir bölümünün deprem riski taşıdığı düşünülürse, yapıların depreme dayanıklı tasarlanması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Depreme dayanıklı tasarlanmayan yapıların ise, bir deprem anında daha az kayıp verilmesi için dayanımlarının artırılması yani güçlendirilmeleri gerekmektedir.

Yapılardaki taşıyıcı sistemler ömürleri boyunca yatay ve düşey yüklere maruz kalmaktadırlar. Bu etkiler neticesinde yapıda bazı hasarlar ortaya çıkmaktadır. Oluşan hasarların başlıca nedenleri ise proje hataları, uygulama hataları, kalitesiz malzeme kullanımınıdır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı sonucunda aşağıda verilen şartların sağlanması gerekmektedir.

- Düşük şiddetli bir depremde, taşıyıcı sistemler elastik sınırlar içinde kalmalı, sadece duvar ve sıvalarda çatlaklar olmalıdır.
- Orta şiddetli bir depremde, taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında hasarlar olabilir. Taşıyıcı elemanlarda ise kılcal çatlaklar oluşabilir.
- Şiddetli bir depremde ise taşıyıcı sistemde ağır hasar oluşabilir. Ancak yapı yıkılmamalı insanlar yapıyı rahatça terk edebilmeli ve can kaybı olmamalıdır.

Hasarların mertebesine göre güçlendirme projesi hazırlanır. Bu çalışmada az hasarlı bir okul binası için güçlendirme projesi hazırlanmıştır.

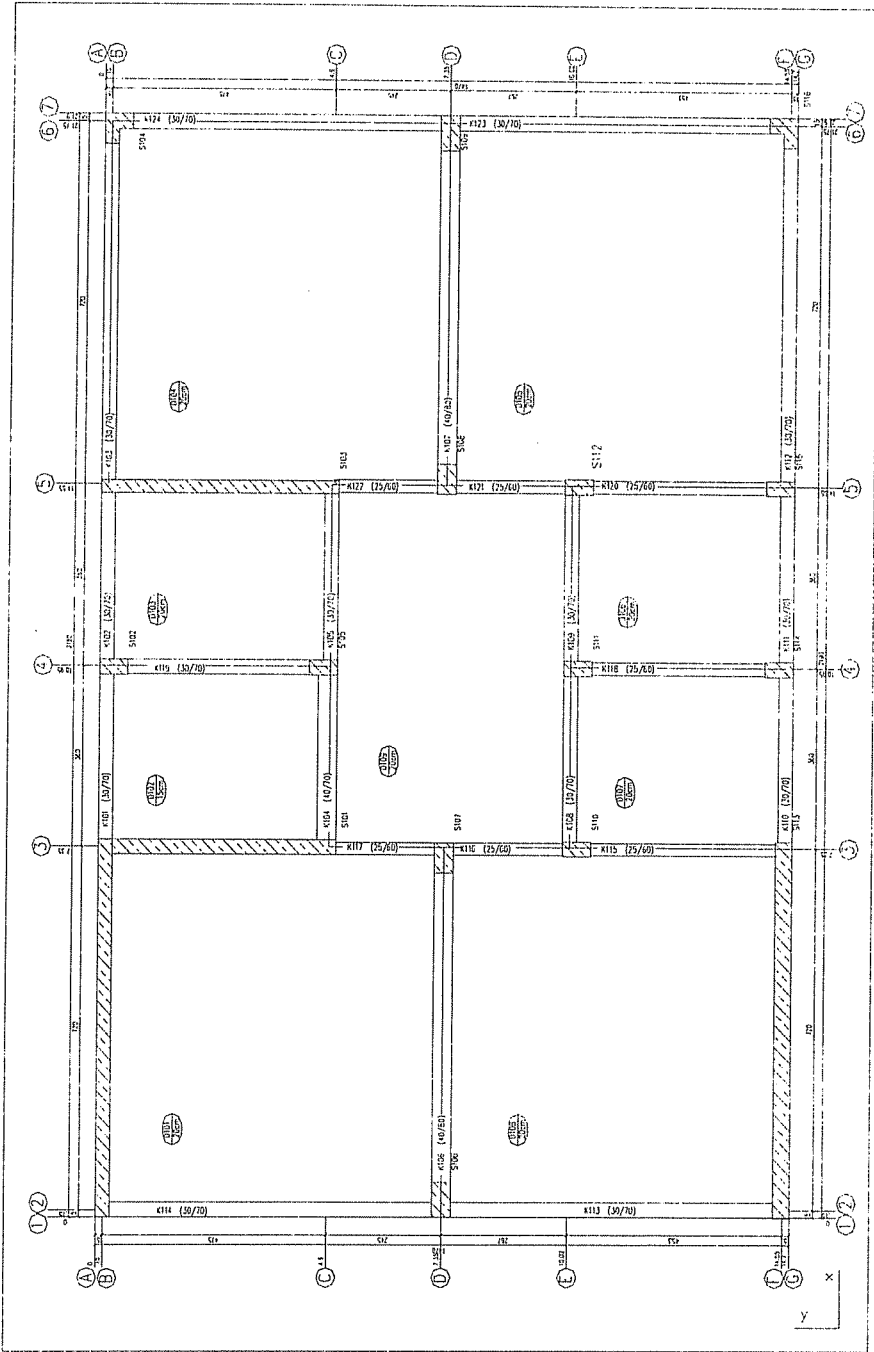
2. HASAR BELİRLEME ÇALIŞMALARI

Mevcut yapı kat planı üzerinde 5-5 aksındaki S112 kolonunda çatlak gözlenmiştir. Yapı, betonarme çerçeve+perde sistemi olarak imal edilmiştir. Yapı için verilen kalıp planlarında y-y ve x-x yönlerindeki perdelerin yapının bir tarafında toplanmasından dolayı oluşan rijitlik düzensizlikleri de dikkat çekmiştir. Yapı temel sistemi mevcut perde duvarlar altında sürekli temel, mevcut kolonların altında ise tekil temel olmak üzere tekil+sürekli temellerden oluşmaktadır. Karma bir temel sistemi olan sistem bağ kirişleri ile birbirlerine bağlanmıştır. Zemin etüdü yapılmadan zemin emniyet gerilmesinin hesaplarda $\sigma_{em} = 15 \text{ t/m}^2$ olarak alındığı belirlenmiştir. Yapı için mevcut kat planı Şekil 1' de verilmektedir.

3. MALZEME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

İmalat sırasında yapılan işçilik hataları, malzeme ve zemin özellikleri de yapının dayanımı ve yatay yükler etkisi altındaki davranışlarında önemli yer tutmaktadır. Yapıya ait olan bu özelliklerin, yerinde ve laboratuvarında yapılacak deneyler ile sağlıklı bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir.

Beton kalitesinin belirlenmesi için rastgele karot numuneler alınmıştır. Mevcut yapının projesinde beton dayanımı BS16 olarak hesaplar yapılmış, fakat yapılan deneyler sonucunda beton dayanımının BS14 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 1. Mevcut yapı kat kalıp planı

4. GÜÇLENDİRME PROJESİ ÇALIŞMALARI

Çoğunlukla yapıların deprem etkilerine karşı koyabilmelerinde önemli katkıya sahip olan betonarme perdeler kullanılmamakta yada düzensiz yapı planları teşkil edilmektedir. Deprem perdeleri sayesinde yapının yatay ötelenme rijitliği artırılırken, depremin yol açtığı ötelenme ve görelî kat deplasman miktarları ile kolonlara etki eden yatay kesit tesirleri azalmaktadır. İyi tasarlanmış bir perde+çerçeve sisteminde deprem kuvvetleri perde çerçeveler tarafından bir etkileşim içerisinde taşınırlar.

Yapı malzeme özellikleri, hasarlar ve yerel zemin koşullarının belirlenmesinin ardından ikinci aşama olan onarım ve güçlendirme projesinin hazırlanmasına geçilir. Mevcut duruma ve güçlendirilmiş duruma göre sistem çözümleri. Mevcut durum çözümünde beton çeliği BÇI, beton mukavemeti BS14 ve zemin emniyet gerilmesi 12.5 t/m² alınmıştır. Güçlendirme projesinin çözümünde de beton çeliği BÇI, beton mukavemeti BS14 ve zemin emniyet gerilmesi 12.5 t/m² alınmıştır. Bu çalışmada, güçlendirme sistemi seçilirken yapının mantolamaya gerek kalmadan perde takviyesi ile güçlendirilmesi düşünülmüştür. Bu çalışma kapsamında yapıya ait 5 farklı perde takviye modeli incelenmiştir. Bu modeller içinden yapıyı x-x ve y-y yönünde simetrik yapan model, görelî kat deplasmanları ve yapı periyotları gibi dinamik büyüklüklerin azalmasından ve rijitlik merkezi (R) ve kütle merkezi (G) arasındaki farkın çok az olmasından dolayı en uygun güçlendirme projesi olarak benimsenmiştir. Böylece yapı genelinde kesiti yetersiz eleman kalmamıştır. Güçlendirme projesi olarak belirlenen projenin kalıp planı Şekil 2'de verilmektedir. Mevcut durum ve güçlendirme sonrası durum için yapı periyotları Çizelge 1 ve Çizelge 2'de görülmektedir.

Çizelge 1. Mevcut halde yapı periyotları

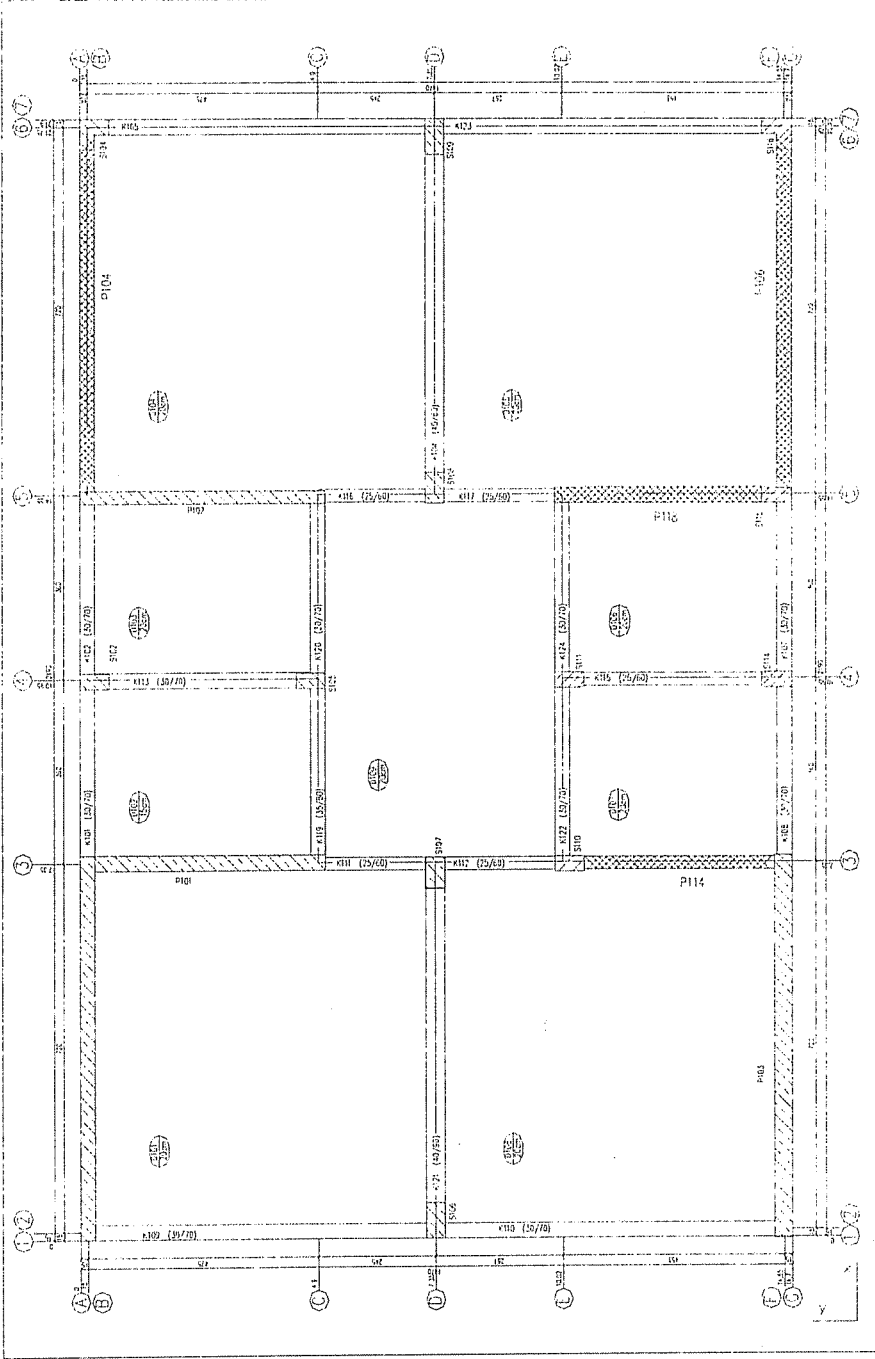
Mod	T _x (s)	T _y (s)	T _b (s)
1	0.5597	0.5160	0.4267
2	0.0673	0.0483	0.0422
3	0.0339	0.0243	0.0222

4.1. Betonarme Perde Takviyesi

Betonarme perde takviyeleri yapı boyunca ve planda verilen yerlerde yapılacaktır. Perdeler son kat döşemesine kadar devam edecektir. Yapılan güçlendirme işlemi sırasında mevcut yapı katlarına eklenen perde elemanların aks bilgileri Çizelge 3'de görülmektedir.

Çizelge 2. Güçlendirme sonrası yapı periyotları

Mod	T _x (s)	T _y (s)	T _b (s)
1	0.1914	0.1257	0.1188
2	0.0423	0.0299	0.0284
3	0.0229	0.0168	0.0161



Şekil 2. Takviyeli yapı kat kalıp planı

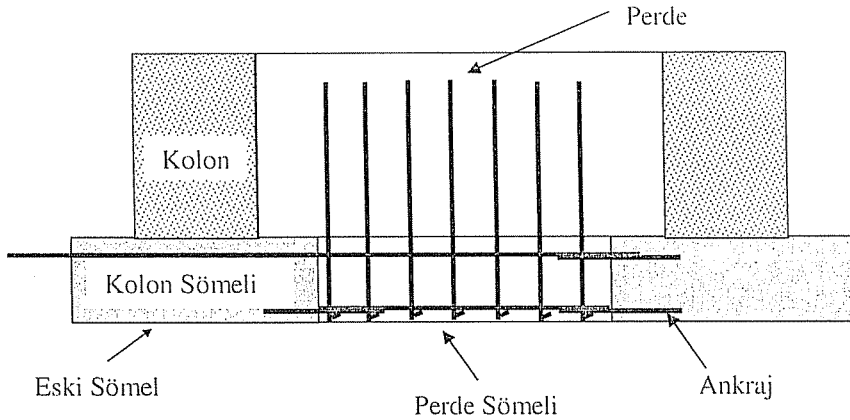
Çizelge 3. Yapıya eklenen perdelerin aks bilgileri

Perde No	X Yönü	Y yönü
P104	5-7	B-B
P106	5-7	F-F
P114	3-3	E-F
P118	5-5	E-F

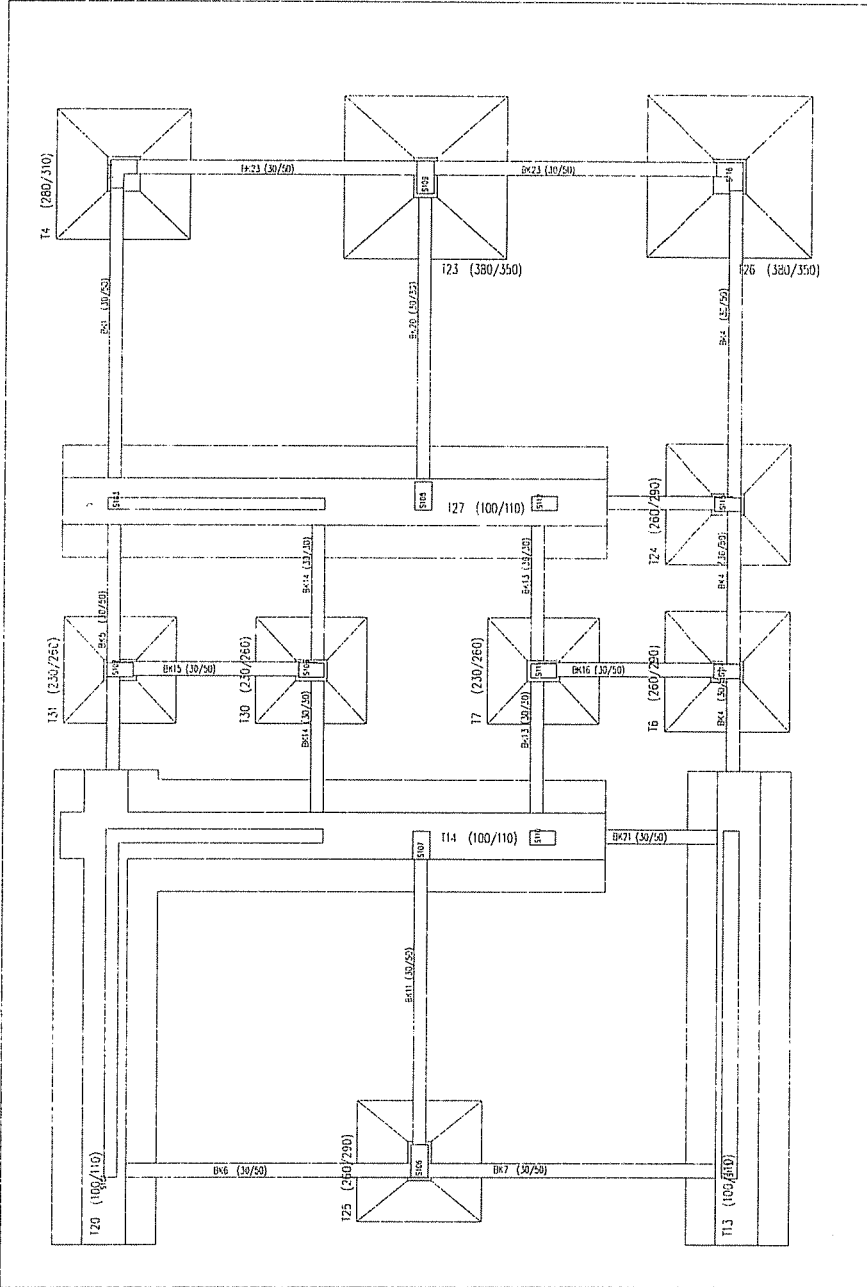
4.2. Temel Takviyesi

Tüm sistemde perde takviyesi kullanıldığından yapı temel sistemi olumsuz yönde etkilenmiştir. Ayrıca yapı temel sisteminin mevcut yapı için de yetersiz olduğundan dolayı mevcut halde tekil+sürekli temel sistemi, ilave perdelerin temelleri sürekli temel yapılarak yeniden tasarlanmıştır. Mevcut temeldeki bağ kirişleri kırılarak sürekli temel sistemine dönüştürülmüştür. Sürekli temeller ile mevcut tekil temelin birbirine yük aktarımını sağlamak için ankraj filizleri ekilecektir. Bu filiz ekimi sırasında ankraj boylarına dikkat edilmeli, genişliği az olan temellerde ankraj ekimi yerine temel tamamen delinerek iki komşu temel kirişinin donatıları birbiriyle direkt olarak bağlanmalıdır.

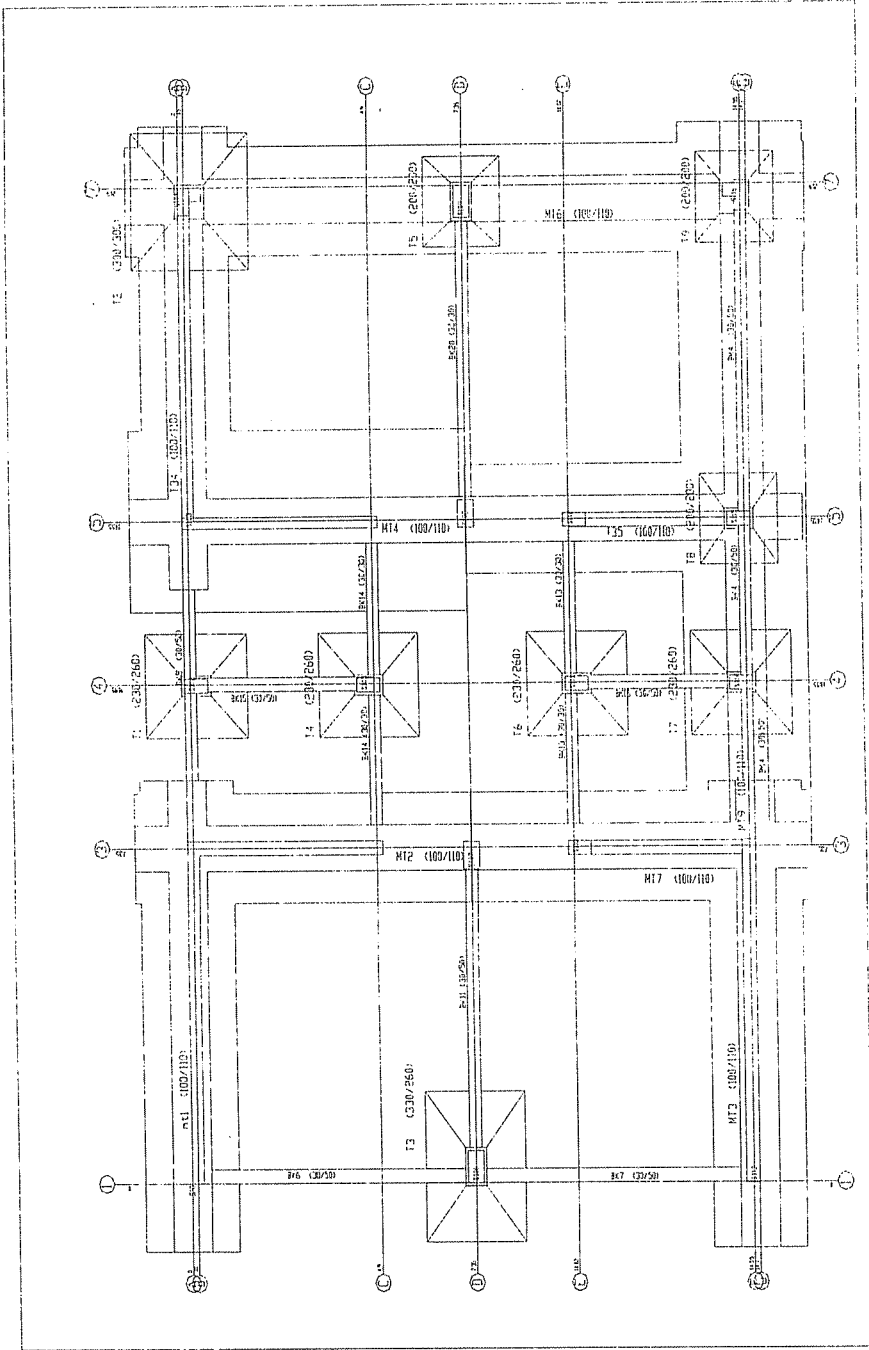
Temel sistemi güçlendirilmesinden sonra yapı temeline etkiyen maksimum zemin gerilmesi 11.59 t/m^2 dir. Mevcut yapının temel kalıp planı Şekil 4'de, güçlendirilmiş temel kalıp planı ise Şekil 5'de, verilmiştir.



Şekil 3. Mevcut temelin sürekli temele dönüştürülmesi detayı



Şekil 4. Mevcut yapı temel kalıp planı



Şekil 5. Takviyeli yapı sürekli temel kalıp planı

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu güçlendirme çalışması kapsamında öncelikle mevcut yapının yerindeki beton mukavemetine göre analizi yapılmıştır. Ayrıca değişik vaziyetlerde perde takviyesi ile 5 farklı çözüm daha yapılmıştır. Uygun güçlendirme için çözümler arasında kıyaslama yapılarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1- Perde takviyesi ile yapının rijitliği artırılarak Çizelge 1 ve Çizelge 2’de verilen yapı periyotlarının azaldığı tespit edilmiştir.

2- Toplam yüklerin (yatay+düşey) daha çok perde elemanları tarafından aktarıldığı için, kesiti yetersiz eleman sayısı kalmamıştır.

3- Genel güçlendirme işlemi perde takviyesi ile yapılarak kolonların mantolanmasına gerek kalmamıştır. Hasarlı olan kolon ise yerleştirilen perde elemanın içine alınmıştır.

4- Göreli kat deplasmanları perde takviyesi sonucunda azalmıştır. Böylece kesme kuvvetleri değerleri azaltılıp giriş elemanlarının kesitleri yeterli kalmıştır.

5- Elemanların ayrı ayrı takviyesi yerine, mimari olarak ölü duvarların betonarme perdelerle dönüştürülmesi ile yapı kullanımının kısıtlanmaması da bir avantaj olarak değerlendirilebilir.

6- Perde takviyesinde simetri gözümlüne alınarak kütle merkezi (G) ve rijitlik merkezi (R) oldukça yakınlştırılmıştır. Böylece ilave burulma kuvvetlerinin oluşması engellenmiştir.

7- Tüm sistemde perde takviyesi kullanıldığından yapı temel sistemi olumsuz yönde etkilenmiştir. Fakat mevcut durumda da temel sisteminin yetersiz oluşundan dolayı ilave bir temel sistemi güçlendirilmesi ile karşılaşılmamıştır.

8- Mevcut temel sistemi tekil+sürekli temelden oluşmakt iken güçlendirme sonrası temel sistemi sürekli temele dönüştürülerek, zemin gerilmelerinin zemin emniyet gerilmesinden küçük kalması sağlanmıştır. Bunun sonucunda zemin iyileştirmesine gerek kalmamıştır.

Yapılarda hasar oluşması istenilen bir durum değildir. Olası bir deprem anında oluşacak yatay kuvvetlerden dolayı meydana gelebilecek hasarlar can kaybı olmayacak mertebelerde kalmalıdır. Bu gibi hasarlı yapıların güçlendirme projelerinde gerekli hassasiyet gösterilerek yapının güçlendirme projesi titizlikle hazırlanmalıdır. Ayrıca bu projeleri yapan kişilerin uygulama aşamasında bulunmaları gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Körlü, M.S., “Depremde Hasar Gören Yapıların Güçlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.

2. Deneme, İ.Ö. ve Yerli, H.R., “Betonarme Yapılarda Deprem Hasarlarının Belirlenmesi ve Güçlendirme Projesi Uygulama Örneği”, Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 17, s. 21-30, Haziran 2002.

3. Bayülke, N., “Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi”, Türkiye İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir, 1999.

4. Türk Standartları, “Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (TS500)”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.

5. Demir, H., “Depremlerden Hasar Görmüş Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1992.

SEGMAN YERLEŞTİRİLMİŞ BORULARDA ISI TRANSFERİ VE BASINÇ KAYBININ SAYISAL ANALİZİ

Orhan BÜYÜKALACA ve Hakan AKGÜN
Ç.Ü., Makina Mühendisliği Bölümü, Adana /Türkiye

ÖZET : Bu çalışmada, içerisine segman yerleştirilmiş bir borudaki türbülanslı akışta ısı transferi ve basınç kayıpları FLUENT isimli sayısal akışkanlar mekaniği ve ısı transferi paket programı kullanılarak incelenmiştir. İlk aşamada boş boru ele alınmış, elde edilen sonuçlar literatürde yaygın olarak kullanılan eşitliklerle karşılaştırılmıştır. Daha sonra, üç farklı dizilişe sahip segman grupları kullanılarak, basınç kaybı ve ısı transferi artışı her bir segman grubu için ayrı ayrı belirlenmiştir. Segman yerleştirilmiş boruda sınır tabakasının sürekli olarak yenilenmesinden dolayı yüksek ısı transferi katsayıları elde edilmiştir. Belirli bir Reynolds sayısı için en yüksek ısı transferi artışı, segmanlar arası mesafenin 28 mm ve segmanların boru iç cidarından uzaklığının 2 mm olması durumunda elde edilmiştir.

NUMERICAL HEAT TRANSFER ENHANCEMENT IN PIPES WITH RING INSERTS

ABSTRACT : In this study, numerical simulation of heat transfer and pressure drop in a pipe with ring inserts was performed using the Computational Fluid Dynamics code FLUENT for turbulent flow. In the first part of the study, empty pipe was considered and the results obtained were compared with the well-known correlations available in the literature for the convective heat transfer and pressure drop in pipes. In the second part, three different ring insert groups were used to investigate enhancement in heat transfer and pressure drop. High heat transfer coefficients were obtained in the pipes with ring inserts due to renewal of boundary layer continuously. For a given Reynolds number, the maximum heat transfer increase was obtained from the ring group with a 28 mm distance between the ring inserts and 2 mm distance between the ring inserts and the inner wall.

1. GİRİŞ

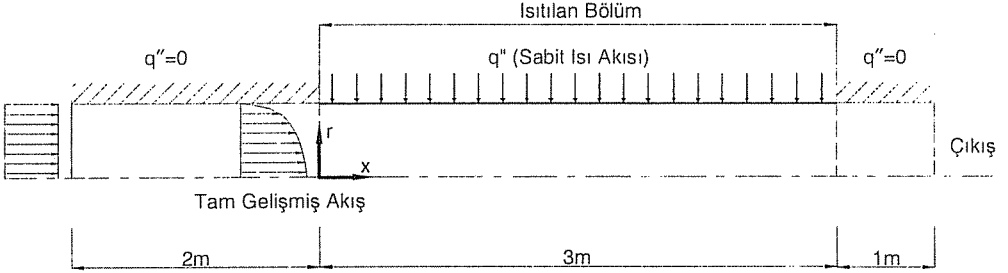
Tüm dünyada olduğu gibi, Türkiye’de de enerji tüketimi gün geçtikçe artmaktadır. Bununla birlikte enerji üretim maliyetleri de artmaktadır. Bu sorunları aşmak için enerji tüketimini azaltmak ya da enerjiyi daha verimli bir şekilde kullanmak gereklidir. Enerji tüketimini azaltmak mevcut refah seviyesi ile mümkün olmadığından, bilim adamları enerjiyi daha verimli bir şekilde kullanmanın yollarını aramaktadırlar. Tüm dünyada tüketilen enerji türleri içerisinde ısı enerji büyük bir oranı oluşturmaktadır. Modern hayatta kullandığımız birçok gıdanın, giysinin ve ürünün üretimi hep bir ısı işlemi gerektirmektedir. İçerisinde ısı transferi gerçekleşen cihazlarda ve proseslerde, ısı transferi “ısı eşanjörleri” olarak adlandırılan sistemler tarafından gerçekleştirilmektedir. Isı eşanjörlerinin etkinliğinde gerçekleştirilen bir iyileştirme, doğrudan o cihazın, prosesin etkinliğini olumlu yönde etkileyecektir. Isı eşanjörlerinin yaygın kullanımı da göz önüne alınırsa, bunun toplam enerji tüketimi ve az tüketimden dolayı da enerji üretimi üzerindeki olumlu etkileri açıktır. Isı eşanjörlerinde kullanılan borular genellikle küçük çaplarda olduklarından içerisinde laminar akış vardır. Ancak bazı durumlarda türbülanslı akış da oluşmaktadır. Hem laminar hem de türbülanslı akışta ısı transferine esas direnç boru cidarına yakın bir bölgede meydana gelmektedir. Bu bölgede akışın hızı merkeze göre düşüktür.

Isı transferi arttırımında uygulanan teknikler, dış kuvvet gerektiren aktif teknikler ve dış kuvvet gerektirmeyen pasif teknikler olarak sınıflandırılmaktadır. Aktif tekniklerde, dışardan verilmesi gereken elektrik veya yüzey titreşimi gibi bir güce ihtiyaç vardır. Pasif tekniklerde ise ısı transferi iyileştirmesi yüzey geometrisi veya akışkan hareketleri ile gerçekleşir. Pasif tekniklerden birisi boru içerisine belirli aralıklarla, periyodik olarak segman yerleştirilmesidir (1). Boru içerisine yerleştirilecek segmanlar ile bu düşük hız bölgesindeki hızın artırılması mümkündür. Böylece ısı transferine karşı direnç azalacak ve ısı eşanjörünün etkinliği de iyileşecektir. Bu çalışmada içerisine segman yerleştirilmiş borulardaki ısı transferi sayısal olarak incelenmiştir.

2. PROBLEM TANIMI

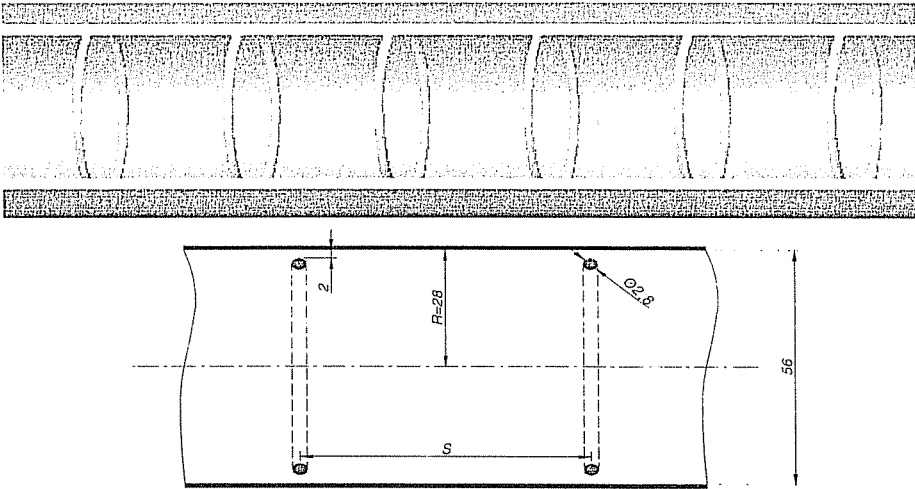
Bu çalışmada borular içerisindeki türbülanslı akışta geçerli olan süreklilik, momentum ve enerji denklemleri FLUENT paket programı kullanılarak çözülmüştür. FLUENT kontrol-hacmi prensibine göre çalışmaktadır.

Isı transferi akışkanı hava olup, hesaplamalarda kullanılan geometrik model toplam 6 m uzunluğunda ve 56 mm iç çapa (d_i) sahip yatay, çelik bir borudan oluşmaktadır. Borunun ilk 2 m’lik bölümü akışın hidrodinamik olarak gelişmesi için ayrılmış olup bu bölgede ısıtma yapılmamaktadır. Burada sınır şartları olarak girişte sabit kütle debisi ve sabit giriş sıcaklığı (300 K) kullanılmıştır. Boru cidarının sabit ısı akısıyla ($q''=500 \text{ W/m}^2$) ısıtıldığı bölüm, $L_1=3 \text{ m}$ uzunluğunda olup ısı transferi sonuçları bu bölge için incelenmiştir. Isıtılan bölgeden sonra 1 m’lik çıkış bölgesi yer almaktadır. Boru çıkışında dışarıya serbest akış sınır şartı uygulanmıştır.



Şekil 1. Problemin şematik gösterimi

Segmanlar, ısıtılan boru içerisine, boru iç cidarından mesafesi 2 mm olacak şekilde yerleştirilmiştir. Segmanlar arasındaki mesafe S , üç farklı şekilde alınmıştır. Ring-1 olarak adlandırılan düzenlemede $S=d_i=112$ mm, Ring-2'de $S=d_i/2=56$ mm ve Ring-3'de ise $S=d_i/4=28$ mm alınmıştır (Şekil 2). Segmanlar çelik malzemeden, dairesel kesitli yapılmış olup, kesit çapı 2.8 mm'dir (2).

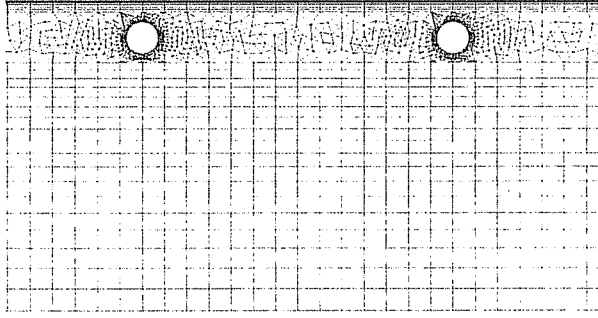


Şekil 2. Boru içerisine yerleştirilen segmanlar

Türbülanslı akışta laminer alt tabaka ısı, kütle ve momentum transferinde önemli bir rol oynamaktadır. Isı transferine en büyük direnç bu bölgede oluşur. Dolayısıyla, ısı transferini iyileştirmek için laminer alt tabakanın herhangi bir yöntemle inceltilmesi veya parçalanması ve bu yolla ısı transferinin artırılması mümkündür. Bu çalışmada türbülanslı akışta boru içerisine segman yerleştirilerek laminer alt tabakanın parçalanması ve böylece ısı transferinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu düşünceyle segmanlar ile boru iç cidarı

arasındaki mesafe, laminer alt tabakanın kalınlığıyla uyumlu olacak şekilde 2 mm olarak seçilmiştir.

Türbülans modeli olarak standart k-ε modeli kullanılmış olup, boru iç cidarına yakın bölgede “enhanced-wall treatment model” olarak adlandırılan bir yaklaşım kullanılmıştır (3). Yapılan hesaplarda havanın fiziksel özelliklerinin sıcaklıkla değişimi dikkate alınmıştır (4). Boru cidarına ve segmanlara yakın bölgelerde sık ağ yapısı uygulanarak, hassas sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. İçerisine segman yerleştirilmiş borudaki ağ yapısı

Boş boru ve her bir segman grubu için boru girişindeki Reynolds sayısı 2000 ile 35000 arasında değiştirilerek, boş boru için 29, her bir segman grubu için ise 15 farklı Reynolds sayısında sonuçlar elde edilmiştir.

3. HESAP YÖNTEMİ

İterasyonlar sonucu FLUENT’den elde edilen akışkan sıcaklık değerlerinden yerel ısı transferi katsayısı ve buna bağlı olarak Nusselt sayısı; basınç değerlerinden ise yerel sürtünme faktörü hesaplanmıştır. Hesaplamalar yapılırken ilk önce belirli bir kesitteki ortalama sıcaklık $T_b(x)$ bulunmuştur. Daha sonra yerel ısı transferi katsayısı, $h(x)$ ve Nusselt sayısı $Nu(x)$ aşağıdaki eşitlikler kullanılarak bulunmuştur:

$$T_b(x) = \frac{q'' \pi d_i \Delta x}{\dot{m} C_p} + T_b(x - \Delta x) \quad (1)$$

Bu eşitlikte x aksenal koordinatı, q'' ısı akım şiddetini, d_i boru iç çapını ve \dot{m} kütle debisini göstermektedir. Ortalama sıcaklık aynı zamanda FLUENT iterasyonlarından elde edilen hız (u) ve sıcaklık (T) değerleriyle de hesaplanabilir:

$$T_b(x) = \frac{\int_0^R u T r dr}{\int_0^R u r dr} \quad (2)$$

Yerel ısı transferi katsayısı $h(x)$ aşağıdaki eşitlikte tanımlanmıştır.

$$h(x) = \frac{q''}{T_{iw}(x) - T_b(x)} \quad (3)$$

Bu eşitlikteki $T_m(x)$ boru iç cidar sıcaklığıdır.

Yerel Nusselt sayısı $Nu(x)$, aşağıdaki eşitlikle belirlenmiştir:

$$Nu(x) = \frac{h(x) d_i}{k} \quad (4)$$

Burada k havanın ısı iletkenlik katsayısını gstermektedir.

Sürtünme faktörü f , ısıtılan bölgeye giriş ve ısıtılan bölgeden çıkış arasındaki basınç farkı (ΔP) yardımıyla aşağıdaki eşitlik kullanılarak bulunmuştur:

$$f = \frac{\Delta P}{(L_i / d_h)(\rho u_m^2 / 2)} \quad (5)$$

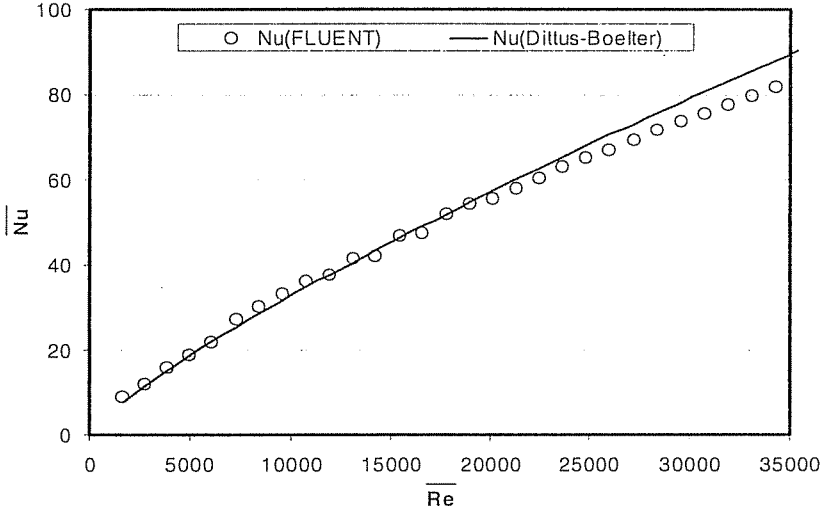
Bu eşitlikte, ρ havanın yoğunluğunu, u_m havanın ortalama hızını, d_h hidrolik apı, L_i ısıtılan bölgenin uzunluğunu gstermektedir.

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada sadece hidrodinamik ve ısı olarak tam gelişmiş bölgeden elde edilen sonuçlar dikkate alınmıştır. ısıtılan bölgeden önce yer alan 2 m uzunluğundaki giriş bölümü, akışkanın ısıtılan bölgeye hidrodinamik olarak tam gelişmiş girmesini sağlar. ısıtılan bölgede ise, akışın ısı olarak gelişmesi yaklaşık olarak ilk 1 m'lik bölümde gerçekleŐmekte olup, bu noktadan sonra profillerde dikkate değer bir değişiklik meydana gelmemektedir. Sunulan sonuçlar, ısıtılan bölgede $x = 1$ m ve $x = 3$ m arasındaki değerlerin ortalamasıdır (3).

Şekil 4'de boş boru hesaplarından elde edilen ortalama Nu sayısının Re sayısı ile değişimi verilmiştir. Beklendiği gibi, Re sayısının artmasıyla Nu sayısı da artmaktadır. Aynı şekil üzerinde, türbülanslı akışta, borularda konveksiyonla ısı transferi için yaygın olarak kullanılan eŐitliklerden birisi olan Dittus-Boelter eşitliği de (EŞitlik 6) gsterilmiŐtir. şekilden de görülebileceği gibi eşitlik ile sayısal sonuçlar arasında iyi bir uyum mevcuttur.

$$Nu = 0.024 Re^{0.8} * Pr^{0.4} \quad (6)$$



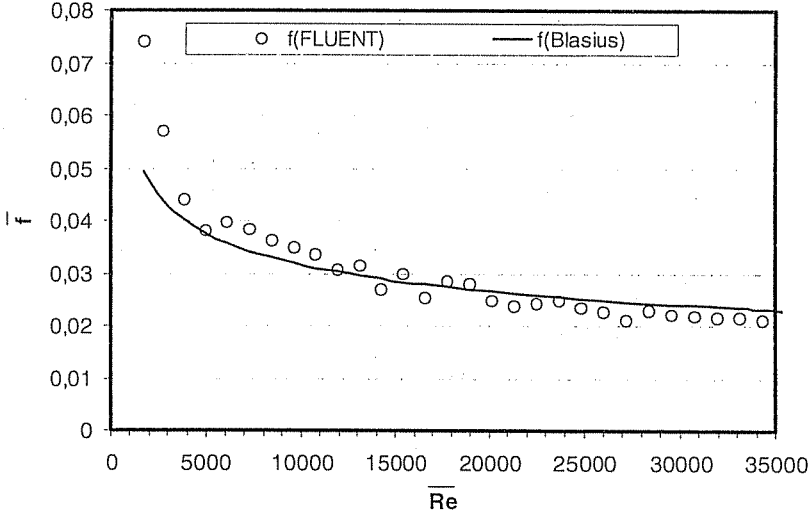
Şekil 4. Boş boru hesaplarından elde edilen Nu sayısının Dittus-Boelter eşitliği ile karşılaştırılması

Şekil 5 ise boş boru hesaplarından elde edilen sürtünme faktörü f 'nin Re sayısı ile değişimini göstermektedir. İterasyonlardan elde edilen f değerleri, türbülanslı akışta, borularda basınç kaybı hesabı için yaygın olarak kullanılan Blassius eşitliği

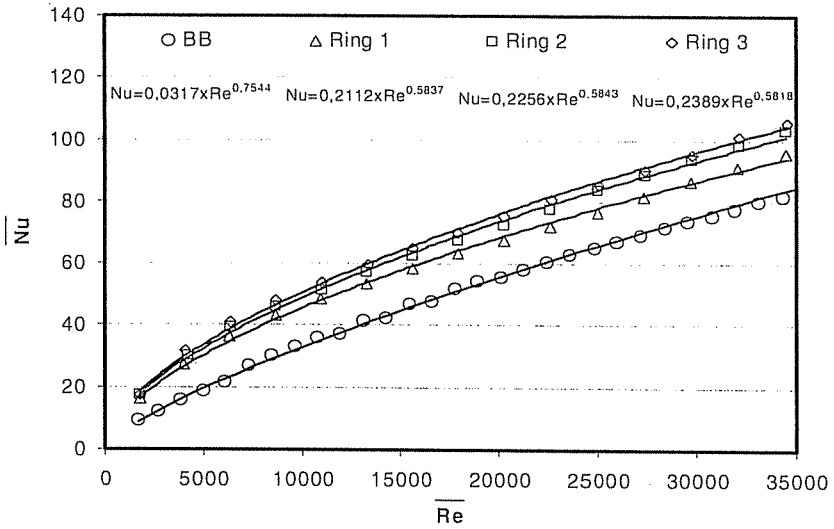
$$f = 0.3164 \cdot Re^{-0.25} \quad (7)$$

ile karşılaştırılmıştır. Şekil 5'den de görüldüğü gibi sayısal sonuçlar Blassius eşitliği ile iyi bir uyum göstermektedir.

Boş boru ve segmanlı boruların (Ring-1, Ring-2 ve Ring-3) sayısal çözümlerinden elde edilen Nu sayısının Re sayısı ile değişimi Şekil 6'de gösterilmiştir. Şekilde ayrıca her bir veri serisine uygulanan en küçük kareler yöntemiyle elde edilen eğriler de gösterilmiştir. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi, segman yerleştirilmesi durumunda ısı transferi boş boruya göre oldukça artmaktadır. Maksimum ısı transferi artışı Ring-3 de olmuştur. $Re \approx 35000$ için Ring-3'deki artış boş boruya göre %30 civarındadır. Bu artış Ring-2'de %28 ve Ring 1 de %20 şeklinde gerçekleşmiştir.

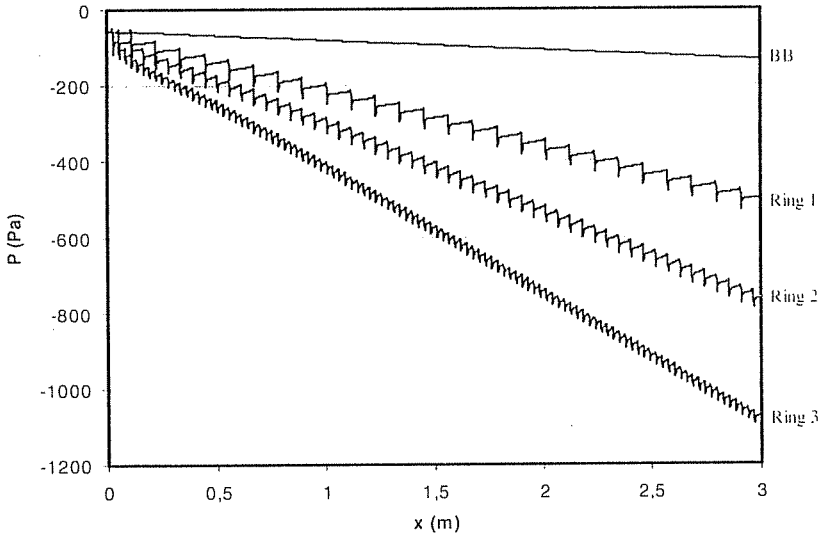


Şekil 5. Boş boru hesaplarından elde edilen f 'nin Blasius eşitliği ile karşılaştırılması

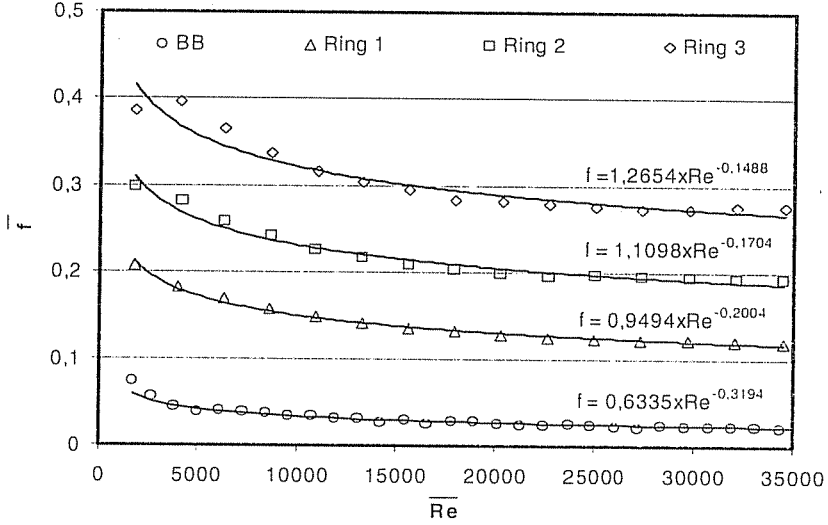


Şekil 6. Boş boru ve segman yerleştirilmiş borularda, Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Segman yerleştirilmesi durumunda ısı transferindeki artışa paralel olarak basınç kaybında da bir artış oluşmaktadır. Basınç kaydındaki artış Şekil 7'den açıkça görülmektedir. Şekilde boru girişindeki $Re_g=35634$ için basınç değerlerinin x mesafesi ile değişimi gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi en fazla basınç kaybı Ring-3'de olmuştur, bunu sırasıyla Ring-2 ve Ring-1 takip etmiştir. Basınç kaybı boru içerisindeki segman sayısı ile doğrudan ilişkilidir. En fazla segman Ring-3'de (107 adet), en az segman ise Ring-1'de (26 adet) bulunmaktadır. Ring-2'deki segman sayısı ise 53'tür.



Şekil 7. $Re_g=34459$ için boş boru ve segman yerleştirilmiş borularda basıncın x mesafesi ile değişimi



Şekil 8. Boş boru ve segman yerleőtirilmiŐ borularda sŰrtŰnme faktörünün Reynolds sayısı ile deęiŐimini.

Segman yerleőtirilmesi durumunda boş boruya göre sŰrtŰnme faktöründe oluşan artış Reynolds sayısının fonksiyonu olarak Şekil 8'de gösterilmiŐtir. Basınç kaybındaki eğilim sŰrtŰnme faktörü için de geçerlidir. $Re \approx 35000$ için boş boruya göre sŰrtŰnme faktöründeki artış Ring-3'de % 1188, Ring-2'de % 826 ve Ring-1'de ise %516 olmuŐtur.

6. SONUÇ

Bu çalışmada, içerisine segman yerleőtirilerek sabit ısı akısı ile ısıtılmıŐ yatay bir borudaki türbŰlanslı akıŐta konveksiyonla ısı transferi FLUENT paket programı kullanılarak sayısal olarak incelenmiŐtir. Yapılan çalışmada dört deęiŐik geometrik model denenmiŐtir. Bunlardan biri boş boru, diğer üçü ise segman yerleőtirilmiŐ borulardır. Segman yerleőtirilmiŐ borularda segmanlar arası mesafe deęiŐtirilmiŐ, diğer özellikler sabit tutulmuŐtur. Segmanlar arasındaki mesafe Ring-1, Ring-2 ve Ring-3 için sırasıyla 112 mm, 56 mm ve 28 mm'dir. Yapılan sayısal analizlerde Reynolds sayısı boru girişinde 2000 ile 35000 arasında deęiŐtirilmiŐtir. Sayısal sonuçların doğruluğunu kontrol etmek amacıyla boş boru sonuçlarından elde edilen Nusselt sayısı ve sŰrtŰnme faktörü literatürde bulunan ve yaygın olarak kullanılan Dittus-Boelter ve Blasius eŐitlikleri ile karŐılaŐtırılmıŐtır. Bulunan sayısal sonuçlar eŐitlikler ile iyi bir uyum içindedir.

İçerisine segman yerleştirilmiş borulardan elde edilen sayısal sonuçlar aynı Reynolds sayısı için boş boru sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Boru içerisine segman yerleştirilmesi durumunda hem ısı transferinde hem de basınç kaybında ciddi artışlar gözlenmiştir. Isı

transferinde ve basınç kaybında en fazla artış Ring-3 düzenlemesinde görülmüştür. Bu düzenlemede segmanlar arasındaki mesafe en küçük olup, bunun anlamı boru içerisindeki segman sayısının en fazla olmasıdır.

7. KAYNAKLAR

1. Bergles,A.E., "The Imperative to Enhance Heat Transfer", *Heat Transfer Enhancement of Heat Exchangers, NATO ASI Series, Vol. 355, pp. 13-29, 1999.*
2. Çungı,A., "Heat transfer inside a pipe with ring inserts", Ç.Ü., *Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2003.*
3. Akgün,H., "Numerical heat transfer enhancement in pipes with ring inserts" , Ç.Ü., *Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2003.*
4. Yılmaz,T., "Teorik ve uygulamalı ısı transferi", *Papatya Yayıncılık, 1999.*

**MERKEZİ İKLİMLENDİRME
SANTRALLERİNDE SOĞUTMA SERPANTİNİ YÜZEY SICAKLIĞININ
MATEMATİKSEL İFADESİ**

Mehmet Azmi AKTACİR ve Alper YILMAZ
Ç.Ü., Makina Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : *Bu çalışmada tam havalı merkezi iklimlendirme sistemlerinde soğutma grubu seçimini doğrudan etkileyen soğutma serpantini yüzey sıcaklığını veren bir eşitlik elde edilmiştir. Bu eşitlikle serpantin yüzey sıcaklığı, ortalama su sıcaklığı ve ortalama hava çıkış sıcaklığına göre hesaplanmaktadır. Sonuç olarak bu çalışmada; elde edilen eşitlikle, farklı durumlardaki ortalama su sıcaklıkları ve hava çıkış sıcaklıklarına göre serpantin yüzey sıcaklığı bulunmuştur.*

**MATHEMATICAL EXPRESSION
OF THE COOLING COIL SURFACE TEMPERATURE AT THE CENTRAL
STATION AIR HANDLING UNIT**

ABSTRACT : *In this study, an equation is obtained which gives cooling coil surface temperature affected by chiller system at the central station air handling unit in all air system. The cooling coil surface temperature depended on outlet air temperature and mean water temperature is calculated using this equation. As a consequence of this study, the cooling coil surface temperature is found by this equation for different conditions which are outlet air and mean water temperatures.*

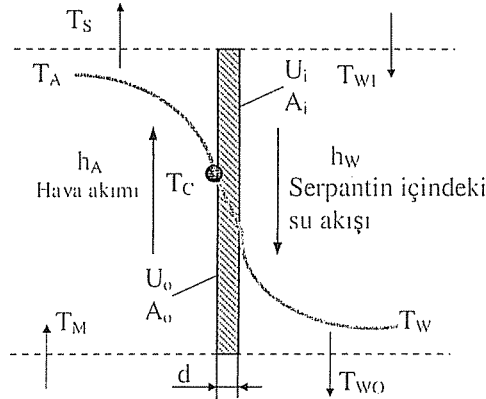
1. GİRİŞ

İklimlendirme sistemlerinde etkin bir tasarım yapmak tasarımcıların en önemli hedefidir. İklimlendirme sistemlerinde etkin bir tasarımın sağlanması bir çok parametreye (faktöre) bağlıdır. Bu parametreler kısaca mimari tasarımı etkileyen faktörler ve mekanik tasarımı etkileyen faktörler olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır. Mimari tasarımı etkileyen faktörlerden; binanın konumu, binanın şekli, bina elemanlarının yapıları gibi parametreler anlaşılmaktadır. Mekanik tasarımı etkileyen faktörler olarak tanımlanan gruba ise iklimlendirme sistemi seçimi, sistemin boyutlandırılması ve sistemin işletimi gibi parametreler girmektedir. Etkin bir tasarım için tüm parametreler göz ardı edilmeden tüm boyutları ile bir bütün olarak ele alınarak uygun çözüm bulunmalıdır. Sonuçta mimari tasarım öncelikle enerji ekonomisini gözeterek biçimde tasarlanmış olmalı ve uygun mekanik sistemin kurulmasına olanak sağlamalıdır.

Bu çalışmada tam havalı merkezi iklimlendirme sistemlerinde doğrudan soğutma grubunu etkileyen soğutma serpantini yüzey sıcaklığını, diğer bir ifade ile cihaz çığ noktası sıcaklığını veren bir eşitlik geliştirilmiştir. Bu parametrenin serpantin içinde dolaşan soğutma suyun ortalama sıcaklığı ve serpantin üzerindeki havasının çıkış sıcaklığıyla değişimi, matematiksel olarak ifade edilmiştir.

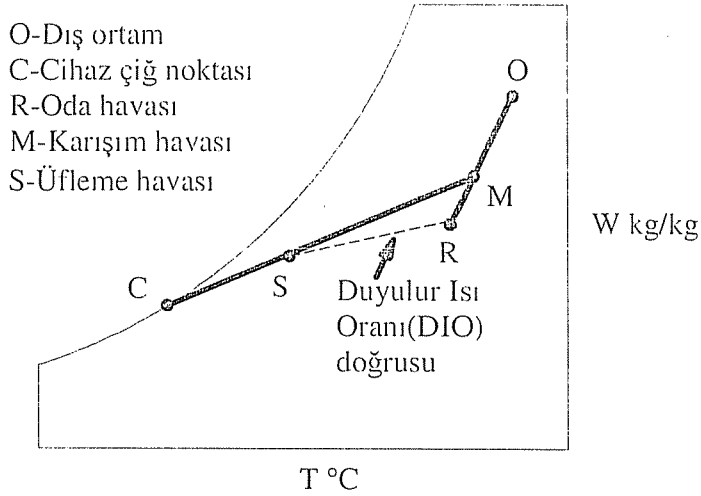
2. EFEKTİF YÜZEY SICAKLIĞI

Merkezi iklimlendirme sistemi (klima santrali) soğutma serpantini yüzey sıcaklığı, onunla temasta bulunan havanın sıcaklığına ve serpantin içinde dolaşan akışkanın (su) sıcaklık değişimine bağlı olarak değişir. Şekil 1'de soğutma serpantinin şematik resmi sıcaklık dağılımıyla birlikte gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi soğutma serpantininde, serpantin içinde dolaşan soğutucu akışkana göre ters doğrultuda soğutma serpantini üzerinden dolaşan üfleme havasının soğutulması işlemi gerçekleştirilmektedir. Burada soğutma prosesi gerçekleşirken, soğutma serpantini yüzeyinde "efektif yüzey sıcaklığı" olarak adlandırılan bir referans sıcaklığına sahip olur [1]. Bu sıcaklık İklimlendirme sistemi tasarımında önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır ve soğutma ve iklimlendirme sistemlerinin birçok parametresini etkilemektedir.



Şekil 1. Soğutma serpantininin şematik gösterimi.

Şekil 2’de verilen soğutma ve nem alma işlemini kapsayan yaz iklimlendirme sisteminde, efektif yüzey sıcaklığı; psikrometrik diyagram üzerindeki karışım havası noktası (M) ile üfleme havası noktasının (S) birleştirilerek elde edilen MS doğrusunun doyma eğrisini kestiği nokta (C) ile belirlenir. Bu durumlarda efektif yüzey sıcaklığı, cihaz çığ noktası sıcaklığı olarak da ifade edilir. Bu sıcaklık soğutma grubunu, gerekli hava debisini ve fan-coil seçimini etkilediğinden önemli bir değerdir.



Şekil 2. Psikrometrik diyagram üzerinde yaz iklimlendirme sisteminin şematik gösterimi.

Literatürde doğrudan serpantin yüzey sıcaklığını veren bir eşitlik bulunmamaktadır. Kaynak [1]’de oda şartlarına ve efektif duyulur ısı oranına (EDIO) göre serpantin yüzey sıcaklığını veren çizelgeler verilmiştir. Bazı üretici firmalar tarafından [2] hava çıkış sıcaklığı ve ortalama su sıcaklığına göre serpantin yüzey sıcaklığının belirlendiği abaklar verilmektedir. ASHRAE’nin yayınında ise serpantin yüzey sıcaklığı, serpantine giren suyun giriş sıcaklığı ve serpantinden ayrılan havanın yaş termometre sıcaklıklarının aritmetik ortalaması alınarak bulunmaktadır [3]. Pratik uygulama olarak serpantin yüzey sıcaklığı, ortalama su sıcaklığına 4 °C ilave edilerek de belirlenmektedir.

3. SERPANTİN YÜZEY SICAKLIĞININ MATEMATİKSEL İFADESİ

Şekil 1’de şeması görülen soğutma serpantininin üzerindeki hava akımı ve serpantin içersindeki su akışı arasında tek boyutlu ısı transfer denklemi yazılarak, serpantin yüzey sıcaklığını (T_C) veren eşitlik elde edilir.

$$T_C = T_A - QR_A \quad (1)$$

Bu eşitlikte kullanılan sembollerden T_A ; °C olarak ortalama hava sıcaklığını ve R_A ise havanın taşınım direncini ($m^2°C/W$) göstermektedir.

Eşitlik (1)'de verilen ısı akısı (\dot{Q}) aşağıda verilen eşitlik (2) ile ifade edilir:

$$\dot{Q} = \frac{(T_A - T_W)}{R_T} \quad (2)$$

Burada T_W ; °C olarak ortalama su sıcaklığını ve R_T ise hava ve su akışı arasındaki ısı direnci ($m^2°C/W$) göstermektedir.

Eşitlik (2) ile verilen ısı akısı, eşitlik (1)'de yerine konarak eşitlik (3) elde edilir.

$$T_C = T_A \left(1 - \frac{R_A}{R_T}\right) + \frac{T_W R_A}{R_T} \quad (3)$$

Bu eşitlikte;

$$a = \frac{R_A}{R_T} \quad (4)$$

şeklinde tanımlanarak, eşitlik (3) aşağıda verilen şekli alır.

$$T_C = (1 - a)T_A + aT_W \quad (5)$$

Bu eşitlikteki hava sıcaklığı; serpantine giriş (T_{AI}) ve çıkış (T_{AO}) sıcaklığının ortalaması alınarak hesaplanır.

$$T_A = \frac{T_{AI} + T_{AO}}{2} \quad (6)$$

Havanın giriş ve çıkış sıcaklıklarının farkı, eşitlik (7) şeklindedir.

$$\Delta T_A = T_{AI} - T_{AO} \quad (7)$$

Eşitlik (6) ve (7) ile ifade edilen değerler, eşitlik (5)'de yerine yazılarak eşitlik (8) elde edilir.

$$T_C = (1 - a)T_{AO} + aT_W + \left(\frac{1 - a}{2}\right)\Delta T_A \quad (8)$$

Burada;

$$b = \left(\frac{1-a}{2}\right)\Delta T_A \quad (9)$$

şeklinde tanımlanır. Eşitlik (8)'de bu değer yerine yazılırsa eşitlik (10) elde edilir.

$$T_C = (1-a)T_S + aT_W + b \quad (10)$$

Elde edilen bu genel eşitlikte, a ve b sabitleri literatürde [2] verilen grafikten faydalanılarak istatistik yöntem kullanılarak 2/3 ve 1.5 olarak belirlenmiştir. Bu değerler yukarıdaki eşitlikte yerine yazılırsa, ortalama su sıcaklığı ve hava çıkış sıcaklığına bağlı olarak soğutma serpantini yüzey sıcaklığı için eşitlik (11) elde edilir.

$$T_C = \frac{T_{AO} + 2T_W}{3} + 1.5 \quad (11)$$

4. SERPANTİN YÜZEY SICAKLIĞININ BULUNMASI

İklimlendirilecek bir ortamın sıcaklığı dış ortam sıcaklığından yaklaşık olarak 10°C'lik bir sıcaklık farkına sahip olması istenir. Ülkemizde bir çok yaz iklimlendirilmesi uygulamalarında ortam havası sıcaklığı 26 °C olarak alınabilmektedir. Merkezi iklimlendirme sisteminde soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklığı olarak genellikle 6°C-10°C, 7°C-11°C ve 9°C-13°C gibi değerler kullanılmaktadır. Bu değerler çeşitli uygulamalara göre değişmekle birlikte bir çok uygulamada ortalama su sıcaklığı genellikle 8, 9 ve 10 °C'dir. Üfleme havası sıcaklığı da çoğunlukla 14, 15 ve 16 °C değerleri arasında kabul edilmektedir.

Ortalama soğutma su sıcaklığının 8, 9 ve 10 °C'de ve hava çıkış sıcaklığının 14, 15 ve 16 °C değerlerinde serpantin yüzey sıcaklığı, bu çalışmada elde edilen eşitlik (11)'le ve McQuiston tarafından önerilen yöntemle bulunmuştur. Ayrıca pratikte kullanılan ortalama su sıcaklığına 4 °C ilave edilerek bulunan serpantin yüzey sıcaklıkları bulunarak diğer yöntemlerle elde edilen sıcaklıklarla birlikte Çizelge 1'de sunulmuştur.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada tam havalı merkezi iklimlendirme sistemlerinde doğrudan soğutucu grubunu etkileyen soğutma serpantini yüzey sıcaklığını, diğer bir ifade ile cihaz çığ noktası sıcaklığını veren bir eşitlik elde edilmiştir. Elde edilen eşitlik (11) ile doğrudan serpantin çıkış havası sıcaklığı ve serpantinde dolaşan suyun ortalama sıcaklığına bağlı olarak serpantin yüzey sıcaklığı hesaplanabilmektedir.

Serpantin yüzey sıcaklığı yukarıdaki bölümlerde de ifade edilmeye çalışıldığı gibi psikrometrik diyagram üzerinde gösterilen tüm noktalar ile bir etkileşim içersindedir. Bir tasarım gerçekleştirilirken tüm parametrelerin değerlendirilmesi ve optimum çözümün bulunması gerekmektedir. Serpantin yüzey sıcaklığının değişmesi soğutucu kapasitesine etkisi olmamakla birlikte hava debisini büyük oranda etkilemektedir. Dolayısıyla optimum çözüm için üfleme havası sıcaklığı ve serpantin yüzey sıcaklığının doğru olarak tespit edilmesi gereği vardır. Uygun olmayan çözümlerde ilk yatırım ve işletim giderlerinin artması ve termal konforun sağlanamaması gibi olumsuzluklarla karşılaşılması kaçınılmazdır.

Çizelge 1’de verilen değerlerden, pratik olarak hesaplanan serpantin yüzey sıcaklığı genelde yüksek ancak ASHRAE’de tavsiye edilen metodun da düşük değerler verdiği görülmekte olup, eşitlik (11)’in uygun sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 1. Farklı hava çıkış ve ortalama su sıcaklıklarında serpantin yüzey sıcakları.

Hava Çıkış Sıcaklığı T_{AO} [°C]	Ortalama Su Sıcaklığı T_w [°C]	Hesap Yöntemi	Serpantin Yüzey Sıcaklığı T_c [°C]
16.00	8.00	Pratik	12.00
		Eşitlik	12.17
		McQuiston	11.00
	9.00	Pratik	13.00
		Eşitlik	12.83
		McQuiston	11.50
	10.00	Pratik	14.00
		Eşitlik	13.50
		McQuiston	12.00
15.00	8.00	Pratik	12.00
		Eşitlik	11.83
		McQuiston	10.00
	9.00	Pratik	13.00
		Eşitlik	12.50
		McQuiston	10.50
	10.00	Pratik	14.00
		Eşitlik	13.17
		McQuiston	11.00
14.00	8.00	Pratik	12.00
		Eşitlik	11.50
		McQuiston	9.50
	9.00	Pratik	13.00
		Eşitlik	12.17
		McQuiston	10.00
	10.00	Pratik	14.00
		Eşitlik	12.83
		McQuiston	10.50

Sonuç olarak bu çalışmada elde edilen eşitlikle kolayca, uygulanacak soğutma sistemin özelliklerine uygun olarak belirlenen hava çıkış sıcaklığına ve ortalama su sıcaklığına göre serpantin yüzey sıcaklığı tespit edilmektedir.

6. SEMBOLLER

T_C	: Soğutma serpantini yüzey sıcaklığı, [$^{\circ}\text{C}$]
T_A	: Soğutma serpantini yüzeyinde dolaşan havanın ortalama sıcaklığı, [$^{\circ}\text{C}$]
T_{AI}	: Soğutma serpantini yüzeyinde dolaşan havanın giriş sıcaklığı, [$^{\circ}\text{C}$]
T_{AO}	: Soğutma serpantini yüzeyinde dolaşan havanın çıkış sıcaklığı, [$^{\circ}\text{C}$]
ΔT_A	: Soğutma serpantini yüzeyinde dolaşan havanın giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı, [$^{\circ}\text{C}$]
\dot{Q}	: Soğutma serpantini yüzeyinden havaya transfer edilen enerji miktarı, [W/m^2]
R_A	: Havanın ısı direnci, [$\text{m}^2\text{C}/\text{W}$]
R_T	: Hava ve su akışı arasındaki ısı direnci, [$\text{m}^2\text{C}/\text{W}$]
T_W	: Soğutma serpantini içinde dolaşan suyun ortalama sıcaklığı, [$^{\circ}\text{C}$]
a	: Isı dirence bağlı boyutsuz sayı
b	: a ve ΔT_A 'ya bağlı boyutsuz sayı

7. KAYNAKLAR

1. Tamer,Ş., "Klima ve Havalandırma", Mateksan yayınevi, Ankara, 1990.
2. Baumgarth,S., Hörner,B. und Reeker,J., "Handbuch Der Klimatechnik" 4. Auflage, Band 1, Grundlagen, Verlag, C.F. Müller, Heidelberg, 2000.
3. Mcquiston,F.C., Spittle,J.D., "Cooling and Heating Load Calculation Manuel", Ashrae, Inc. 1992.

HAVA KİRLİLİĞİ DAĞILIMININ BELİRLENMESİNDE ISCST3 MODEL PROGRAMININ KULLANIMI: AÇS ÖRNEĞİ

Ahmet ATLI, Ahmet YÜCEER ve Fuat BUDAK
Ç.Ü., Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Bu çalışmada Adana Çimento Sanayi'nin (AÇS), tesis ve çevresindeki hava kalitesine olan etkilerini belirlemek amacıyla "United States Environmental Protection Agency (USEPA)" tarafından geliştirilen "Industrial Source Complex Short Term 3, (ISCST3)" model programı kullanılmıştır. Model girdileri olarak; Adana Çimento Fabrikası baca gazı emisyonları ve bölgenin meteorolojisini yansıtan meteorolojik veriler kullanılmış ve tesisten kaynaklanan toz (PM_{10}) emisyonlarının tesis çevresindeki $20 \times 20 \text{ km}^2$ 'lik alanda oluşturacağı yer seviyesi konsantrasyonları (YSK) belirlenmiştir. Tesisten kaynaklanan tozun bölgede oluşturacağı dağılımı, iki ve üç boyutlu haritalar ile gösterilmiştir. Ayrıca fabrikadan kaynaklanan PM_{10} emisyonunun, tesisin çevresindeki en büyük yerleşim merkezi olan İncirlik Beldesi üzerindeki hava kirliliğine katkıları da belirlenmiştir. Modelin doğruluğunu kanıtlamak üzere model sonuçları ile hava kalitesi ölçüm sonuçları karşılaştırılmış, model sonuçlarının yüksek oranda doğruluk gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava Kirliliği, Adana Çimento Sanayi, Hava Kalitesi, ISCST3

THE USE OF ISCST3 MODEL PROGRAM FOR DETERMINATION OF AIR POLLUTION DISTRIBUTION: A CASE STUDY FOR AÇS

ABSTRACT : In this study, Industrial Source Complex Short Term Model developed by USEPA was used in order to determine the effects of Adana Cement Factory to air quality in its vicinity. As model inputs, Adana Cement Factory stack gas emission and data representing meteorological situation of the region were used and ground level concentrations of PM_{10} emissions were determined for on area of $20 \times 20 \text{ km}^2$ surrounding the plant. The pollution distribution from factory was presented in 2D and 3D maps. Besides, the contribution of PM_{10} caused by ACF to air pollution in the vicinity of İncirlik Town which is the largest city around ACF was also determined. The model results were compared to air quality measurements in order to verify the model. The model results were determined to be with accuracy based on the observations.

Key Words: Air Pollution, Adana Cement Factory, Air Quality, ISCST3

1. GİRİŞ

Son yıllarda sanayinin hızlı gelişmesiyle birlikte endüstriyel kaynaklı hava kirliliği ön plana çıkmaktadır. Sanayiden kaynaklanan hava kirliliği esas olarak atık gazların yeterli tedbirler alınmadan atmosfere bırakılması ve yanlış yer seçimi sonucu meydana gelmektedir (1). Arazinin topografik durumu, bölgenin meteorolojik şartları ve endüstrileşmenin yoğunluğu dikkate alınmadan kurulan sanayi tesislerinden atmosfere bırakılan kirleticiler bu ortamda dağılarak hava kirliliğine neden olmaktadır (2-6).

Kirleticiler ve kirliliğin miktarının belirlenmesi, hava kalitesi kontrol çalışmalarının başında yer alır. Gerek mevcut durumun saptanması, gerekse yapılması planlanan tesislerin hava kalitesi üzerine mevcut tesislerle birlikte yapacağı bileşik etkilerin tahmin edilebilmesi hava kalitesi modelleri kullanılarak yapılabilir (3). Hava kalite modellemesi ile yerde oluşacak kirleticiler konsantrasyonları hesaplanarak elde edilen verilerden hareketle kaynaklara getirilecek kısıtlamalar, örneğin bir fabrikanın kurulacağı yerin belirlenmesi, baca yüksekliklerinin belirlenmesi, emisyon standartlarının ve arıtma sistemlerinin şekillendirilmesi, bir bölge ve kentte emisyon kısıtlamalarının planlanması, acil durum planlarının yapılması gibi hava kirlenmesi kontrolündeki bütün uygulamalara esas teşkil eder (1,7,8).

Bu çalışmada daha çok tozlanma nedeniyle çevre kirlenmesi yaratan çimento tesislerinin durumu ele alınmaktadır. Bu konu ülkemiz için büyük önem taşır, çünkü Türkiye, çimento üretiminde Avrupa ve dünya çapında bir yere sahiptir. Portland çimentosu da denilen normal çimento, ülkemizin birçok yerinde kimi zaman yerleşim alanları içerisinde kalan yerlerde, büyük tesislerde kuru sistemli teknolojiler kullanılarak üretilir. Hammade, kömür ve katkı maddelerinin ön işlemlerden geçirilerek öğütülmesi, depolanması, uygun bir karışım haline getirilip döner fırınlara verilmesi sırasında çok miktarda toz çıkabilir. Tozlanma, kömür tozu ile çalışan sistemlerde kömür hattındaki öğütme, ayırma, depolama, besleme ve yakma işlemlerinde de kendini gösteren bir kirlenme türüdür. Yakıtın yapısına bağlı olarak döner fırından çıkan gazlarda da önemli oranda gaz ve toz halde kirleticiler bulunur. (8)

Bu çalışmada Adana Çimento Sanayisi'nden (AÇS) kaynaklanan hava kirliliğinin belirlenmesi amacıyla "Industrial Source Complex Short Term , (ISCST3) " hava kalite model programı kullanılmıştır. Model ile AÇS'den atmosfere verilen toz (PM₁₀) emisyonunun fabrika çevresinde oluşturacağı yer seviyesi konsantrasyonları (YSK) hesaplanmıştır

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Bu çalışmada materyal olarak AÇS'den atmosfere verilen toz emisyonları, fabrikanın çevresinde yapılan hava kalitesi ölçüm sonuçları ve çalışma alanına ait meteorolojik ölçüm değerleri kullanılmıştır.

Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB), Kalite ve Çevre Kontrol Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmalarda öncelikle AÇS' deki emisyon kaynakları ve kirleticiler türleri tespit edilmiş, ölçüm yapılacak emisyon kaynaklarının baca gazı hatlarında uygun örnekleme yerleri hazırlanarak Kasım 2000 ve Şubat 2001 aylarında baca gazı ölçümleri yapılmıştır.

AÇS'de toplam 566 ton/saat kapasiteli 4 adet farin değirmeninde hazırlanan hammadde toplam 7000 ton/gün (292 ton/saat) kapasiteli ön ısıtıcı, kuru sistem döner fırınlarda 1450 – 1500 °C'de pişirilerek klinker üretilmektedir. Bu üretim hatlarının yıllık kapasitesi toplam 3.750.000 ton/yıl klinkerdir. (9)

Tesiste 13 adet elektrofiltre, 53 adet torbalı filtre olmak üzere toplam 66 adet emisyon kaynağı bulunmaktadır. Bu emisyon kaynaklarından, atmosfere verilen emisyon büyüklüğü itibarıyla 11 tanesi modelleme çalışmalarında kullanılmıştır. (Çizelge 1.)

Çizelge 1. AÇS Baca Gazı Toz Konsantrasyonları ve Emisyon Debileri (9)

Emisyon Kaynağı	Toz		NO ₂ (kg/sa)	CO(kg/sa)	SO ₂ (kg/sa)
	mg/m ³	(kg/sa)			
1	108 (E.F.)	20	74	36	3
2	84 (E.F.)	14	107	85	-
3	28 (D.S.)	13	361	75	-
4	36 (E.F.)	5	30	121	-
5	38 (E.F.)	4	-	3	-
6	62 (T.F.)	3	-	3	-
7	39 (E.F.)	2	8	7	-
8	59 (E.F.)	0.5	0.6	1	-
9	85 (E.F.)	6	-	-	-
10	38 (D.S.)	5	-	-	-
11	12 (E.F.)	1	-	-	-
Sınır Değerler (kg/sa)		15	40	1000	60
Toplam Emisyonlar (kg/sa)		77	581	331	3

(E.F.) Elektrofiltre

(T.F.) Torbalı Filtre

(D.S.) Çimento Sanayi Çevre Deklarasyonu'nun imza tarihinden sonra kurulmuş veya kapasitesi artırılmış üretim ünitesi.

Modelleme çalışmaları için gerekli olan uzun dönemli, saatlik meteorolojik veriler Adana Meteoroloji Bölge Müdürlüğü İstasyonlarından sağlanmıştır (10). Meteorolojik veriler rüzgar esme yön ve frekansları, ortalama rüzgar hızları ve ortalama sıcaklıklardır. Meteorolojik veriler ASCII formatında derlenip programa input dosyası olarak girilmiştir.

2.2. Metot

Hava kirleticilerin dağılım hesabı, USEPA tarafından geliştirilen " Industrial Source Complex (ISC3) " modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu model, noktasal ve noktasal olmayan kaynaklardan hava ortamına verilen kirleticilerin, zaman içerisinde değişen gerçek zaman verilerini baz alarak kaynak veya kaynaklar grubu etrafındaki dağılımlarını, yer seviyesindeki veya istenilen yükseklikteki konsantrasyonlarını ve yer seviyesindeki çökelmeleri hesaplayan gelişmiş bir bilgisayar modelidir (11).

ISC3 modeli, kullanıcı tarafından tanımlanan kartezyen veya polar alıcı ortam sisteminde rüzgar esme yön ve frekansı, dış ortam sıcaklığı gibi meteorolojik verileri, baca boyu, çapı, emisyon kütleli debisi, baca gazı çıkış hızı gibi kaynak verileri ve alıcı ortamın topografik özelliklerini kullanarak yeryüzü seviyesi kirletici

konsantrasyonlarını belirler. Çizelge 2'de AÇS'de bulunan kirletici özelliği en fazla olan 11 bacanın fiziksel karakteristikleri ve emisyon debileri görülmektedir.

Çizelge 2. AÇS Emisyon Kaynakları Karakteristikleri (9)

Kaynak No	Baca Yüksekliği (m)	Baca İç Çapı (m)	Baca Gazı Çıkış Hızı (m/s)	Baca Gazı Çıkış Sıcaklığı (°C)	Kirletici Debileri (g/s)			
					Toz	NO _x	CO	SO ₂
1	66.2	2.5	13.6	61	5.6	20.5	10	0.83
2	54.5	1.8	22.5	62	3.9	29.7	23.6	-
3	93	4.6	11.2	77	3.6	100.3	20.8	-
4	56	2	17.1	74	1.39	8.3	33.6	-
5	20	1.69	13	30	1.1	-	0.83	-
6	20	1.35	14.1	56	0.83	-	0.83	-
7	25	1.8	9.6	85	0.5	2.2	1.9	-
8	25	0.7	6.7	31	0.1	0.1	0.2	-
9	25	1.8	12	227	1.6	-	-	-
10	20	2.6	11	180	1.3	-	-	-
11	45	1.8	15.7	199	0.27	-	-	-

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Modelleme Sonuçları

Hakim rüzgar yönünün ve bölgenin topografyasının etkisi ile fabrika merkezli 20x20 km² lik alanda 500'er m aralıklarla oluşturulan kartezyen alıcı ortam sistemindeki toplam 1681 noktada model ile YSK'ları hesaplanmış ve maksimum PM₁₀ konsantrasyonları Çizelge 3'de verilmiştir.

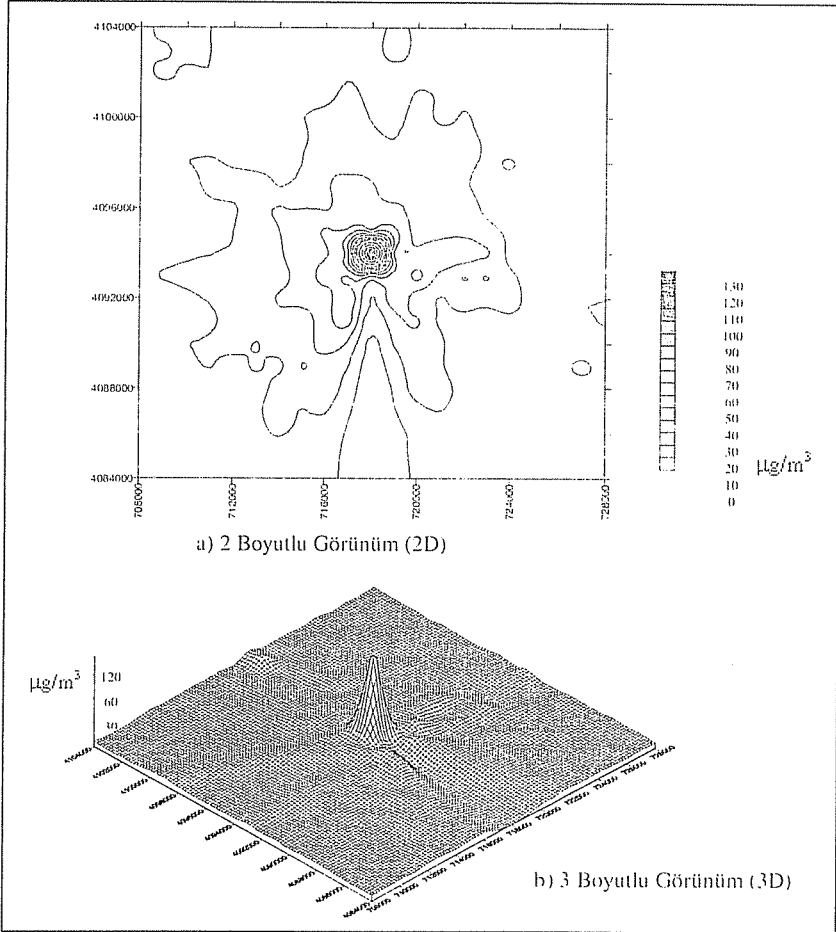
Çizelge 3. AÇS'den Kaynaklanan PM₁₀ Yer Seviyesi Konsantrasyonları.

	HKKY Sınır Değeri (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	Koordinatlar	
			X (m)	Y (m)
Hesaplanan Max. Günlük (KVS)	300	139.84	718.500	4.095.000
Hesaplanan Max. Yıllık (UVS)	150	1.52	718.500	4.095.000

Modelleme çalışmalarının sonucunda AÇS'den atmosfere bırakılan toz emisyonlarının alıcı ortam olarak belirlenen 20x20 km² lik alandaki dağılımı iki ve üç boyutlu haritalar halinde Şekil 1'de görülmektedir.

Çizelge 3'de görüldüğü gibi hesaplanan günlük PM₁₀, YSK değeri 139.84 µg/m³ değerinde olup fabrika alanı içerisinde oluşmaktadır. Bu değer Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne (HKKY) göre PM₁₀ için kısa vadeli sınır değer (KVS) olan 300 µg/m³ ün oldukça altındadır. Tesisten kaynaklanan PM₁₀ YSK'ları tesis ve çevresinde en yüksek değerlerde olup tesisten uzaklaştıkça dairesel bir şekilde konsantrasyonlarda azalma görülmektedir. Partiküler madde yer seviyesi konsantrasyonunun tesis çevresinde yüksek değerlerde olmasının en önemli sebebi askıda duran partikül halindeki maddelerin molekül büyüklüğünün fazla olması sebebiyle çökelme eğiliminde olmasıdır (3,12,13). PM₁₀ konsantrasyonunun fabrika alanı içerisinde yüksek olmasının diğer bir sebebi bölgedeki rüzgar hızının yüksek olmamasıdır. Adana Meteoroloji Bölge

Müdürlüğü'nden alınan rüzgar hızı ölçümlerine göre çalışma alanının yıllık ortalama rüzgar hızı 2.2 m/sn'dir (10).



Şekil 1. AÇS'den Kaynaklanan Saatlik Ortalama PM₁₀ Dağılımı (a,b)

Model sonuçlarının doğruluğunun kontrol edilmesi amacıyla yönelik olarak model çalışması yapılan bölgede hava kalitesi ölçümlerinin yapılması ve model sonuçlarının ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması gerekir. TÇMB, Adana Çimento Fabrikası'nın hava kirliliğine olan etkilerini tespit etmek amacıyla Temmuz 2000-Haziran 2001 tarihleri arasında fabrika sınırları içerisinde 4 farklı gözlem noktası belirlemiş ve HKKY'ne uygun ölçümler yapmıştır. İnceleme alanları ve yıllık ortalama bazında ölçüm sonuçları Çizelge 4'de görülmektedir.

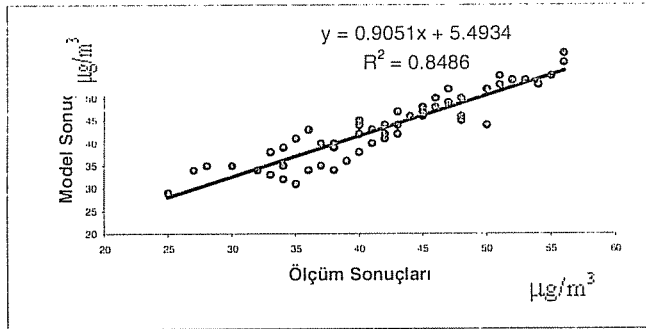
Çizelge 4. İnceleme Alanları Yıllık Ortalama Hava Kalitesi Ölçümleri (14)

İNCELEME ALANI NO	YILLIK ORTALAMALAR						
	SO ₂ µg/m ³	CO µg/m ³	NO ₂ µg/m ³	NO µg/m ³	O ₃ µg/m ³	H ₂ S µg/m ³	PM ₁₀ µg/m ³
1	17	95	47	5	64	11	53
2	8	107	46	5	67	5	52
3	8	309	46	8	63	6	50
4	8	137	46	9	65	6	49
Ortalama, µg/m ³	10.2	162.0	46.5	6.8	64.7	6.9	51
Sınır Değer, (UVS) µg/m ³	150	10000	100	200	-	-	150
Ortalama/Sınır Değer,%	6.79	1.62	46.53	3.41	-	-	34.03

AÇS ve çevresinde TÇMB tarafından yapılan hava kalitesi ölçüm çalışmalarına göre hava kirleticilerin HKKY'deki sınır değerleri aşmadığı görülmektedir. (Çizelge 3)

Şekil 2'de model sonuçları ile ölçüm sonuçları eğilim çizgisi grafiğinde karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere model ile bulunan YSK değerleri, TÇMB tarafından yapılan yer seviyesi ölçümleri ile yüksek oranda uyumluluk göstermektedir.

Modelleme çalışmalarında kaynak dataları olarak AÇS emisyonları kullanılmıştır ve model sonuçları AÇS'nin bölgedeki hava kirliliğine olan katkılarını ifade etmektedir. Bununla birlikte yer seviyesinde oluşan toz konsantrasyonları çevrede bu kirleticiyi oluşturan önemli bir sanayi tesisi olmadığı düşünülerek büyük oranda AÇS'den kaynaklandığı kabul edilebilir.



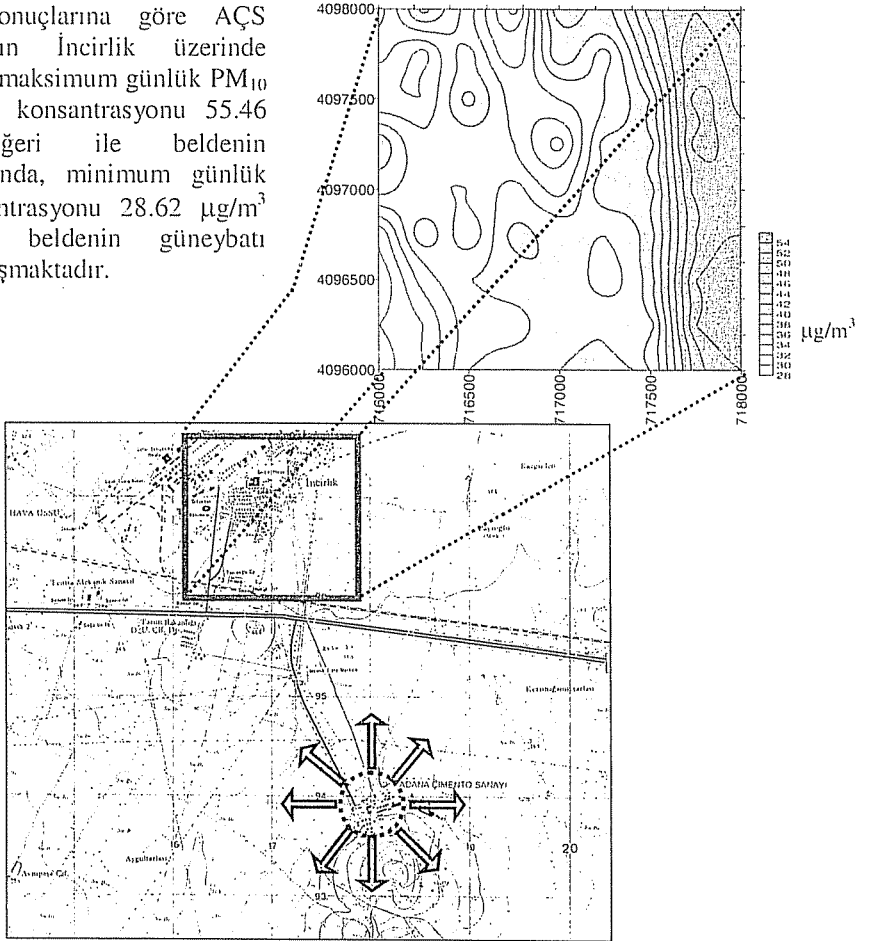
Şekil 2. Ölçüm Sonuçları ile Model Sonuçlarının Karşılaştırılması.

3.2. AÇS'nin İncirlik Yerleşim Merkezindeki Hava Kirliliğine Katkıları

AÇS'den kaynaklanan tozların fabrika yakınındaki en büyük yerleşim merkezi olan İncirlik Beldesi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla ISC3 modelinin bir özelliği olan "Discrete Receptor" parametresi kullanılmıştır. İncirlik yerleşim merkezi Şekil 3'deki haritada görüldüğü gibi 250 m aralıklarla bir kartezyen sistem olarak programa tanımlanmış ve kasabanın sınırları içerisinde toplam 81 noktada PM₁₀ YSK'ları belirlenmiştir. İncirlik Beldesi'nin yerleşim planı ve AÇS'nin İncirlik üzerinde

oluşturacağı hava kirliliği Şekil 3'de görülmektedir. AÇS'den kaynaklanan partiküler maddelerin İncirlik Beldesi üzerindeki dağılımının, yerleşim merkezinin doğu kısmında güney-kuzey doğrultusunda en yüksek değerleri aldığı belirlenmiştir.

Model sonuçlarına göre AÇS emisyonlarının İncirlik üzerinde oluşturacağı maksimum günlük PM_{10} yer seviyesi konsantrasyonu $55.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değeri ile beldenin kuzeydoğusunda, minimum günlük PM_{10} konsantrasyonu $28.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değeri ile beldenin güneybatı kısmında oluşmaktadır.



Şekil 3. AÇS'nin İncirlik Yerleşim Merkezinde Oluşturduğu Hava Kirliliği

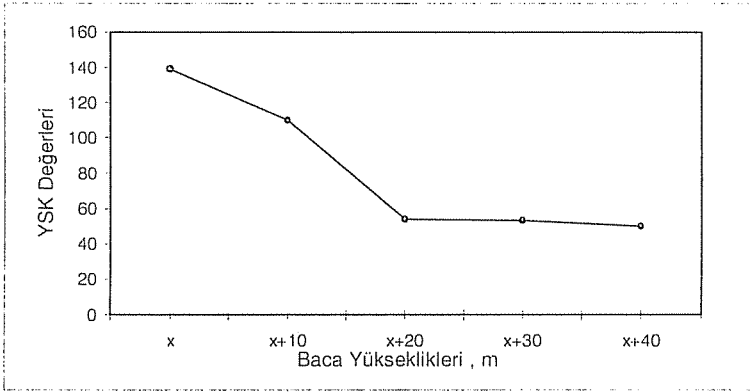
3.3. Baca Yüksekliğinin Hava Kirleticilerin Dağılımına Etkisi

Bacaların başlıca iki tür görevi vardır. Bunlar; kirletici maddelere hava ortamında yeterli seyrelme imkanı sağlamak ve fırın, kazan vb. ünitelere yeterli hava girişi için gerekli çekişi sağlamaktır. Kirleticilerin hava ortamında seyrelmesi hava kirlenmesi kontrolünde önem taşır. Bu işlevini gerçekleştirebilmesi için bacanın mümkün olduğunca yüksek olması bununla beraber baca ağzında gaz çıkış sıcaklığının, gaz yükselme hızının ve atmosferde rüzgar hızının yüksek olması gerekir. (12,15)

Adana'da sanayi tesislerinin bacalarının yükseklikleri çok düşüktür ve çevreye olan etkileri bundan dolayı daha da artmaktadır. Bunun sonucu olarak yerleşim bölgeleri arasında kalmış olan tesislerin, bacalarından atıkları kirletici emisyonlar, anında tesis çevresine çökmekte ve bölgede önemli bir kirlilik meydana getirmektedir. Bölgede yapılan bir çalışmada, "İngiliz Temiz Hava Kanunu'na" ve bölgenin tipine bağlı olarak istenilen seviyelerde seyrelmeye yardımcı olabilmesi için Adana'da olması gereken baca yüksekliği ortalama 74,5 metre olarak hesaplanmıştır (15).

Adana Çimento Fabrikası'nda yapılan incelemeler sonucunda tesisdeki döner fırınların ana bacalarının çatısız olduğu ve yerden yüksekliklerinin HKKY'de sınır değeri olan 19 m'nin üzerinde olduğu görülmektedir.

Baca yüksekliklerinin duman dağılımına ve YSK'ları üzerine etkisini belirlemek için AÇS baca yükseklikleri 10, 20, 30 ve 40' ar metre artırılarak herbir artış için model çalıştırılmış ve YSK'ları karşılaştırılmıştır. Fiili baca yüksekliklerinde tespit edilen model sonuçları ve baca yüksekliklerinin yükseltilmiş haliyle bulunan model sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4'de verilmiştir. Fiili baca yüksekliğinde (x) maksimum PM_{10} konsantrasyonu $139,84 \mu\text{g}/\text{m}^3$, baca yükseklikleri 10'ar metre artırılmış hali ile $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 20 metre artırılmış hali ile $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mertebesine düşmüştür. 30 ve 40 metre artırılmış baca yüksekliklerinde PM_{10} YSK değerlerinde büyük oranda değişim olmadığı görülmektedir.



Şekil 4. Baca Yüksekliği Değişiminin YSK'ları Üzerine Etkisi.

4. SONUÇLAR

Model sonuçları, YSK değerlerinin fabrika alanı ve yakın çevresinde yüksek olduğunu, fabrika alanından uzaklaştıkça YSK değerlerinin düştüğünü göstermektedir. Model sonuçlarına göre meteorolojik faktörler ve mevcut topografyanın etkisi ile 1 yıl süre zarfında oluşacak maksimum havada asılı partikül madde (PM_{10}) konsantrasyonunun KVS ve UVS değerleri sırasıyla $139,84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile $1,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olup fabrika alanı içerisinde oluşacağı ve HKKY'de hava kirleticileri için uyulması gereken PM_{10} için sınır değerleri aşmadığı görülmektedir.

Modelin doğruluğunu saptamak amacıyla PM₁₀ YSK'ları için model sonuçları ve TÇMB tarafından fabrika alanı içerisinde yapılan yer seviyesi ölçümleri karşılaştırılmış, yapılan karşılaştırma sonucunda model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının büyük oranda yakınlık gösterdiği görülmüştür. Bu karşılaştırma yapılırken göz önünde bulundurulması gereken; modelleme çalışmalarının sadece AÇS'nin baca gazı emisyon değerleri ile yapıldığı, yani dağılımın olduğu alan içerisindeki hava kirliliğine bölgedeki diğer fabrikaların da katkıda bulunacağı hususudur. Ancak bölgede yapılan araştırmaların sonucu yer seviyesinde oluşacak toz konsantrasyonlarının büyük ölçüde AÇS'den kaynaklandığı, diğer sanayi tesislerinin toz emisyon değerlerinin ihmal edilebilecek ölçüde az olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle yer seviyesinde ölçülen toz konsantrasyonlarının büyük bir kısmının AÇS'den kaynaklandığı kabulü yapılmıştır.

AÇS'nin en yakınındaki yerleşim merkezi, 3-4 km uzağındaki İncirlik Beldesidir. İncirlik, konumu itibarıyla AÇS'den etkilenebilecek riskli bölge içerisinde yer almaktadır. Bu yüzden modelleme çalışmaları dahilinde İncirlik'de oluşan PM₁₀ yer seviyesi konsantrasyonları hesaplanmıştır. Model sonuçlarına göre Şekil 4'de görüldüğü gibi PM₁₀ konsantrasyonları beldenin doğu kısmında yüksek değerlerdedir. Hesaplanan maksimum PM₁₀ YSK değeri beldenin kuzeydoğusunda 55,46 µg/m³ seviyesindedir. Bu değer HKKY'de sınır değer olan 150 µg/m³'ün altındadır. AÇS'nin İncirlik Beldesi'ndeki hava kirliliğine katkısı model sonuçları ve yönetmelikteki sınır değerlere göz önüne alındığında insan sağlığına zarar verecek boyutlarda değildir.

Atmosferdeki seyrelme miktarı büyük ölçüde baca gazlarının çıkabildiği yüksekliğe bağlıdır. Bu nedenle büyük tesislerde istenilen seviyelerde seyrelmeye yardımcı olacak minimum baca yüksekliği HKKY tarafından verilen nomogramlar yardımıyla hesaplanır. AÇS'deki bacaların yükseklikleri artırılarak hesaplanan model sonuçları, baca yüksekliklerindeki artışın atmosferdeki seyrelme üzerinde olumlu yönde etkisinin olduğunu göstermektedir. Fiili baca yüksekliğinde maksimum PM₁₀ yer seviyesi konsantrasyonu 139,84 µg/m³ iken, 10'ar metre artırılmış baca yükseklikleri ile hesaplanan maksimum değer 110 µg/m³'e, 20'şer metre artırılmış baca yükseklikleri ile hesaplanan maksimum değer 54 µg/m³'dür. 30 ve 40'ar metre artırılmış baca yükseklikleri ile hesaplanan model sonuçlarının büyük oranda değişim göstermediği görülmektedir. Bunun sebebi rüzgar hızı profilinde görüldüğü gibi rüzgar hızının yüksekliğin artması ile birlikte logaritmik (azalan) bir artış göstermesidir.

5. KAYNAKLAR

1. Tiinay,O., Alp,K., "Hava Kirlenmesi Kontrolü", Ç.M.O. İstanbul Şubesi, İstanbul, 1996.
2. Güllü,G., "ÇED Çalışmalarında Hava Kalitesi Modellemesi", Ç.M.O. Ankara Şubesi Eğitim Seminerleri, ODTÜ KOSGEB Merkezi, Ankara, 2001.
3. Kiely,G., "Environmental Engineering", McGraw-Hill, England, 1997.
4. Kumar,A., Bellam,N.K., Sud,A., "Performance of an Industrial Source Complex Model: Predicting Long Term Concentrations in an Urban Area", Environmental Progress 18: 93-100, 1999.
5. Masters,G.M., "Introduction to Environmental Engineering and Science", Prentice Hall, 451s., USA, 1991.

6. Peavy, H.S. ve Ark., "Environmental Engineering", McGraw-Hill, 696s., Singapore, 1985.
7. Müezzinoğlu, A., "Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları", Dokuz Eylül Yayınları, 327s., İzmir, 2000.
8. Kalafatoğlu, E. ve Ark., "Trace Elements Emissions from Some Cement Plants in Turkey", *Water, Air and Soil Pollution* 129:91-100, 2001.
9. Adana Çimento Fabrikası Emisyon Raporu. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Kalite ve Çevre Kontrol Müdürlüğü, Ankara, 2001.
10. Adana İli Meteorolojik Verileri, Adana Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, Adana, 2000.
11. Users Guide For The Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models Volume I- Volume II. User Instructions, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards Emissions, Monitoring and Analysis Division Research Triangle Park, North Carolina, USA, EPA 1995.
12. Baumbach, G., "Air Quality Control", Springer, 490s., German, 1996.
13. Goyal, P. ve Ark., "Air Quality Assessment of The Environment Over A Cement Industrial Complex", *Atmospheric Environment* Vol 30 :1159-1166, 1995.
14. Adana Çimento Sanayii T.A.Ş. Hava Kalitesi Raporu, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Kalite ve Çevre Kontrol Müdürlüğü, Ankara, 2001.
15. Halefoğlu, Y.Z., "Adana İli'nde Primer Kirlenmelerin Düzeyinin Saptanması ve Coğrafik Bilgi Sistemi ile SO₂ Dağılımının İncelenmesi", Yüksek lisans tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1997.

BAZİK MAVİ 41 BOYAR MADDESİNİN CANLI AKTİF ÇAMUR BİYOKÜTLESİ TARAFINDAN ADSORPSİYONUNUN YALANCI İZOTERMLERE UYGULANMASI

Mesut BAŞIBÜYÜK, M. Ekrem ÇAKMAK, Olcayto KESKİNKAN ve
Hamza A. ARSLAN

Ç.Ü., Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Bu çalışmada Bazik Mavi 41 (BB41) boyar maddesinin canlı aktif çamur biyokütlesi tarafından adsorplanabilirlik deneyleri yapılmış, bu deneylerden elde edilen dataların yalancı ikinci dereceden hız denklemine uygunluğu ve bu denklemden elde edilen sonuçlara göre yalancı izotermeler incelenmiştir. Bu işlemlerin uygunluğu doğrusallaştırılmış kinetik modellerin regresyon katsayılarına göre incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bu adsorpsiyon sistemini en iyi açıklayan izotermin, yalancı Freundlich izotermi ($R^2=0.9437$) olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Biosorpsiyon, kinetik

APPLICATION OF PSEUDO ISOTHERMS ON THE ADSORPTION OF BASIC BLUE 41 ONTO LIVE ACTIVATED SLUDGE

ABSTRACT : In this study, adsorption experiments were performed using live activated sludge and a basic dye (Basic Blue 41). Data obtained from these experiments applied to the pseudo second-order kinetic rate expression. Regression analyses were performed in order to examine the applicability to the data to pseudo-second order kinetic expression. Results obtained from pseudo second order model, the applicability of pseudo isotherms on the adsorption of Basic Blue 41 (BB41) onto live activated sludge were also examined. The results showed that pseudo-Freundlich isotherm ($R^2=0.9437$) described the adsorption system better than the other isotherms.

Keywords: Biosorption, kinetics

* Bu çalışma Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından MMF2002BAP54 nolu proje ile desteklenmiştir.

1. GİRİŞ

Boyar maddeler çok değişik alanlarda kullanılmakla birlikte en önemli kullanım alanlarından birisi tekstil endüstrisidir. Boyar maddeler miktar olarak bu sektörde kullanılan diğer kimyasallara oranla çok daha az kullanılmakla birlikte çok az bir miktarı bile tekstil endüstrisi atık sularının daima renkli olmasına neden olmaktadır. Boyar maddeler yapı olarak her türlü çevre şartlarına karşı da dayanıklı olarak dizayn edilmektedir. Öte yandan gerek ülkemizde ve gerekse diğer ülkelerde bu sektörden kaynaklanan atık suların arıtımında yaygın olarak aktif çamur kullanılmaktadır. Bir maddenin biyolojik arıtımında arıtılmasının temel aşamalarında biriside söz konusu maddenin canlı hücre tarafından adsorplanabilirliğidir. Hücre tarafından adsorplanabilenler hücre içine transfer olarak, hücre içinde gerçekleşecek olan metabolik ve/veya ko-metabolik faaliyetlerde yer alabilirler. Bu nedenle boyar maddelerin canlı aktif çamur biyokütlesi tarafından adsorplanabilirliğinin ve buradan hareketle çeşitli kinetik parametrelerin incelenmesi boyar maddelerin arıtma süreci açısından önem taşımaktadır.

Adsorpsiyon, tekstil atık sularının arıtımında, özellikle boyar madde gideriminde, hem etkin hem de maliyetinin düşük olması nedeniyle günümüzde önemi gittikçe artan bir yöntemdir. Adsorpsiyonda kullanılacak olan adsorbanın, uzaklaştırılması düşünülen adsorbata seçicilik göstermesi verim açısından, adsorbanın kolay elde edilmesi ise maliyet açısından önemlidir. Adsorpsiyon çalışmalarının en önemli basamaklarından biri olan kinetik çalışmalar sayesinde uzaklaştırılması planlanan adsorbatın adsorban ile temas süresi (alıkoyma süresi) bulunabilmektedir. Uygun adsorpsiyon sistemlerinin geliştirilmesinde bu sürenin bulunması çok önemlidir (1, 2).

Adsorpsiyon sistemlerinin reaksiyon derecelerini belirlemede kullanılan bir çok kinetik model vardır. Genel olarak kullanılan kinetik model, Lagergren tarafından geliştirilen birinci dereceden reaksiyon denklemdir (Eşitlik 1) (1-3):

$$\log \frac{(q_e - q_t)}{q_e} = - \frac{k_{1,ad} t}{2.303} \quad (1)$$

$k_{1,ad}$: Lagergren adsorpsiyon hız sabiti (dakika⁻¹)

q_e : Denge meydana geldiği zaman adsorbe edilen madde miktarı (mg/g)

q_t : Herhangi bir zamandaki adsorbe edilmiş olan madde miktarı (mg/g)

t : Zaman (dakika)

Son yıllarda, yalancı ikinci dereceden hız denklemini en uygun modellerden biri olarak değerlendirilmektedir. Yakın zamanlı bir çok çalışmada boyar maddelerin adsorpsiyon ile giderimlerinde yalancı ikinci dereceden hız denkleminin daha uygun olduğu bildirilmektedir (1-5). Ho tarafından 1995 (1) yılında geliştirilen yalancı ikinci dereceden hız denklemini ile hızın, adsorbat konsantrasyonundan bağımsız olarak, katı fazdaki adsorpsiyon kapasitesine ve zamana bağlı olduğu gösterilmiştir (Eşitlik 2):

$$\frac{t}{q_t} = \left[\frac{1}{k_{2,ad} q_{eq}^2} \right] + \frac{1}{q_{eq}} t \quad (2)$$

$k_{2,ad}$: Yalancı ikinci dereceden adsorpsiyon hız sabiti (g/mg.dakika)
 q_{eq} : Denge zamanında adsorbe edilen madde miktarı (mg/g)

Adsorban kapasitesi, adsorban yüzeyini ve adsorbata olan yatkınlığını (afinite) açıklayan ve denge çalışmaları ile bulunan izoterm katsayılarının yardımı ile ortaya konmaktadır. Bir çok durumda denge kapasitesi bilinmemektedir, diğer taraftan bazı adsorpsiyon sistemlerinde dengeye ulaşmak uzun süreler almaktadır. Örneğin, Asit Kırmızısı gibi asidik boyar maddelerin aktif karbon tarafından adsorplanması işleminde dengeye ulaşma zamanı 21 gün almaktadır (6). Ama, yalancı ikinci dereceden hız denklemi sayesinde etkili adsorpsiyon kapasitesi ve başlangıç sorpsiyon hızı rahatlıkla hesaplanabilmektedir. Yalancı ikinci dereceden hız denkleminde elde edilen katsayılar yardımı ile ortaya konulan yalancı izoterm ile adsorpsiyon kapasitesi hesaplanabilmektedir (1, 2).

Bu çalışmada, adsorbat olarak bazik karakterli bir boyar madde olan Bazik Mavi 41 (BB41), adsorban olarak da canlı aktif çamur biyokütlesi kullanılarak gerçekleştirilen adsorpsiyon işleminin kinetiği incelenmiştir. Yalancı ikinci dereceden hız denklemi ile hesaplanan katsayılar yardımıyla bu sistemin yalancı izotermi elde edilmiş ve gerçek izoterm ile karşılaştırılması verilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Aktif çamur biyokütlesi Adana ili içerisindeki bir meşrubat işletmesinin uzun havalandırma aktif çamur arıtma tesisinden temin edilmiştir.

Boyar madde çözeltileri saf su kullanılarak hazırlanan standart boyar madde çözeltisinin (1600 mg/l) seyreltilmesiyle hazırlanmıştır. Aktif çamur ise yine saf su kullanılarak seyreltilerek istenilen askıda katı madde konsantrasyonuna sahip olacak şekilde getirilmiştir. Toplam askıda katı madde ölçümleri standart gravimetrik yöntem ile yapılmıştır (7). Boyar madde ölçümleri spektrofotometrik (Bausch and Lomb, Spectronic 21 model spektrofotometre) olarak daha önceden belirlenmiş olan maksimum absorbans veren dalga boyu olan 609 nm'de yapılmıştır.

Yapılan adsorpsiyon testleri 1 litrelik beher içerisine karıştırılarak konulan 250'şer mililitrelik çamur ve boyar madde çözeltilerinin orbital çalkalayıcı ile sürekli karışım (25 rpm) sağlanması ile yapılmıştır. Karışımın hacmi 500 ml olup, bu karışımdaki aerobik çamur askıda katı madde konsantrasyonu 1250 mg/l olacak şekilde ayarlanmıştır. Testler 20°C'de sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir.

Langmuir ve Freundlich İzoterm sabitlerinin elde edilmesi amacıyla çeşitli başlangıç boyar madde konsantrasyonları (25, 50, 100, 200 ve 400 mg/l) uygulanmıştır. Temas süresi 160 dakikadır. İşlem sonrası kalan boyar madde miktarı, karışımın santrifüjlenerek (6000 rpm, 20 dakika) duru fazın spektrofotometrik olarak ölçülmesi ile bulunmuştur.

3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Yalancı ikinci dereceden hız katsayısı, $1/q_t$ nin t ye karşı grafiğe dökülmesi ile elde edilen grafiğin denklemi yardımı ile hesaplanmaktadır. Ortaya çıkan grafiğin doğrusallığı denklemin uygunluğuna işaret etmektedir (regresyon) (8). Şekil 1'de yalancı ikinci dereceden hız denkleminin BB41 boyar maddesinin aktif çamur

tarafından adsorplanması işlemine uygulanması ile elde edilen grafikler görülmektedir. Çizelge 1'de değişik başlangıç boyar madde konsantrasyonları (C_0) için yalancı ikinci dereceden hız katsayıları, $k_{2,ad}$, denge adsorpsiyon kapasitesi, q_{eq} ve regresyon katsayıları verilmiştir. Bu çalışmada incelenen adsorpsiyon işleminin yalancı ikinci dereceden hız denkleminde çok iyi uyduğu ve denge adsorpsiyon kapasitesi, q_{eq} , başlangıç boyar madde konsantrasyonu, C_0 , yükseldikçe yükseldiği sonuçlardan görülmektedir. Bu durum bir çok araştırmacı tarafından da rapor edilmektedir (1, 9).

Yalancı ikinci dereceden hız denklemi ile elde edilen q_{eq} değerlerinin Eşitlik 3'te yerine konulması ile herhangi bir zamandaki sıvı fazdaki boyar madde denge konsantrasyonları (C_{cp}) hesaplanır (Çizelge 1) (1, 2, 10).

$$C_{cp} = C_0 - \frac{q_{eq} m_s}{V} \quad (3)$$

C_{cp} : Sıvı fazdaki boyar madde denge konsantrasyonu (mg/l)

C_0 : Başlangıç boyar madde konsantrasyonu (mg/l)

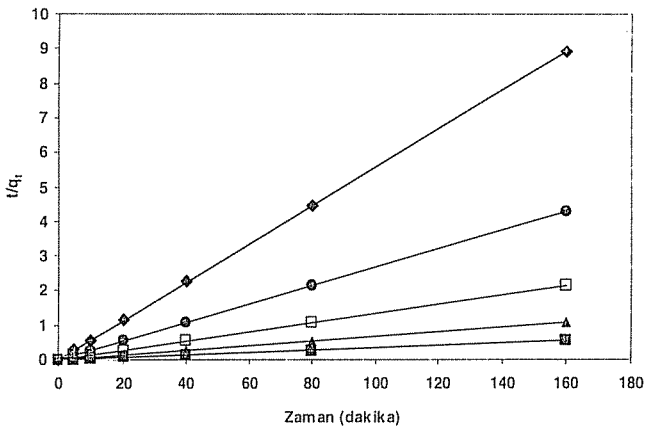
q_{eq} : Denge zamanında adsorbe edilen madde miktarı (mg/g)

m_s : Adsorban miktarı (g)

V : Deney hacmi (l)

Çizelge 1. Kinetik parametreler

C_0 (mg/l)	C_{cp} (mg/l)	q_{eq} (mg/g)	$k_{2,ad}$ (g/mg.dakika)	R^2
25	2,52	17,98	0,1797	1,0000
50	3,53	37,17	0,0965	1,0000
100	6,02	75,18	0,0421	1,0000
200	10,61	151,51	0,0085	0,9999
400	32,35	294,12	0,0030	0,9999



Şekil 1. Yalancı ikinci dereceden hız grafikleri

(◆) 25 mg/l, (●) 50 mg/l, (□) 100 mg/l, (▲) 200 mg/l, (■) 400 mg/l

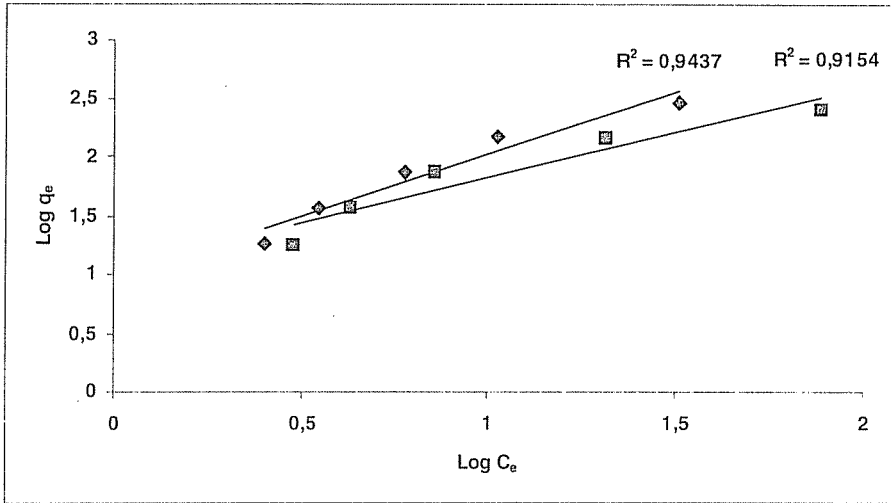
İzoterm ve lineerize edilmiş halleri Çizelge 2’de verilmiştir. Bu çalışmadaki adsorpsiyon sisteminin yalancı izotermere uygunluğu ve gerçek izotermle karşılaştırılmaları Çizelge 3’de verilmiştir. BB41 boyar maddesinin canlı aktif çamur biyokütlesi tarafından adsorplanmasında yalancı Freundlich izoterminin gerçek Freundlich izoterminden daha iyi uyduğu (Şekil 2), gerçek Langmuir izoterminin ise, yalancı Langmuir izotermine oranla daha iyi uyduğu (Şekil 3), dört izoterm arasında bir karşılaştırma yapıldığında ise, yalancı Freundlich izoterminin en iyi uyumu gösterdiği bulunmuştur. Ho ve Wang (1), kadmiyum iyonun eğrelti otu tarafından adsorpsiyonunun en uygun olarak yalancı Langmuir izotermi ile açıklandığını bildirmişlerdir.

Çizelge 2. İzoterm ve lineer halleri

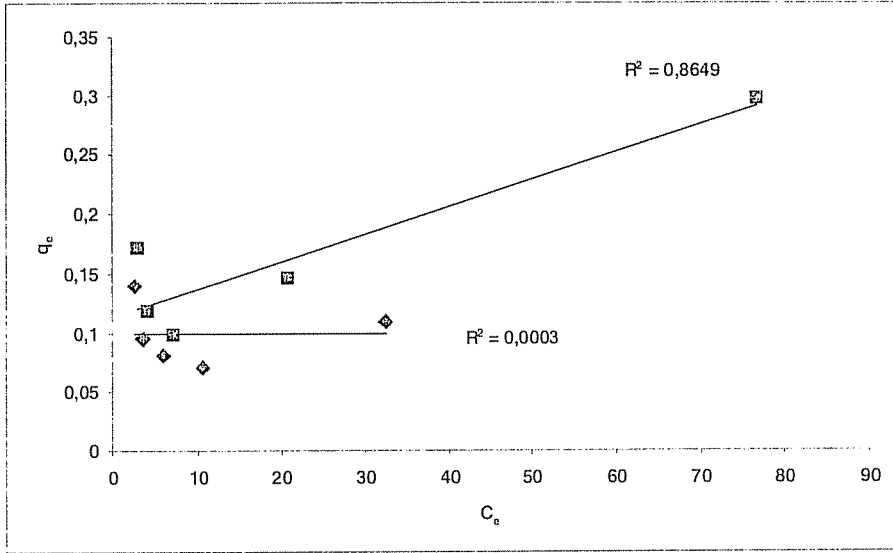
	İzoterm	Lineer Hali
Langmuir	$q_e=(K_L C_e)/(1+a_L C_e)$	$C_e/q_e=(1/K_L)+(a_L C_e/K_L)$
Freundlich	$q_e=K_F C_e^{1/n}$	$\text{Log}q_e=\text{Log}K_F+(1/n)\text{Log}C_e$

Çizelge 3. Yalancı ve gerçek izoterm

İzoterm	R^2
Langmuir	0.8649
Yalancı Langmuir	0.0003
Freundlich	0.9154
Yalancı Freundlich	0.9437



Şekil 2. (♦)Yalancı ve (■) gerçek Freundlich izotermi



Şekil 3. (♦)Yalancı ve (■) gerçek Langmuir izotermi

4. SONUÇ

Bu çalışmada bazik karakterde olan Bazik Mavi 41 boyar maddesinin canlı aktif çamur biyokütlesi tarafından adsorpsiyonunun, yalancı ikinci dereceden kinetik modele ve yalancı izotermine uygunluğu araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, bu adsorpsiyon sisteminin kinetiğinin yalancı ikinci dereceden kinetik modeline çok iyi uyduğu ($1 \geq R^2 \geq 0.99$) görülmüştür. Yalancı ikinci dereceden kinetik modelinden elde edilen sabitler yardımı ile adsorpsiyon sisteminin yalancı izotermine uygunluğu incelendiğinde ise en uygun izoterm yalancı Freundlich izotermi olduğu bulunmuştur ($R^2=0.9437$).

Bu bulgulara göre, gerçek izotermi yardımıyla adsorpsiyon kapasitesini elde etmek için gereken uzun süreli çalışmaların yerine, kinetiği yalancı ikinci dereceden kinetik modeline uyan adsorpsiyon sistemlerinde, yalancı izotermi yardımı ile istenilen bir zamandaki adsorpsiyon kapasitesinin bulunabileceği görülmüştür. Ama her türlü adsorpsiyon sistemi için böyle bir durumdan bahsetmek olası değildir. Bunun için bir çok adsorpsiyon sistemi incelenmelidir.

5. KAYNAKLAR

1. Ho, Y.S., Wang, C.C., "Pseudo-Isotherms For The Sorption of Cadmium Ion Onto Tree Fern", *Process Biochem.*, 39:759-763, 2004.
2. Wong, Y.C., Szeto, Y.S., Cheung, W.H., McKay, G., "Adsorption of Acid Dyes on Chitosan-Equilibrium Isotherm Analyses, *Process Biochem.*, 39(6):695-704, 2004.
3. Başibuyuk, M. and Forster, C.F., "An Examination of Adsorption Characteristics of a Basic Dye (Maxilon Red BL-N) on to Live Activated Sludge System". *Process Biochem.*, 38:1311-1316, 2003.

4. Keskinan, O., Göksu, M.Z.L., Yüceer, A., Basıbüyük, M., Forster, C.F., "Heavy Metal Adsorption Characteristics of a Submerged Aquatic Plant (*Myriophyllum spicatum*)". *Process Biochem.*, 39(2):179-183, 2003.
5. Keskinan, O., Göksu, M.Z.L., Basıbüyük, M., Forster, C.F., *Heavy Metal Adsorption Properties of a Submerged Aquatic Plant (*Ceratophyllum demersum*)*. *Bioresource Technology*, 92(2):197-200, 2004.
6. Choy, K.K.H., McKay, G., Porter, J.F., "Sorption of Acid Dyes From Effluents Using Activated Carbon, *Resour. Conserv. Recycl.*, 27:57-71, 1999.
7. A.P.H.A.-A.W.W.A-W.P.C.F, "Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater", 19. Baskı., Washington, DC., 1995.
8. Ho, Y.S., McKay, G., "Pseudo-Second Order Model for Sorption Processes", *Process Biochem.*, 34:451-465, 1999.
9. Waranusantigul, P., Pokethitayook, P., Kruatrachue, M., Upatham, E.S., "Kinetics of basic dye (methylene blue) biosorption by giant duckweed (*Spirodela polyrrhiza*)". *Environmental Pollution*, 125/3, 385-392, 2003.
10. Metcalf and Eddy, "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse". George Tchobanoglous, Franklin L. Burton (Editor), H. David Stensel, New York, McGraw-Hill Pub., 1819s., 2003.

MONTAJ HATTI DENGELEME ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Funda KAHRAMAN ve Adem İSPİR

Ç.Ü., Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Montaj hattı dengeleme algoritmalarının karşılaştırılması konusu araştırılırken, geçmişte yapılan bazı çalışmalara ve günümüzde kullanılan yöntemlere değinilerek, duş kabinleri üreten bir fabrikada bu konu ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Buradaki amaç optimum seviyede seri üretimi sağlamak için etkin bir yerleşim planı ile dengelenmiş bir montaj hattının kurulmasıdır. Bunlar için en önemli faktörler, iş elemanları arasındaki öncelik ilişkileri ve çevrim süresidir.

Yapılan araştırmalarda montaj hattındaki iş elemanlarının tarif ve tanımları Metot Etiidü teknikleri kullanılarak yapılmıştır. Aynı zamanda İş Ölçümü teknikleri kullanılarak montaj hattındaki her bir iş elemanınun gerekli standart zamanları ölçülmüştür. Fabrikada üretilen çeşitli modeller için montaj hattının ön şemaları çizilip, çeşitli çevrim sürelerindeki denge kayıpları bulunarak hattın verimliliği ölçülmüştür.

Gelecekte en önemli faktörün zaman ve insan olabileceğinden dolayı geliştirilen stratejilerin bu doğrultuda olması gerekmektedir. Ayrıca yapılan çalışmaların teoriden ziyade fiili olarak uygulanabilirliği düşünülerek yapılması, uygulanabilirlik açısından önem arz etmektedir.

COMPARISON OF THE ASSEMBLY LINE BALANCING ALGORITHMS

ABSTRACT : We realized that some works which we done in past and methods which we used nowadays, while the subject of comparison of the assembly line balancing algorithms were searching. The researches are made about this subject in factory which produces shower cabins. To settle a balanced assembly line with an active settlement plan for supplying the series production in optimum level is the aim of this subject for these the precedence relations and cycle time between the work element are the most important factors.

The description and definition of work element on the assembly line are made by using the method study technics. Each work element in assembly line is measured by using the work measure technics. The front schemes of assmby line has been drawn for each model which were produced in factory. The productivity of assembly line has been measured by finding the losses of balance in each cycle time.

In the future time and person could be come the most important factors. Because of this research improving strategies should be in this direction. The works about this subject should be done in real practice.

1. GİRİŞ

Malzemelerin akış hattı boyunca iş gücü veya donanımdan faydalanılarak transfer edildiği ve parça üzerindeki işlemlerin, aralarındaki öncelik ilişkileri ve çevrim süresi gibi kısıtlar göz önüne alınarak birleştirilmesiyle oluşturdukları istasyonların, yine bir hat boyunca sıralanmalarıyla oluşan sisteme, Montaj Hattı adı verilir. Kurulan montaj hattının verimli olarak çalışabilmesi için, üretim süresi içinde her bir montajcıya, montaj hattında çok az bir süre bırakılacak veya hiç boş süre bırakılmayacak şekilde işlerin istasyonlara dağıtılması, yani varolan kısıtlar altında, işlem sayısının çok ve üretim hızının yüksek olması nedeniyle iş istasyonları arasındaki işlem süresi farkları toplamının en küçük olmasıdır. Montaj hattı dengelemede temel kısıtlar; Çevrim süresi ve iş öğelerinin öncelik ilişkisidir. Yan kısıtlar ise Konum kısıtı, Sabit Donanım kısıtı, İstasyon Yüklü, Aynı istasyona atanması istenen işler ve Aynı istasyona atanması istenmeyen işler. Mamulün oluşumu sırasında yapılması gereken işlerin, montaj istasyonlarına, kayıp süreleri minimum yapacak şekilde atanması olayına, Montaj Hattı Dengeleme denir.

Bir montaj hattındaki yerleştirme planının temel problemi iş istasyonlarının sayısını bulmak ve her iş istasyonundaki faaliyetleri istenen üretim seviyesine ulaşmasını sağlamaktır. Bütün bunların yapılabilmesi için baş vurulacak yol girdilerin minimize edilmesine bağlıdır.

Bir montaj hattının kurulmasında ulaşılmaya istenen amaçlar şunlardır: Düzenli bir malzeme akışının sağlanması, insan gücü kullanımının maximum seviyeye çıkartılması, iş elemanları için minimum sürenin tespit edilmesi, makine kapasitelerinin optimum seviyede kullanılması, boş sürelerin veya dengeleme kayıplarının minimum yapılması, iş istasyonu sayısının minimum yapılması ve hat dengeleme maliyetinin minimum yapılması.

İş gücü yükünün dengelenmesinde başvurulabilecek çareler şunlardır: İki veya daha fazla tezgahta bir işçi çalıştırılabilir (otomatik işlem süresi uzun olan iki veya daha fazla tezgah için), iki kısa işlem süresi diğerleri kadar veya daha az ise bunlar bir işçiye verilebilir, işçinin yükü artırılabilir. İşçiler çalışma hızlarına göre dizilebilir. Günümüz teknolojisinde zamanın optimum olarak kullanılması çok önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Burada, ilk olarak kurulu bir montaj hattının verimliliğini ve bu hattın oluşturulduğu yerleşim planı incelenip, mevcut durum hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci olarak, kurulmuş olup hala üretim yapılan montaj hattının, daha etkin bir yerleşim planının ortaya koyulması ve çeşitli çevrim sürelerinde hattın denge kayıplarının ölçümleri yapılmıştır.

Metot Etüdü ve İş Ölçüm Tekniklerinden faydalanılarak, iş elemanlarının tanımlaması yapıp, bu iş elemanlarının ne kadar bir sürede gerçekleştirildiklerinin ölçümler yapılarak tespit edilmiştir.

Son olarak, yapılan çalışmalarla etkin bir montaj hattı kurularak, maliyeti düşürücü, iş gücünü azaltıcı ve bunların neticesi olarak da işletmenin verimliliğini artırıcı optimum modelin oluşturulması yönünde çalışmaların yapılması amaçlanmıştır. Yapılan araştırmalarda; optimal bir montaj hattının kurulması, maliyetin düşürülmesi, iş gücü kullanımının azaltılması, zamanın optimum kullanılması amaçlanmaktadır. Montaj hattı dengeleme modellerinin kurulmasında şu kısıtlar çok önem arz etmektedir.

Çevrim Süresi: Montaj hattında, ürünün bir istasyonda kalabileceği en büyük süredir. T ; toplam süre, N ; ürün sayısı, C ; çevrim süresi; $C = T / N$.

Gerekli En Az İş İstasyonu Sayısı : $n_{\text{enaz}} = \sum t_i / C$

Denge Kaybı: İşlerin, işlemciler veya istasyonlara dengesiz dağıtımını gösteren bir ölçektir: $D = (n.C - \sum t_i) / n.C$ Bu değerın sıfır olması ideal durumdur (1).

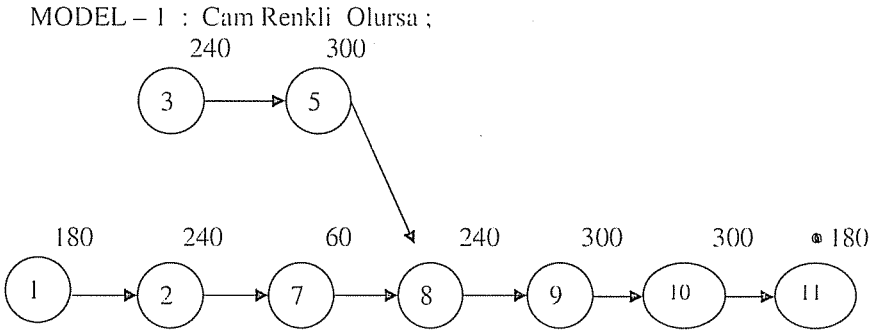
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Bu araştırmanın temel materyalini duş kabinleri üreten bir firmanın, üretim hatları incelenerek ortaya konmuş olan veriler ile üretimin daha etkin hale gelmesi için yapılmış olan çalışmalar oluşturmaktadır. Ayrıca literatür taraması sonucunda ortaya konmuş olan metotların etkinliklerinin ölçülmesi amacıyla örnek firma verileri kullanılarak algoritmaların karşılaştırılması yapılmıştır.

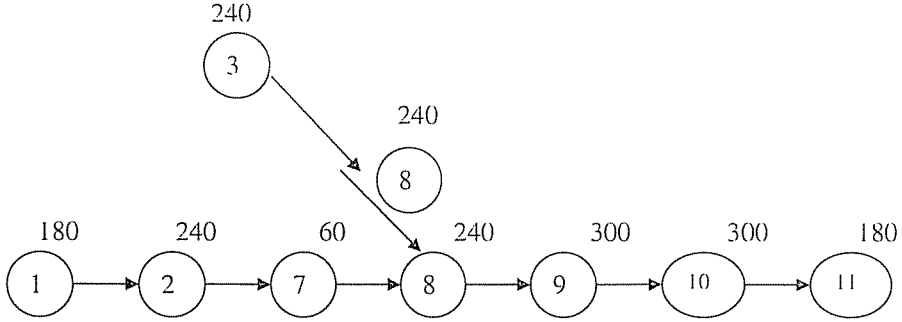
Bu firmanın üretmiş olduğu duş ve küvet kabinlerinin imalatının yapıldığı atölyede kurulması düşünülen ideal montaj hattı incelenmiştir. İlk önce metot etüdü yapılarak bütün işler elemanter iş elemanlarına ayrılıp sonra da iş ölçümü yapılmıştır. Değişik üretim hızına bağlı olarak Çevrim süresi (C) hesaplanmıştır.

Montaj hattının dengelenmesinden önce, üretim hattının yerleşim planının çıkartılması gerekmektedir. Bunun için de işlerin birbiriyle olan ilişkilerine dayanarak bir yerleşim planı geliştirilmiştir. Bu üretim hattında 4 tip ana ürün için montaj hatları oluşturulmaktadır. Bu modellerin öncelik şemaları Şekil 1.1 ve Şekil 1.2 de verilmiştir. Bu montaj hattında bulunan iş elemanlarının tanımları ile işlem süreleri, Tablo 1.1.'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Model – 1 için öncelik şeması

MODEL – 2 : Cam Renksiz olursa;



Şekil 1.2. Model – 2 için öncelik şeması

Tablo 1.1. İş ölçüm sonuç tablosu ve iş elemanları (iş öğeleri)

İŞİN TANIMI	SEMB	AÇIKLAMALAR	İŞ SÜR.(t) (saniye)
Profil kesme	1	Siparişin ölçülerine göre profilleri kesilir.	180
Hazırlama	2	Kesilen profillere vida açma, presleme işlemleri yapılır ve vidalar takılır.	240
Cam Kesme	3	Siparişin ölçüsüne göre camlar kesilir.	240
Cam Bükme	4	Bazı modeller için kazanda camlar bükülür	600
Cam Boyama	5	Bazı modeller için istenen renklerde camları boyama işlemi yapılır.	300
Profil Bükme	6	Burada bazı modeller için profiller kesilir ve modele göre bükme işlemi yapılır.	2700
Silikon Çekme	7	Hazırlanan profillere bu bölümde silikon çekilir ve montaja verilir.	60
Montaj	8	Burada silikon çekilen profillere camlar takılarak vidaları sıkılır.	240
Tem.-Kontrol	9	Montajdan gelen parçalar temizlenip rulmanlar, mıknatis ve plastik aksamlar takılır. Ayrıca paneller birbirine bağlanır.	300
Ambalajlama	10	Ambalaj kutusu hazırlanıp içerisine kabinin panelleri ve montaj için gerekli vida ve plastik aksamlar yerleştirilip kutu kapatılır	300
Depo – sevk	11	Ambalajlanmış ürünlerin depolanması ve sevki sağlanır.	180

2.2. Metot

Montaj hatlarının dengelenmesinde kullanılan 3 yöntem vardır. Bunlar; Sezgisel, Analitik ve Simülasyon yöntemleridir.

Yapılan çalışmada, örnek firma üzerinde iki tip metot kullanılmıştır:

1- Sezgisel metotlar

2- Bilgisayar Programlama metodu.

Sezgisel metotlar olarak; Fable metodu ile Pozisyon Ağırlığı metodu kullanılmıştır.

Bunların örnek firma üzerinde karşılaştırılması değişik çevrim sürelerinde yapılmıştır.

Pozisyon Ağırlığı metodunun algoritması aşağıda verilmiştir:

Başla:

$$k = 1 ; C_k = C ; j = 1$$

Tekrar:

Eğer:

1- $j \notin A$ ve (j işi atanmamış ise)

2- Bütün $i \in P_j$ ve $i \in A$ için ; ve (Şayet bütün önce gelen işler atanmış ise)

3- $t_j \leq C_k$ ise (Eğer j işi k istasyonu için uygun bir iş ise)

$$W_j = k ; A = A + \{j\} ; C_k = C_k - t_j \text{ (j işini k istasyonuna ata.)}$$

Değilse :

$$j = j + 1 \text{ (bir sonraki işe geç)}$$

Son ise :

Eğer $j > N$ ise

$$k = k + 1 ; C_k = C ; j = 1 \text{ (atanması mümkün bir iş yoksa, yeni istasyon aç.)}$$

Son ise :

Başla giderek bütün bunları tekrar et, (2).

Fable metodunun algoritması aşağıdaki gibidir: (3)

1- Birinci çözümü oluştur. Gerekli en iyi çözüm için iş istasyonu sayısı K olsun.

2- Veri girme, artan t_i değerinin kontrolü, her iş için üst iş istasyonu sınırını hesapla, mümkün olan üstün iş çiftleri için kontrol et.

3- Ağaçlanmada birinci – derinliği her zaman en düşük sayıyı ekleyip sırala, atanmamış müsait iş ve;

a) İstasyon tamamlandığında, metotları kavramayı kontrol et eğer sınır geçilmiş ise geri dönüş yerine yeni bir istasyon aç.

b) İş üst sınırları eşit ise her zaman daha iyi bir çözüm kurulabilir, ve;

c) Eğer çözüm tamamlanıp hat sınırı denk ise, $DUR (K^o)$ (4).

Bilgisayar programlama metodunda ise Yöntem – 1 ve Yöntem –2 olmak üzere iki değişik metoda yer verilmiştir. Bu yöntemler, Mansoor ve Helgeson – Birnie yöntemlerinden faydalanılarak ortaya konmuştur (5).

Yöntem – 1 :

Bu metotta temel amaç verilen iş istasyonu sayısına bağlı olarak çevrim süresini küçültmek veya verilen en küçük çevrim süresi için en az istasyon sayısını bulmaktır.

Maximum istasyon sayısı: $n_{\max} = T / t_{\max}$, Çevrim süresi: $C = T / n$.
Hat Etkinliği: $E = (T / n.C) .100$ formülleriyle hesaplanmaktadır (6).

Yöntem – 2 :

Bu metotta; iş elemanlarının pozisyon ağırlıkları hesaplanır ve pozisyon ağırlıklarına göre atamalar yapılır (5).

Program, FORTRAN dilinde yazılmıştır. Alt programlarca ortak kullanılan bilgiler COMMON deyimi ile taşınmaktadır. Giriş bilgileri, yöntemlere ait alt programlar içinde okutulmaktadır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Model – 1 için Bulgusal Yöntem Sonuçları

Çevrim süresi, $C=540$ sn. için çözüm durumu:

Tablo 1.2. Model – 1 için çözüm tablosu

İstasyon	İş Ögesi	İş Süresi (sn.)	Birikimli süre	Boş süre
1	1	180	180	360
	2	240	420	120
	5	60	480	60
2	3	240	240	300
	4	300	540	0
3	6	240	240	300
	7	300	540	0
4	8	300	300	240
	9	180	480	60

Bu modelin çözümünü için denge kaybı: $D = \% 5,55$ dir.

3.2. Model –2 için Bulgusal Yöntem Sonuçları

Tablo 1.3. Model – 2 de $C = 480$ sn için çözüm tablosu

İstasyon	İş Ögesi	İş Süresi (sn.)	Birikimli süre	Boş süre
1	1	180	180	300
	2	240	420	60
	4	60	480	0
2	3	240	240	240
	5	240	480	0
3	6	300	300	180
	7	300	300	180
4	8	180	480	0

Bu durumda denge kaybı: $D = \% 9,37$

3.3. Bilgisayar Programlama Sonuçları

Yöntem – 1 metoduyla, model – 2 probleminin çözüm sonucu; C=480 sn. çevrim süresiyle 4 tane iş istasyonu elde edilmekte ve Hat Etkinliği % 90,62 olmaktadır. Diğer çevrim sürelerinde optimum sonuca ulaşılamamaktadır.

Yöntem – 2 metoduyla, model – 1 probleminin çözüm sonucu; C = 480 sn. çevrim süresinde 4 tane iş istasyonu elde edilmekte ve denge kaybı % 6,25 yani Hattın Etkinliği % 93,75 olmaktadır.

3.4. Model – 2 için Fable Metodunun Sonuçları

Şekil 1.2.'de öncelik şeması verilen Model – 2 probleminin çözümü için ilk önce günlük üretim miktarına göre çevrim süresi tespit edilecektir. Günlük üretimin 100 adet olması durumunda, çevrim süresi (C) ; (4).

$$C = \frac{1 \text{ hafta}}{500 \text{ adet}} \cdot \frac{5 \text{ gün}}{\text{hafta}} \cdot \frac{1 \text{ vardiyeye}}{\text{gün}} \cdot \frac{510 \text{ dakika}}{\text{vardiyeye}} = 5,1 \frac{\text{dakika}}{\text{adet}}$$

C = 300, T = $\sum t_i$ = 1740 olur.

İş	süre(t_i)	Pozisyon Ağırlığı (PW _i)
1	180	1500
2	240	1320
3	60	1080
4	240	1260
5	240	1020
6	300	780
7	300	480
8	180	180

İstasyon sayısının alt sınırı; $K^{\circ} = \lceil 1740/300 \rceil = 6$

Her iş için istasyon sayısının üst sınırı; $U_1 = 1, U_2 = 1, U_4 = 1, U_3 = 2, U_5 = 2, U_6 = 3, U_7 = 4, U_8 = 5$ olur.

Burada karşımıza optimum olan 4 alternatif çözüm çıkmaktadır. Optimum çözümdeki istasyon sayısı 7 olmaktadır. İstasyondaki toplam boş süre 360 dır.

Dolayısıyla hattın etkinliği; % 82,86 dır.

Alternatif bir durum için şayet çevrim süresi; C = 480 olursa:

İstasyon sayısının alt sınırı; eşitlik; $K^{\circ} = \lceil 1740/480 \rceil = 4$

Her iş için istasyon sayısının üst sınırı; $U_1 = 0, U_2 = 1, U_3 = 1, U_4 = 1, U_5 = 1, U_6 = 2, U_7 = 3, U_8 = 3$ olur.

Optimum sonucu veren istasyon sayısı 4 ve işlerin istasyonlara art arda atanma sırası (1,2,3),(4,5),(6),(7,8) dir. İstasyonlardaki toplam boş süre; 180 dir.

Hattın etkinliği; % 90,625 dir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Montaj hatlarını dengelemenin temel amacı dengeleme kaybını minimum yapmak, iş istasyonları sayısını minimuma indirmek, dengeleme kaybını istasyonlar arasında dağıtmak ve her hangi bir kısıtlayıcının bozucu etkisini önlemek üzere iş elemanlarını, iş istasyonlarına tahsis etmektir.

Bulgusal Yöntem ile elde edilen sonuçları, model-1 ve model-2 için ayrı ayrı ortaya koyacak olursak, karşımıza rakamsal bazda şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

Model – 1 probleminin sonuçları: Çevrim süresi $C=600$ sn. için, 4 adet iş istasyonu, denge kaybı % 27,50 ; Çevrim süresi $C=540$ sn. için, 4 adet iş istasyonu, denge kaybı % 19,40 ; Çevrim süresi $C=480$ sn. için, 4 adet iş istasyonu, denge kaybı % 9,37 olmaktadır.

Model – 2 probleminin sonuçları: Çevrim süresi $C=600$ sn. için, 4 adet iş istasyonu, denge kaybı % 15 ; Çevrim süresi $C=540$ sn. için, 4 adet iş istasyonu, denge kaybı % 6,25 dir. Fable metoduyla model-2 nin çözüm sonucu ise ;Çevrim süresi $C=300$ deki çözümünde: 7 tane iş istasyonu ve % 82,86 lık hat etkinliği elde edilmektedir. Çevrim süresi $C = 480$ deki çözümünde ise, 4 adet iş istasyonu ve % 90,625 lik hat etkinliği elde edilmektedir.

Bilgisayar Programlama Yöntemi ile elde edilen sonuçlar, model-1 ve model-2 için rakamsal olarak elde edilen sonuçlar şu şekilde olmaktadır:

Model – 1 probleminin sonuçları:Çevrim süresi $C = 480$ sn. için, 4 adet iş istasyonu, denge kaybı % 6,25 dir.

Model – 2 probleminin sonuçları:Çevrim süresi $C=480$ sn. için, 4 adet iş istasyonu , Hat etkinliği % 90,62 dir.

Buradan ortaya çıkan sonuç; uygulanmış olan yöntemlerde yaklaşık olarak benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bununla beraber iş elemanlarının çok olduğu problem modellerinde bilgisayar programı yöntemini kullanmak daha kolay olabilir. İş elemanlarını az olduğu problem modellerinde Bulgusal yöntemler daha hızlı ve pratik sonuçlar vermektedir.

Moodie ve Young (7-8) tarafından geliştirilen bulgusal yöntem, eleman çeşitliliği ile ilgilenen ilk yöntemdir. Yakın zaman da Ramsing ve Downing tarafından yapılan çalışma da, eleman çeşitliliği üzerine yapılmıştır. Helgeson ve Birnie'nin yöntemi, "sıra pozisyonlu ağırlık tekniği" nin temeli üzerine kurulmuş olup, Moodie ve Young'ın geliştirmiş olduğu yöntem çok benzerdir (9-12).

Değerlendirilen yöntemlerde eleman çeşitliliğinin yanında gözardı edilmiş teknisyen eğitimi, maliyet, sabit donanımın getirdiği sınırlamalar gibi faktörler de vardır. Hattı dengeleyen modeller özellikle maliyet fiyatları üzerinde durmaları gerekmektedir. En iyi denge yani, hiç gecikmesi olmayan bir denge bazen hiç karlı olmayabilirde. Bu nedenle maliyet günümüz şartlarında minimum yapılması gereken çok önemli bir faktördür.

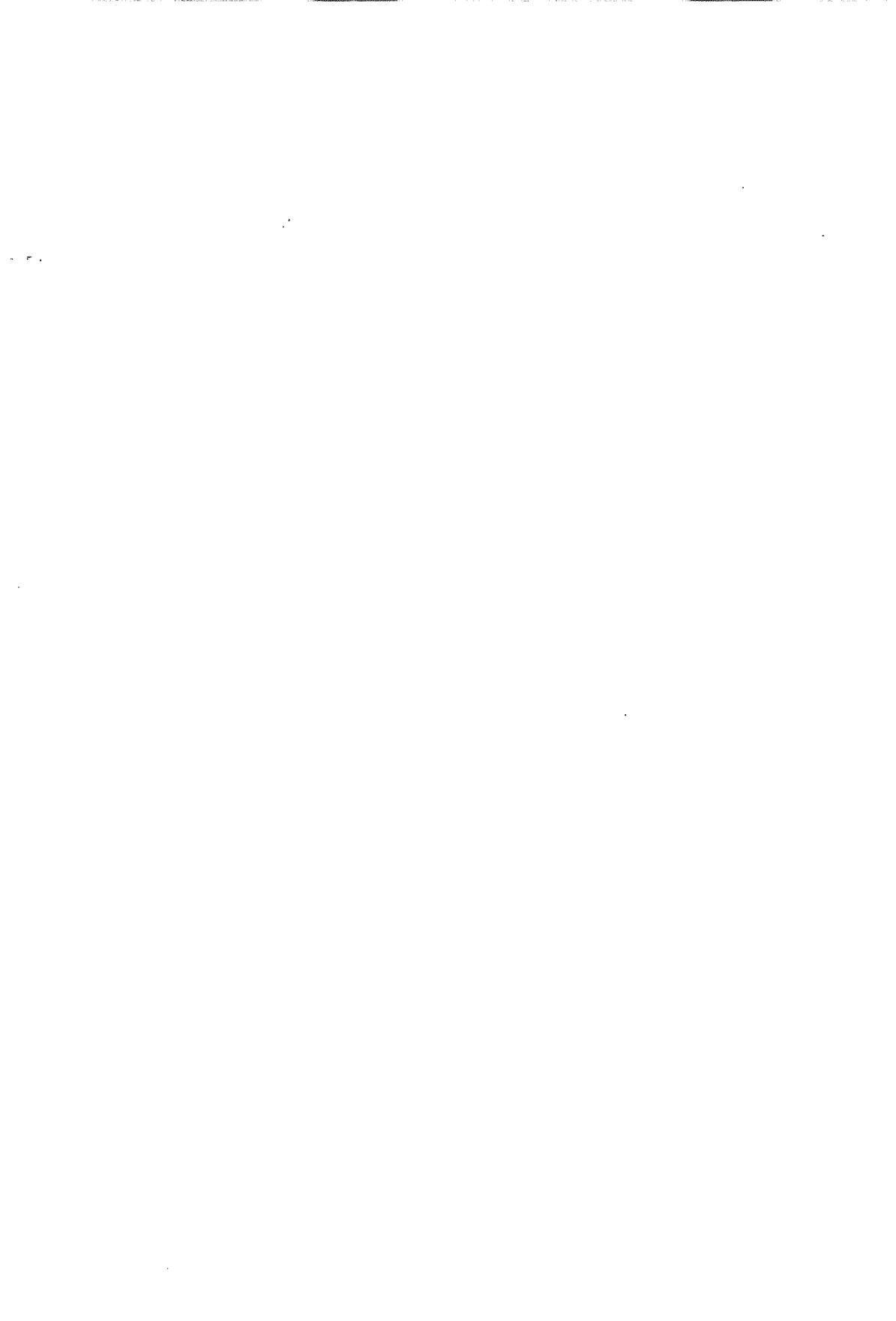
Bu konu ile ilgili günümüzde çok geniş ölçüde uygulama alanları meydana gelmiştir. Genel olarak verilen yöntemlerin dışında bilgisayar programlarına dayalı yöntemlerin geliştirilmesi, günümüz şartlarında ihtiyaç duyulan bir durumdur. Kurulan montaj hatlarında ürün çeşitliliğini artırıcı ve çevrim süresini değişken kabul eden yöntemlerin geliştirilmesi sağlanmalıdır. Bunun içinde bilgisayarın maximum derecede kullanılabilir olacak programlar geliştirilmelidir.

5. KAYNAKLAR

1. Aslan, D.H., "Montaj Hattı Dengeleme Yoluyla Üretim Planlama", 1985.

2. Balasubramanian, R., "Assembly Line Balancing Problem", Operation Research, 1994.

3. Johnson, "Modeling and Analysis of Manufacturing Systems", John Wiley & Sons, Tree Generation, Inc., Operations Research, Volume 8, No.3, New York, NY, 1988.
4. Askin,R.G. & Standridge,C.R., "Modeling and Analysis of Manufacturing Systems", John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1993.
5. Helgeson,W.B. and Birnie,D.P., "Assembly Line Balancing Using The Danded Positional Weight Technique", Journal of Industrial Engineering, Volume 12, No.6, 1961.
6. Erkuıt,H. ve Başkök,M., "Montaj Hatlarının Dengelenmesiyle İşyeri Düzenleme", 1996.
7. Moodie,C.L., "A Heuristic Method of Assmby Line Balancing for Assumptions of Constant of Variable Work Element Times", Unpublished Ph. D. Thesis, Purdue University, 1964.
8. Moodie,C.L. and Young,H.H., "A Heuristic Method of Assmby Line Balancing for Assumptions of Constant of Variable Work Element Times", Journal of Industrial Engineering, Volume 16, No.1, 1965.
9. Kilbridge,M.D. and Wester,L., "A Heuristic Method of Assembly Line Balancing", Journal of Industrial Engineering, Volume 12, No.4, 1961.
10. Kilbridge,M.D. and Wester,L., "Heuristic Line Balancing A Case", Journal of Industrial Engineering, Volume 13, No.3, 1962.
11. Kilbridge,M.D. and Wester,L., "Areview of Analytical Systems of Line Balancing", Operation Research, Volume 10, No.5, 1962.
12. Kilbridge,M.D. and Wester,L., "The Balance Delay Problem", Management Science, 1961.



OTO KORELASYONLU VERİLERDE PROSES KONTROL TEKNİKLERİNİN UYGULANMASI

Funda KAHRAMAN ve Fatma BİLİRGEN

Ç.Ü., Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Çoğu istatistiksel proses kontrol teknikleri gözlemlerin birbirinden bağımsız ve normal dağıldığı varsayımına dayanır. Bununla beraber, istatistiksel proses kontrolünün uygulamalarında bu kabul, verilerin birbirlerine bağımlı olmasından dolayı gerçeklerden bir hayli uzaktır.

Bu çalışma, kontrol dışı sinyallerin oto korelasyondan olup olmadığını tespit etmek için, istatistiksel proses kontrol teknikleri korelasyonlu olduğunu ispatladığımız verilere uygulanmıştır. Verilerin oto korelasyonlu olduğu ispatlandıktan sonra oto korelasyonu yok etmek için uygun bir zaman serisi modeli, ARIMA (2,1,0), tespit edilmiştir. Tespit edilen model MINITAB-13 istatistik programı kullanılarak, orijinal verilerdeki oto korelasyon filtre edilmiştir. Shewart, CUSUM, ve EWMA kontrol şemaları rezidüleri ve orijinal verilere uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Oto korelasyon, ARIMA Modelleri

A RESEARCH RELATED TO THE APPLICATIONS OF PROCESS CONTROL TECHNIQUES FOR CORRELATED PROCESSES

ABSTRACT : Most of the statistical process control (SPC) techniques are developed for the assumption that considers the measured data to be normally and independently distributed. In real world applications of SPC, however, this assumption is very far from the truth due to the dependence of data on itself.

In this study, the Statistical Process Control (SPC) techniques were applied to the auto correlated data. After proving that the data was auto correlated, a suitable time series model, ARIMA(2,1,0), for the particular set of data was adapted to remove the correlation from the observations. The predicted time series model was applied to filter out the auto correlation from the original data by using the MINITAB-13 statistical software tool.

Key Words: Auto correlation, Time Series Model, ARIMA

1. GİRİŞ

Herhangi bir prosesteki değişimi tespit ederek gelecekteki çeşitli parametreleri tahmin etmek için, istatistiksel proses kontrol teknikleri yaygın olarak birçok endüstriyel kuruluşta uygulanmaktadır.

İstatistiksel proses kontrol şemalarının kullanımında çoğu zaman gözden kaçan önemli husus, verilerin korelasyonlu olma durumudur. Bu husus gözden kaçtığı zaman uygulanan kontrol şemalarının güvenilirliği önemli ölçüde azalır ve bu durum proseste gereğinden fazla hatalı kontrol dışı sinyallere sebep olur (1).

Oto korelasyonlu prosesleri doğru olarak analiz etmek için kullanılan başlıca yöntem, zaman serilerinden oto korelasyonu gidererek, rezidülere geleneksel istatistiksel proses kontrol tekniklerinin uygulanmasıdır. Zaman serileri modelleri 1960' lı yıllarda ilk defa Box ve Cox (1964) tarafından ortaya atılmıştır, (2). Bu modeller literatürde ARIMA modelleri olarak bilinip, günümüzde endüstriyel alanda kullanılmaktadırlar. ARIMA modelleri extrapolasyon metodudur ve ileriye tahmin etmek için serilerin önceki değerleri belirli ölçüde hesaba katılır. Seçilen modelin uygunluğu bu modellerin güvenilir sonuçlar vermesi bakımından en önemli husustur. Bu sebepten, bu çalışmada model uygunluğu tespiti hem χ^2 (Chi-square) testi hem de Q istatistiği uygulanarak test edilmiştir. Ayrıca χ^2 testi, rezidülerin varyanslarının büyüklüğü bakımından ARIMA(2,1,0) modelinden daha uygun gözüken ARIMA(2,1,1) modeli üzerinde de uygulanarak, bu iki model uygunluk bakımından birbiri ile kıyaslanmışlardır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Özellikle son yıllarda, gözlemlerdeki oto korelasyonun istatistiksel proses kontrol üzerindeki etkisini giderebilmek için yoğun çalışmalar yapılmıştır.

Harris (3), küçük miktarlardaki oto korelasyonun kontrol şemaları üzerindeki etkilerini çalışmıştır.

Johnson ve Bagshaw (4), CUSUM şemalarının korelasyonlu olma durumlarında güvenilir bir metod olmadığı sonucuna varmışlardır.

Vasilopoulos ve Stamboulis (5), gözlemlerin korelasyonlu olma durumunda kontrol şemalarının limitlerini değiştirme fikrini ortaya atmışlardır.

Lu ve Reynolds (6), EWMA kontrol şemalarını, ARIMA model rezidülerine uygulayarak AR(1) prosesine göre üretilmiş sinyallerdeki ortalamadan sapmayı analiz etmişlerdir.

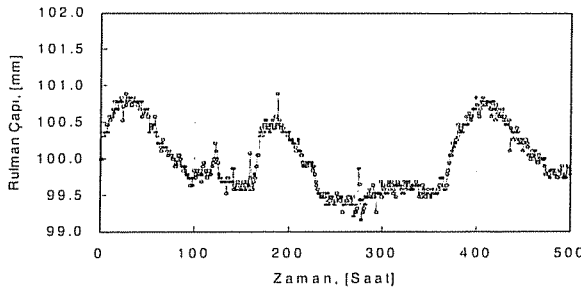
CUSUM kontrol şemalarının ortalamadan sapmalara karşı duyarlılık analizi. Radharamanan ve Galelli (7) tarafından araştırılmış olup ve prosesteki bazı sapmalar için bu şemaların yeterince hassas olmadığı tespit edilmiştir.

3. MATERYAL

Bu çalışmada kullanılan veriler, otomobil yedek parça üretimi yapan bir firmada, üretilen rulmanların çaplarındaki değişimi zamanın fonksiyonu olarak göstermektedir. Firma her gün belirli sayıda rastgele olarak seçilmiş numuneleri analiz etmektedir. Bu

analizde kullanılan en önemli parametrelerden birisi rulmanların çaplarıdır. Firma üretim hatalarını kontrol altında tutabilmek için bu parametreleri sürekli olarak bilgisayar yardımı ile toplamaktadır.

Firma günde 12 saat üretim yapmakta ve her 30 dakikada bir rastgele seçilmiş mamül analiz edilmektedir. Şekil 1'de gösterilen zaman serisi 21 günlük üretim boyunca toplanan verilere tekabül etmektedir.



Şekil 1. Rulman Çaplarının Zamanla Değişimi.

3.1. Oto Korelasyon Analizi

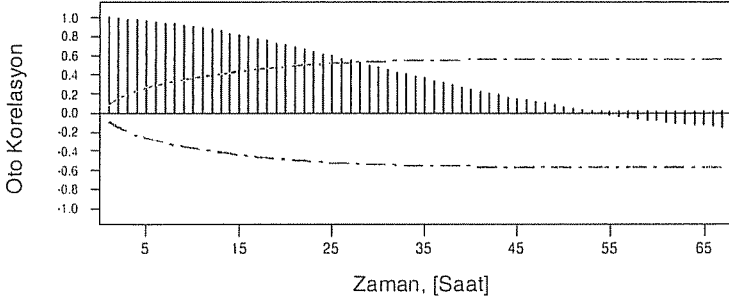
Şekil 1'de gösterilen zaman serisinin oto korelasyon analizi MINITAB 13 istatistiksel programı kullanılarak yapılmıştır. Oto korelasyonun büyüklüğü aşağıda verilen matematiksel formül ile hesaplanmıştır, (8).

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t-k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2}, k = 0, 1, \dots, K \quad (1)$$

Burada K göz önüne alınan zaman serisinin uzunluğunu, \bar{x} zaman serisinin ortalamasını, r_k ise oto korelasyon katsayısını göstermektedir. Oto korelasyon katsayısı '0' ile '1.0' değerleri arasında değişir ve r_k nin '0.0' değeri oto korelasyonsuz, '1.0' ise maksimum oto korelasyonu temsil eder. Bu çalışmada kullanılan veriler için hesaplanan oto korelasyon fonksiyon değerleri r_k , Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2'de kesik çizgi ile gösterilen alt ve üst limitler sıfır olmayan oto korelasyon fonksiyonunu saptamak için kullanılırlar. Bu sınırların hesaplanması eşitlik (2)'de verilmiştir;

$$S(r_k) = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[1 + 2 \sum_{j=1}^{k-1} r_j^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

Burada S(r_k) oto korelasyon fonksiyonunun standart sapmasını göstermektedir, (8).



Şekil 2. Zaman Serisinin Oto Korelasyon Fonksiyonu.

3.2. Arıma (p,d,q) Modelleri

Şekil 2'de verildiği gibi gözlemler arasında özellikle birbiri ardına toplanan verilerde büyük derecede oto korelasyon mevcuttur. Bunun sebebi ise oto korelasyon fonksiyonunun birinci farkta (1. lag de) yaklaşık olarak '1' değerini almasıdır. Bu tür oto korelasyonlu verileri doğru olarak analiz edilmesi, gözlemlerdeki oto korelasyonun giderilerek kalıcılara (rezidülere) geleneksel kontrol şemalarının uygulanması ile mümkündür. Zaman serisindeki korelasyonun giderilmesi ise ARIMA (p,d,q) modelleri ile mümkündür.

Bilindiği gibi ARIMA modelleri, p,d, ve q parametreleri ile tanımlanmaktadır. Buradaki p, d, ve q aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır;

- p : Oto-regrasyon model derecesi [AR(p)]
- d : Fark derecesi, d
- q : Hareketli ortalama derecesi [MA(q)]

3.3. ARIMA(p,d,q) Modelinin Belirlenmesi ve Uygunluk Testi

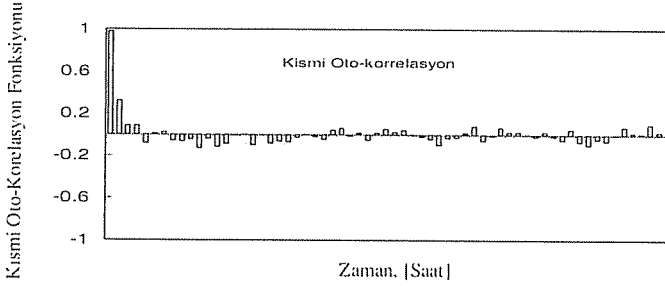
Zaman serisine en uygun ARIMA modelinin seçimi Şekil 3'te verildiği gibi sistematik olarak yapılmıştır. İlk olarak, zaman serisinin oto korelasyon ve kısmi oto korelasyon fonksiyonlarının değerleri hesaplanır ve bu fonksiyonların değerlerine göre ARIMA model parametreleri olan "p", "d", ve "q" Tablo 1 ile belirlenir. Fark faktörü "d" ise meyil analizi sonucu tespit edilip, zaman serisini sabit yapabilmek için uygulanacak eğrinin derecesine karşılık gelir. Bu çalışmada kullanılan veriler için 1. dereceden uygulanacak bir eğrinin yeterli olduğu tespit edilmiştir. Tablo 1 sabit zaman serileri için AR(p) ve MA(q) modellerinin ve parametrelerin belirlenmesinde kullanılan kriterleri göstermektedir, (9).



Şekil 3. ARIMA Modellerini Belirlemede Kullanılan Yöntem Şeması,(10).

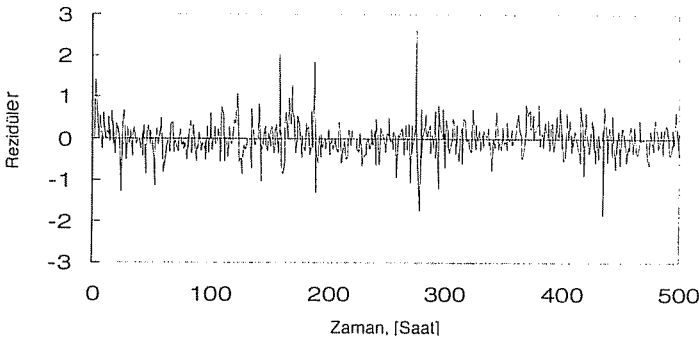
Tablo 1. ARIMA Modelleri Seçiminde Kullanılan Oto Korelasyon ve Kısmi Oto Korelasyon Fonksiyonlarının Davranışına Bağımlı Olan Kriterler (9).

AR(1)	Exponensiyel azalma Değişen işaretler Sinüzoidal değişim	Bir tek sıçrama
MA (1)	Bir tek sıçrama	Exponensiyel azalma Değişen işaretler Sinüzoidal değişim
AR (p)	Exponensiyel azalma Bazı küçük sinüzoidal değişim	p adet sıçrama
MA (q)	q adet sıçrama	Exponensiyel azalma Bazı küçük sinüzoidal değişim
ARMA (p,q)	Exponensiyel azalma	Exponensiyel azalma



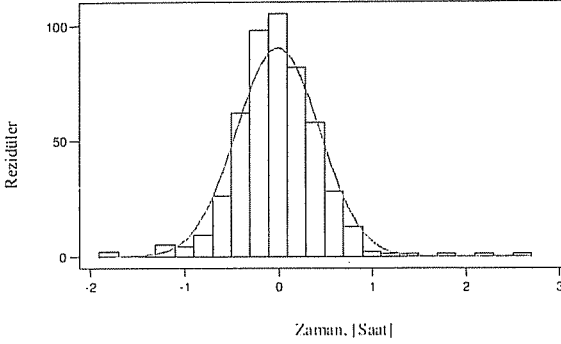
Şekil 4. Orijinal Gözlemlerin Kısmi Oto Korelasyon Fonksiyonu.

Orijinal verilerin oto korelasyon ve kısmi oto korelasyon fonksiyonlarının davranışları Tablo 1'e göre incelenerek, ARIMA(2,1,0) modelinin, gözlemlerdeki oto korelasyonu gidermek için uygun bir model olduğu sonucuna varılmıştır. Belirlenen ARIMA(2,1,0) modelinin uygunluğu ve bu modelden daha uygun bir ARIMA modelinin olup olmadığı hem χ^2 testi hem de Q istatistiği uygulanarak test edilmiştir. Ayrıca χ^2 testi, rezidülerin varyanslarının büyüklüğü bakımından ARIMA(2,1,0) modelinden daha uygun görünen ARIMA(2,1,1) modeli üzerinde de uygulanarak, bu iki model uygunluk bakımından birbiri ile kıyaslanmıştır. Eğer zaman serisindeki oto korelasyon tamamen giderilmiş ise, filtre edilmiş verilerde herhangi belirlenebilir bir yapı göze çarpmaz, yani rezidülerin oto korelasyon fonksiyon değerleri, bütün zaman farklarında (lag) sıfırdan büyük olamaz. Böylece ARIMA filtrasyonu oto korelasyonlu zaman serisini beyaz gürültüye dönüştürmüş olur. Beyaz gürültü serileri sıfır ortalamalı ($\mu=0$), sabit varyanslı (σ^2), bağımsız ve normal olarak dağılmış serilerdir. ARIMA(2,1,0) modeli ile filtre edilmiş rezidüleri ve rezidülerin normal dağılımı Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. ARIMA(2,1,0) Modeli ile Filtre Edilmiş Zaman Serisi, Rezidüleri.

Şekil 6'dan da görüldüğü gibi ARIMA(2,1,0) modelinin rezidüleri rastgele değişen bir seriyi temsil etmekte olup, herhangi gözle görülür bir yapıya rastlanmamaktadır ve rezidüleri sıfır ortalama ($\mu=0$), ve 0.195 sabit varyansa ($\sigma^2= 0.195$) sahiptir.



Şekil 6. ARIMA (2,1,0) Modelinin Normal Dağılım Tablosu.

Zaman serisi model uygunluğunun tespiti, rezidülerin oto korelasyon fonksiyon değerlerini (r_k) kullanarak χ^2 ve Q istatistik testlerini uygulamakla yapılabilir. Yaklaşık χ^2 istatistik değeri eşitlik (3)'te verildiği gibi hesaplanabilir (8).

$$Q = N * (N + 2) \sum_{k=1}^K (1/(N - k)) * r^2(k) \quad (3)$$

Eğer seçilen ARIMA modeli uygun ise Q istatistiği değerinin, yaklaşık olarak K-p-q serbestlik derecesine sahip χ^2 tablosuna göre dağılmıştır (K=67, p=2, ve q= 0). Eğer model uygun değilse, Q değeri K-p-q serbestlik derecesine sahip χ^2 dağılımından çok büyükse, o zaman seçilen model uygun değildir ve reddedilebilir (8). Bu kriter eşitlik (3)'e uygulandığında,

$$Q = 83.683 \quad (4)$$

olarak hesaplanır. 65 serbestlik derecesine sahip, yüzde 5 güvenirlilik limitine sahip χ^2 değeri*, $\chi^2_{0.05,65} = 84.83$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan, $\chi^2_{0.05,65}$ değeri Q değeri ile kıyaslandığı zaman bu iki değer birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Böylece seçilen modelin χ^2 testi sonucunda uygunluğu tespit edilmiştir.

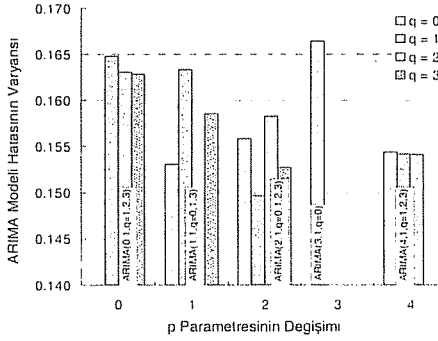
3.4. ARIMA Modelinin Duyarlılık Analizi

Burada, ARIMA model parametrelerinin (p, d, ve q), rezidülerin standart sapması σ_e , üzerindeki hassasiyeti çalışılmıştır. Bilindiği gibi, rezidüleri orijinal veriler ile ARIMA

* 65 serbestlik derecesine sahip 0.05 ki-kare, incelenen serinin yüzde 95 (1-0.05) güven limiti ile rastgele olduğunu göstermektedir.

(p,d,q) modelinin tahmin ettiği değerler arasındaki farkı göstermektedir. Eğer ARIMA modeli orijinal verileri tamamen tahmin edebilme gücüne sahipse, bu durumda, rezidüer ve dolayısı ile de rezidüerlerin standart sapması, σ_e 'de sıfır olmaktadır. Rezidüerlerin standart sapması, σ_e , ne kadar küçük ise ARIMA modeli de o kadar orijinal verileri iyi tahmin etmiş anlamına gelmektedir.

Tablo 2 ve Şekil 7'de ARIMA model parametrelerinden p ve q'nun rezidüerlerin varyansı üzerindeki hassasiyeti gösterilmiştir.



Şekil 7. ARIMA Model Parametreleri p ve q'nun Rezidüerlerin Varyansı, Üzerindeki Etkisi.

Şekil 7'den üçüncü dereceden oto regresyonun zaman serisi için uygun olmadığı görülmüştür. Üçüncü dereceden regresyon, AR(3), sadece sıfırıncı dereceden hareketli ortalama prosesi, MA(0) ile uygulanabilmektedir. Model parametrelerinin en az ARIMA(4,1,q) modeline ve en çok ARIMA(2,1,q) modeline hassas oldukları Şekil 7'den kolayca gözlenebilmektedir. Bir başka deyişle, değişen q parametresine karşı en az değişim ARIMA(4,1,q) modelinde, en çok değişimde ARIMA(2,1,q) modelinde ortaya çıkmıştır. Şekil 7'den gözlemlenebilecek diğer önemli diğer bir sonuçta, rezidüerlerin minimum varyansının, ARIMA(2,1,1) modelinde elde edilmesidir. Bunun anlamı ARIMA (2,1,1) modeli, ARIMA(2,1,0) modeline kıyasla orijinal verileri daha iyi tahmin yapabilmektedir. Bu sebepten dolayı rezidüer ve rezidüerlerin standart sapması daha küçük değerler almaktadır. Hem ARIMA (2,1,0) hem de ARIMA(2,1,1) modelleri zaman serisi için uygun modellerdir. Bununla beraber bu iki model Q, χ^2 değerleri göz önünde bulundurularak kıyaslandığında, ARIMA(2,1,0) modelinin Q ve χ^2 değerleri, ARIMA(2,1,0) modelinin ARIMA(2,1,1) modelinden daha uygun olduğu görülmektedir, yani Q ve χ^2 değerleri ARIMA(2,1,0) modeli için birbirine daha çok yakındır.

Tablo 2. ARIMA Model Parametreleri p ve q'nun Rezidülerin Varyansı Üzerindeki Etkisi.

ARIMA MODELLERİ	p	d	q	σ^2_e
1	0	1	0	----
2	0	1	1	0.164825451
3	0	1	2	0.163043888
4	0	1	3	0.16285992
5	1	1	0	0.153099198
6	1	1	1	0.163355912
7	1	1	2	----
8	1	1	3	0.158535872
9	2	1	0	0.155885367
10	2	1	1	0.149686573
11	2	1	2	0.158293988
12	2	1	3	0.152716433
13	3	1	0	0.166484168
14	3	1	1	----
15	3	1	2	----
16	3	1	3	----
17	4	1	0	0.154427655
18	4	1	1	0.154219639
19	4	1	2	0.15411523
20	4	1	3	----
21	4	1	4	0.139680962

Model parametrelerinin duyarlılığını incelerken fark terimi olan d, sabit bir değer alınmıştır (d=1), yalnızca p ve q parametrelerinin değerleri değiştirilmiştir. Bunun sebebi, zaman serisinde lineer bir eğilimin olması ve bu eğilimin de ancak birinciden fark alınarak (d=1) giderilebilmesidir. ARIMA modelindeki sadece "d" parametresinin uygunluğunu test etmek için bu parametrenin değişiminin etkisi ARIMA (0,1,3) modeli kullanılarak gösterilmiştir. ARIMA (0,1,3) modelindeki fark parametresi "d" nin değerini 2 olarak değiştirerek ARIMA(0,2,3) modelinin uygunluğu test edilmiştir.

Tablo 3'te ARIMA (0,1,3) ile ARIMA (0,2,3) arasındaki fark, rezidülerin varyansları açısından kıyaslanmıştır. Bu tabloda görüldüğü gibi fark parametresi d, uygun seçilmediği zaman, ARIMA modelinin tahmin hatası yükselmektedir. Bu durumda rezidülerin varyansları yaklaşık olarak iki kat artmıştır. Diğer ARIMA modellerinde de, fark parametresi d, birden farklı alındığı zaman rezidülerin standart sapmalarında bir artış gözlenmesine rağmen, en fazla artış Tablo 3'te verilen ARIMA (0,1,3) modelleri için gözlemlenmiştir.

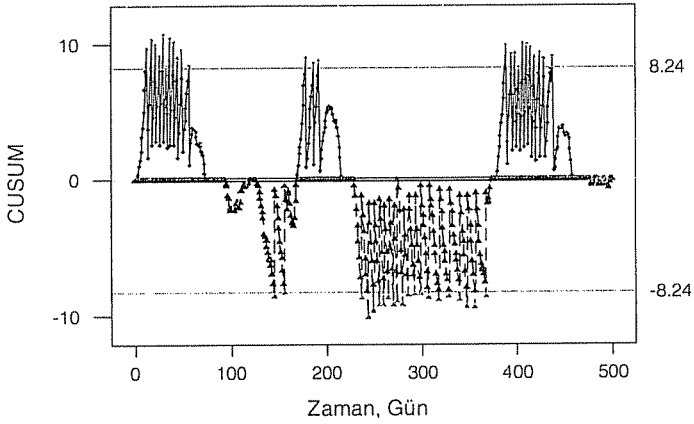
Ayrıca, eğer χ^2 testi ARIMA (0,2,3) modeli için uygulanırsa Q değeri, Q = 151.98, olarak hesaplanır ki, bu değer de $\chi^2_{0.05,62} = 81.381$ değerinden oldukça farklıdır. Böylece ARIMA (0,2,3) modelinin uygun bir model olmadığı tespit edilmiş olmaktadır.

Tablo 3. ARIMA Modellerinde Fark Parametresi "d" nin Rezidülerin Varyansı Üzerindeki Etkisi.

ARIMA MODELLERİ	p	d	q	σ^2_e
1	0	1	3	0.16285992
2	0	2	3	0.305184739

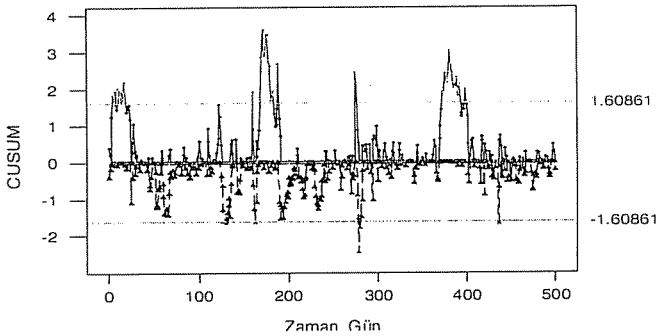
4. SONUÇLAR

CUSUM kontrol şemaları, orijinal seriler ve rezidüleri uygulanarak hatalı alarm noktaları tespit edilmeye çalışılmıştır. Şekil 8'de 1σ kontrol limitine göre orijinal verilerin, Şekil 9'da ARIMA (2,1,0) modeli ile filtre edilmiş verilerin CUSUM grafiği verilmiştir. Bu iki şekil birbirine benzemekle beraber, özellikle 230. ile 380. saatler arasında farklılıklar gözlenmiştir.



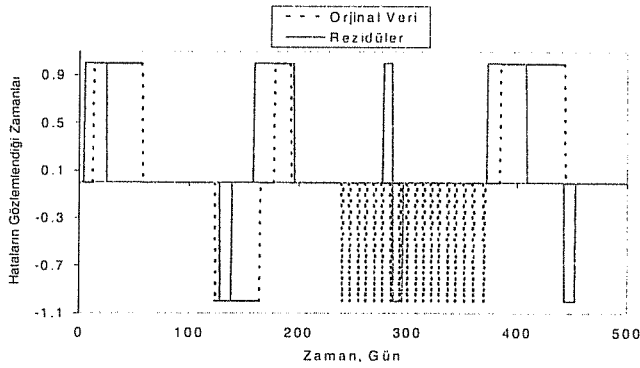
Şekil 8. Orijinal Gözlemlerin CUSUM Dağılımı ve Üst ve Alt Kontrol Limitleri, $\sigma=1.0$ için.

Orijinal verilerin CUSUM şeması bu zaman diliminde ortalamadan azalma yönünde sinyaller verirken, rezidülerin CUSUM şeması bu günlerdeki hata sayısının belirlenen kontrol limitleri içinde olduğunu göstermektedir. Fakat her iki şekilde 400. saat civarında (390. ile 440. saatler) üst kontrol limitlerinin dışına çıktığını göstermektedirler.



Şekil 9. Rezidülerin CUSUM Dağılımı ve Üst ve Alt Kontrol Limitleri, $\sigma=1.0$ için

Şekil 10'da orijinal veriler ve rezidüleri arasında hatalı sinyallerin ortaya çıktığı zaman dilimleri kıyaslanmıştır. Bu şekilde, kıyaslamayı basitleştirmek için, sinyallerin üst kontrol limitlerinin dışına çıktığı durumlar +1, alt kontrol limitlerinin dışına çıktığı durumlarda -1 ve iki kontrol limitinin içinde kaldığı zaman dilimleri de 0 ile gösterilmiştir. Şekil 10'da gösterildiği gibi orijinal verilerin kontrol şemaları ile rezidülerin şemaları arasında özellikle 300. gün civarında uyumsuzlukların olduğu gözlemlenmiştir. Rezidülerin CUSUM kontrol şeması bu zaman diliminde prosesin kontrol limitlerinin dışına çıkmadığını göstermişlerdir. Böylece, 300. gün civarındaki kontrol dışı sinyallerin gerçekte procese var olmayıp, oto korelasyondan ortaya çıktığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 10. Orijinal Seriler ve Rezidülerin 1σ Limitine göre Kontrol Dışı Sinyal Verme Bakımından Kıyaslanmaları

5. KAYNAKLAR

1. Atienza, O.O., Tang, L.C. ve Ang, B.W., "SPC procedure for detecting level shifts of autocorrelated processes", *Journal of Quality Technology*, Vol. 30, No. 4., pp. 340-351, 1998.
2. Box, G.E.P. ve Cox, D.R., "An analysis of transportation", *J. Roy. Stat. Soc.*, Vol. 26, pp. 211-252, 1964.
3. Harris, T.J., "Statistical process control procedures for correlated observations *Technometrics*", 1889.
4. Johnson, R.A. and Bagshaw, M., "The Effect of Serial Correlation on the Performance of CUSUM Tests. *Technometrics*", Vol. 16 (1), pp. 103-112, 1974.
5. Vasilopoulos, A.V. and Stamboulis, A.P., "Modification of Control Chart Limits in the Presence of Data Correlation", *Journal of Quality Technology*, Vol. 10(1), pp. 20-30, 1978.
6. Lu, C.W. ve Reynolds, M.R., "EWMA control charts for monitoring the mean of autocorrelated processes", *Journal of Quality Technology*, Vol. 31, No. 2, 1999.

7. Radharamanan,R. ve Galelli,A., "Sensitivity analysis on the CUSUM method", *International Journal of Production Economics*, Vol. 33, No. 1-3, pp. 89-95, 1994.
8. Montgomery,D.C., "Introduction to Statistical Quality Control", 4th ed. Wiley, New York, 2000.
9. Kendall,S.M. ve Ord,J.K., "Serial Correlations and Model Identification. Time Series". Third Edition, Oxford University Press, New York, 1990.
10. Walter,V., " Applied Time Series and Box-Jenkins Models". Academic press, Inc. 1983, 1989.

ÖRNEKLEM BÜYÜKLÜĞÜNÜN SHEWART VE CUSUM KONTROL ŞEMALARININ PERFORMANSLARINA ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRMALI OLARAK İNCELENMESİ

Funda KAHRAMAN ve A. Nilgün KAYADELEN
Ç.Ü., Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Bir süreçteki süreç parametresinde yer değiştirmenin yakalanmasında kontrol şemalarından yararlanılmaktadır. Örnek büyüklüğü, bu yer değiştirmelerin yakalanmasında kontrol şemaları üzerinde farklı etkilere sahiptir. Süreç ortalamasındaki orta ve büyük yer değiştirmelerin belirlenmesinde \bar{X} kontrol şemasının etkili olduğu bilinmektedir. Örnek büyüklüğünün artırılması ile \bar{X} kontrol şemaları küçük yer değiştirmeleri yakalamada etkili hale gelmektedirler.

Çalışmada, gerçek veriler kullanılarak \bar{X} kontrol şemasının örnek büyüklüğünün artırılması ile süreçteki küçük değişimleri yakalama yetenekleri ortaya konulmuştur. Ayrıca, aynı veriler için CUSUM şemaları da oluşturularak, \bar{X} kontrol şemasının bu etkisi test edilmiştir.

Şemaların oluşturulmasında Statistica ve MINITAB-13 istatistiksel paket programları kullanılmıştır.

THE PRACTICAL RESEARCH ON THE SUBJECT OF THE STATISTICAL QUALITY CONTROL AND STATISTICAL PROCESS CONTROL

ABSTRACT : Control Charts are most commonly used to detect process shifts in a process parameter. Sample size has different effects on control charts which detects process shifts. It is known that if the \bar{X} control chart is being used primarily to detect moderate-to-large process shifts, then relatively small sample size are effective. On the other hand, \bar{X} control charts which have large sample size, are more effective to detect small shifts.

In this study, the ability of \bar{X} control charts on detecting small shifts in a process was presented by increasing sample size by using original data. In addition, CUSUM charts were prepared to test the performance of \bar{X} control charts. Then, results were presented. Control charts were plotted by Statistica and MINITAB-13 statistical software.

1. GİRİŞ

Kalite'yi değişik açılardan tanımlamak mümkündür. Tasarımcı açısından daha iyiyi yapabilme kabiliyeti; imalatçı açısından standart ve spesifikasyonlara uygunluk; tüketici açısından performans, kullanıma uygunluk veya tüketici ihtiyaçlarının karşılanma derecesidir.

Kalite Kontrol ise; geleneksel tanımı ile üretilen malın kalitesinin ölçülüp daha önce ortaya konan standartlarla karşılaştırılması ve varsa aradaki farklılığın giderilmesi için gereken işlemlerin tamamıdır. Kalite isteklerini sağlamak için kullanılan uygulama, teknik ve faaliyetleridir.

İstatistiksel Kalite Kontrol; istatistiksel tekniklerin kalite kontrole uygulanmasıdır.

İstatistiksel Kalite Kontrol Tekniklerinden biri olan Kontrol Şemaları; sürecin ilerletilmesi ile ilgili bilgi sunmaktadır. Bunun yanında, Kontrol Şemaları süreç değişkenliğinin mümkün olduğunca azaltılmasında etkili bir araçtır. Birçok durumda kullanıcılar, kontrol şemalarından edinilen bilgilerin tamamını elde edemezler. Bu bilgilerden biri de; "bir örneklem veya alt örneklem grubunda süreç ortalamasının hedef değerden kritik değere doğru yer değiştirmesinin tespit edilme olasılığının bulunmasıdır.

Örneklem büyüklüğü ile süreç değişimlerinin büyüklüğü birbirleri ile ilişkilidir. Değişimin küçük olması durumunda CUSUM Kontrol Şemalarının kullanımı uygundur. Çünkü CUSUM Kontrol Şemaları süreç değişkenliğinin küçük olması durumunda Shewart Kontrol Şemalarına göre daha etkilidir.

Diğer taraftan; \bar{X} Kontrol Şemasının örneklem büyüklüğünün artırılması ile küçük yer değiştirmelerin tespit edilmesinde etkili olduğu da literatürlerde belirtilmektedir. Çalışmada \bar{X} kontrol şemasının yukarıda belirtilen bu özelliği incelenmiştir. CUSUM şemaları oluşturulmak suretiyle \bar{X} kontrol şemasının yer değiştirmeleri yakalamadaki performansı değerlendirilmiştir.

2. METOD

2.1. \bar{X} Kontrol Şemasını

2.1.1. \bar{X} Kontrol Şemasını Oluşturma Adımları

1.Adım: Süreç karakteristikleri (\bar{X} ve S) belirlenir. Belirlenmiş olan Alt Spesifikasyon Sınırı (ASS) ve Üst Spesifikasyon Sınırı (ÜSS) ile hedef değer T hesaplanır:

$$T = \frac{ASS + ÜSS}{2}$$

Görüldüğü gibi hedef değer ASS ile ÜSS'nin ortalamasıdır. Eğer süreç hedefte ise; \bar{X} (alt örneklem ortalaması) = T'dir. Bu, sürecin tamamıyla hedeflenen değerde olduğunun göstergesidir.

2.Adım : Bu adımda; Merkez Çizgi, Alt Kontrol Sınırı(AKS) ve Üst Kontrol Sınırı(ÜKS) örnek genişliği için hesaplanır:

$$\text{Merkez Çizgi} = KS = \bar{X}$$

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Alt Kontrol Sınırı (AKS)} = \bar{K}S - 3S_{\bar{x}}$$

$$\text{Üst Kontrol Sınırı (ÜKS)} = \bar{K}S + 3S_{\bar{x}}$$

3. **Adım:** Yer değiştirmenin büyüklüğü D olarak belirtilir. Bu, kritik yer değiştirmedir ve μ 'nin D'ye doğru kaydığı varsayılır. Yani ; süreç D'ye doğru yer değiştirmektedir.

4. **Adım:** Uygun olmayan ürün üretme yüzdesi hesaplanır:

$$Z = - \frac{(\bar{ÜSS} - D)}{S}$$

$$Z = - \frac{(D - ASS)}{S}$$

5. **Adım:** \bar{X} 'den D'ye yer değiştirme olasılığının hesaplanması:

$$Z = - \frac{(\bar{ÜKS} - D)}{S_{\bar{x}}} = - \frac{(\bar{ÜKS} - D)}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

$$Z = - \frac{(D - AKS)}{S_{\bar{x}}} = - \frac{(D - AKS)}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

2.2. İstatistiksel Güç

Süreç ortalamasında yer değiştirme olmasına rağmen, örnek ortalaması kontrol sınırlarının dışına çıkabilmektedir. Bu tip hata II. tip hata olarak bilinmekte ve β ile sembolize edilmektedir. İstatistiksel Güç (Statistical Power), süreç ortalamasındaki belirli (özel) yer değiştirmenin yakalanma olasılığı olarak tanımlanır ve $1 - \beta$ ile ifade edilir. Buna göre β , süreç ortalamasında mevcut olan yer değiştirmenin tespit edilememesini ifade ettiğine göre; $1 - \beta$ yani, İstatistiksel Güç, bunun tam tersi bir ifadedir. $1 - \beta$, İstatistiksel Güç, süreç ortalamasındaki yer değiştirmenin tespit edilme olasılığıdır. İstatistiksel Güç'ün formül ile ifadesi şu şekildedir:

$$\beta = P \{ AKS \leq \bar{X} \leq \bar{ÜKS} \mid \mu = \mu_1 = \mu_0 + k\sigma \} \quad (1)$$

$$\beta = \Phi \left[\frac{\bar{ÜKS} - (\mu_0 + k\sigma)}{\sigma/\sqrt{n}} \right] - \Phi \left[\frac{AKS - (\mu_0 + k\sigma)}{\sigma/\sqrt{n}} \right] \quad (2)$$

$$\beta = \Phi \left[\frac{\mu_0 + L\sigma/n - (\mu_0 + k\sigma)}{\sigma/\sqrt{n}} \right] - \Phi \left[\frac{\mu_0 - L\sigma/n - (\mu_0 + k\sigma)}{\sigma/\sqrt{n}} \right] \quad (3)$$

$$\beta = \Phi (L - k\sqrt{n}) - \Phi (-L - k\sqrt{n}) \quad (4)$$

$$\bar{X} = (\mu, \sigma^2/n).$$

Buradaki ; μ_0 : Sürecin kontrol altındaki ortalaması

μ_1 : Sürecin yer değiştirdiği ortalama değeri

$$\mu_1 = \mu_0 + k\sigma \quad (5)$$

$$\text{ÜKS} = \mu_0 + L \sigma / \sqrt{n} \quad (6)$$

$$\text{AKS} = \mu_0 - L \sigma / \sqrt{n} \quad (7)$$

Φ : Standart Kümülatif Yoğunluk Fonksiyonu.

$$1 - \beta = 1 - (\Phi(L - k\sqrt{n}) - \Phi(-L - k\sqrt{n})) \text{ olarak bulunur.} \quad (8)$$

3. CUSUM (Cumulative Sum) (Birikimli Toplam) Kontrol Şemaları

İlk kez 1954 yılında İngiliz İstatistikçisi E. S. Page tarafından ortaya atılmış bu şemalar sonra daha da geliştirilmiştir. CUSUM şeması bir sürecin kesintisiz olarak kontrolünün sağlanması amacıyla etkili olarak kullanılmaktadır. Ani, küçük, ısrarlı değişimlerin fark edilmesinde CUSUM şemaları Shewart şemalarına göre daha duyarlıdır.

3.3.1. Tek-Tarafli (One-Sided) CUSUM

Tek tarafli CUSUM; iki, tek-tarafli CUSUM'dır. Üst CUSUM (Upper CUSUM) sürecin üst seviyesindeki yukarı doğru yönlü olan yer değiştirmeleri göstermek için. Alt CUSUM (Lower CUSUM) aşağı doğru yönlü yer değiştirmeleri göstermek için bulunmaktadır. Kontrol dışı durumlar için AKS (Alt Kontrol Sınırı) (Lower CUSUM) ve ÜKS (Üst Kontrol Sınırı) (Upper CUSUM) mevcuttur. Tek-yönlü CUSUM'da şu formüller kullanılmaktadır:

$$CL_0 = f \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (9)$$

$$CU_0 = f \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (10)$$

$$CL_i = \min \left\{ 0, CL_{i-1} + \bar{x}_i - \left(T - k \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \right\} \quad (11)$$

$$CU_i = \max \left\{ 0, CU_{i-1} + \bar{x}_i - \left(T - k \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \right\} \quad (12)$$

$$\text{ÜKS} = h \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (13)$$

$$\text{AKS} = -h \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (14)$$

Burada ; CL_i : "i." zamandaki alt tek-yönlü CUSUM değeri

CU_i : "i." zamandaki üst tek-yönlü CUSUM değeri

CL_0, CU_0 : CUSUM alt ve üst başlangıç değerleri

T : Hedef değer

h: Karar aralığı (4,5)

k : Tespit edilecek ortalama sapma (0,5)

n : Örnek Büyüklüğü

σ : Standart Sapma

f : Hızlı Başlangıç Tepkisi(FIR) Değeri

CL_i ve CU_i değerleri her bir \bar{X}_i değeri için yukarıdaki formül ile hesaplanır. Hesaplanan CL_i ve CU_i değerleri tablo haline getirilir. AKS ve ÜKS değerleri hesaplanır. CL_0 ve CU_0 değerleri hesaplanırken kullanılan f değeri, CL_0 ve CU_0 değerleri sıfır alınır. Bunun yanında; süreç başlangıçta kontrol altında değilse CUSUM, birçok alt grup için sınır dışına çıkan noktaları yakalayamaz. Daha sonra her bir \bar{X}_i değeri için bulunan CL_i değeri AKS(Alt CUSUM) ile; CU_i değeri ise; ÜKS(Üst CUSUM) ile karşılaştırılır. AKS değerinden küçük olan CL_i değerleri belirlenir. Aynı şekilde ÜKS (Üst CUSUM) değerinden büyük olan CU_i değerleri belirlenir. AKS ve ÜKS değerlerini aşan CL_i ve CU_i değerleri sürecin kontrol dışı duruma karşı karşıya gelebileceğini belirtmektedir. Yani; sürecin kontrol dışına çıkabileceğini gösteren bir tür uyarıcı sinyal vermektedir.

4. UYGULAMA

4.1. \bar{X} Kontrol Şeması Uygulaması

Bu aşamada iki ayrı örnek büyüklüğü için \bar{X} Kontrol Şeması oluşturularak örnek büyüklüğünün \bar{X} Kontrol Şeması üzerindeki etkisi gözlenmiştir. Ayrıca, örnek grubundaki süreç ortalamasının hedef değerden kritik değere doğru yer değiştirmesi (kayma)'nin tespit edilme olasılığı hesaplanmıştır. Bunun yanında, süreç ortalamasının hedeflenen veya herhangi bir belirtilen değerde olması halinde küçük miktarda üretilmiş olabilecek uygun olmayan ürün üretme olasılığı da hesaplanmıştır. Örneklem genişlikleri $n_1 = 5$ ve $n_2 = 15$ olarak belirlenmiştir. \bar{X} Kontrol Şemasını oluşturma prosedürlerinin adımları her iki örnek genişliği için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve iki ayrı kontrol şeması oluşturmak suretiyle karşılaştırma yapılmıştır. Buradaki örneklem genişlikleri sabittir.

Uygulamada bir tekstil işletmesinden alınmış olan Fitol Numaraları veri olarak kullanılmıştır. Her iki örnek büyüklüğü için oluşturulan \bar{X} Kontrol Şemalarının grafiksel gösterimleri Şekil.1 ve Şekil.2'de gösterilmiştir.

Uygulama Adımları:

1. Adım : Süreç parametreleri $\bar{X} = 100$ ve $S = 0,5$ olarak varsayılmıştır.

Spesifikasyon sınırları işletme tarafından belirlenmiş ve kullanılmakta olup şu şekildedir:

Spesifikasyon Sınırları = $\pm 1,5$

Alt Spesifikasyon Sınırı (ASS) = 98,5

Üst Spesifikasyon Sınırı (ÜSS) = 101,5

Buna göre Hedef Değer (T) = $\frac{ASS + ÜSS}{2} = \frac{(101,5 + 98,5)}{2} = 100$ 'dür.

2. Adım : Merkez Çizgi (MÇ) = $\bar{X} = 100$ ve her iki örnek büyüklüğüne ait şema için aynıdır.

1. Kontrol Şeması (n=5):

$$S_{\bar{x}} = S/\sqrt{n} = 0,5/\sqrt{5} = 0,5/(2,2361) = 0,22361$$

$$\text{AKS (Alt Kontrol Sınırı)} = M\check{C} - 3 S_{\bar{x}} = 100 - 3 \cdot (0,22361) = 99,3292$$

$$\text{ÜKS (Üst Kontrol Sınırı)} = M\check{C} + 3 S_{\bar{x}} = 100 + 3 \cdot (0,22361) = 100,6708$$

2. Kontrol Şeması (n=15) :

$$S_{\bar{x}} = S/\sqrt{n} = 0,5/\sqrt{15} = 0,5/(3,8730) = 0,1291$$

$$\text{AKS} = M\check{C} - 3 S_{\bar{x}} = 100 - 3 \cdot (0,1291) = 99,613$$

$$\text{ÜKS} = M\check{C} + 3 S_{\bar{x}} = 100 + 3 \cdot (0,1291) = 100,387$$

3. Adım: $D_1 = 100,6708$, $D_2 = 99,3292$ olarak belirlenmiştir.

$$4. \text{ Adım : } Z_1 = - \frac{(\check{U}SS - D_1)}{S} = - \frac{(101,5 - 100,6708)}{0,5} = - 1,6584 \cong - 1,66$$

Standartlaştırılmış normal dağılım tablosuna göre ; $P(Z \leq - 1,66) = 0,0485 \cong 0,05$
Buna göre ; uygun olmayan ürün üretme olasılığı yaklaşık olarak ; %5 'tir. Ayrıca; ortalamının AKS ya da ÜKS'nin dışına doğru kayması sonucu uygun olmayan üretme olasılıkları eşit olmaktadır.

5. Adım : Bu adımda süreç ortalaması \bar{X} 'nın yer değiştirmesinin tespit edilme olasılığı her iki kontrol şeması için hesaplanmaktadır.

1. Kontrol Şeması (n=5)

$$S_{\bar{x}} = 0,22361 , \text{ AKS} = 99,3292 \text{ ve } \text{ÜKS} = 100,6708$$

$$Z = - \frac{(\check{U}KS - D)}{S_{\bar{x}}} = - \frac{(100,6708 - 100,6708)}{0,22361} = 0$$

Standartlaştırılmış normal dağılım tablosuna göre ;

$$P(Z \leq 0) = 0,5$$

Buna göre ; süreç ortalamasının yer değiştirmesinin yakalanma olasılığı n=5 örnek genişliği için % 50'dir.

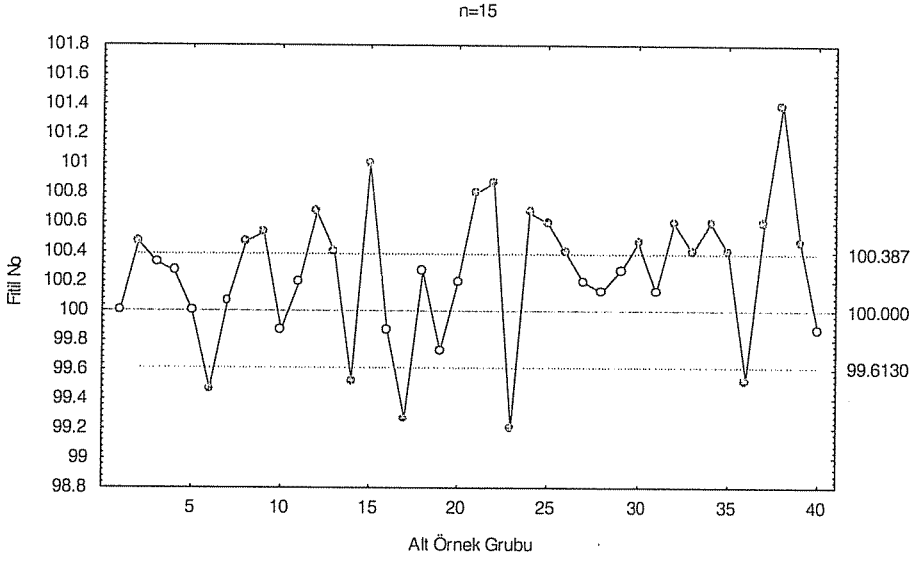
2. Kontrol Şeması (n=15)

$$S_{\bar{x}} = 0,1291 , \text{ AKS} = 99,6127 \text{ ve } \text{ÜKS} = 100,3873$$

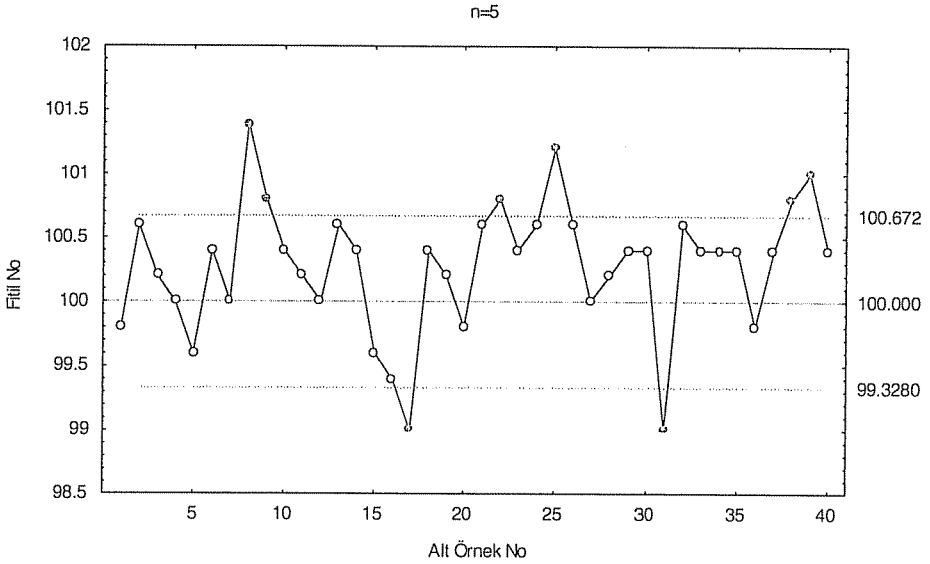
$$Z = - \frac{(\check{U}KS - D_1)}{S_{\bar{x}}} = - \frac{(100,3873 - 100,6708)}{0,1291} \cong 2,196$$

Buna göre ; $P(Z \leq 2,196) = 0,9857$ 'dir.

ÖRNEKLEM BÜYÜKLÜĞÜNÜN SHEWART VE CUSUM KONTROL ŞEMALARININ PERFORMANSLARINA ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRMALI OLARAK İNCELENMESİ



Şekil 1. \bar{X} Kontrol Şeması (n=15 örnek büyüklüğü için)



Şekil 2. \bar{X} Kontrol Şeması (n=5 örnek büyüklüğü için)

4.2. İstatistiksel Gücün Hesaplanması

$$n=5$$

$$\mu_1 = 100,6708$$

$$\mu_0 = 100$$

$$\mu_1 = \mu_0 + k\sigma \Rightarrow 100,6708 = 100 + k \cdot 0,5$$

$$k = 1,3416 \cong 1,34$$

$$L=3 \text{ (} \pm 3\sigma \text{ için)}$$

$$\beta = \Phi(L - k\sqrt{n}) - \Phi(-L - k\sqrt{n})$$

$$\beta = \Phi(3 - 1,34\sqrt{5}) - \Phi(-3 - 1,34\sqrt{5})$$

$$\beta = \Phi(0,004) - \Phi(-5,996)$$

$$\beta = 0,5160 - 0 = 0,5160$$

İstatistiksel Güç = $1 - \beta = 1 - 0,5160 = 0,484 \cong 0,5$. Buna göre; $n=5$ örnek büyüklüğü için İstatistiksel Güç, % 50'dir.

$n=15$ Örnek Büyüklüğü için İstatistiksel Güç:

$$n=15$$

$$\mu_1 = 100,6708$$

$$\mu_0 = 100$$

$$\mu_1 = \mu_0 + k\sigma \Rightarrow 100,6708 = 100 + k \cdot 0,5$$

$$k = 1,3416 \cong 1,34$$

$$L=3 \text{ (} \pm 3\sigma \text{ için)}$$

$$\beta = \Phi(L - k\sqrt{n}) - \Phi(-L - k\sqrt{n})$$

$$\beta = \Phi(3 - 1,34\sqrt{15}) - \Phi(-3 - 1,34\sqrt{15})$$

$$\beta = \Phi(-2,2) - \Phi(-8,2)$$

$$\beta = 0,0139 - 0 = 0,0139$$

$n=15$ Örnek Büyüklüğü için İstatistiksel Güç = $1 - \beta = 1 - 0,0139 = 0,9861$, yani; %98'dir.

Buradan görüldüğü gibi; örnek büyüklüğünün \bar{X} kontrol şemasına olan etkisi oldukça büyüktür. Bu sonuçtan hareket ederek; örnek büyüklüğünün artmasıyla, \bar{X} kontrol şemasının İstatistiksel Gücü artmaktadır sonucuna varabiliriz.

4.3. CUSUM Şeması

4.3.1. Tek-Tarafli CUSUM Yöntemi

$n=15$ örnek büyüklüğü için:

$$f=2$$

$$h=5$$

$$T=100$$

$$k=0,5$$

$$n=15$$

$$\sigma=0,5$$

$$CL_0 = f \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2 \cdot \frac{0,5}{\sqrt{15}} = 0,258 \cong 0,26$$

$$CU_0 = f \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2 \cdot \frac{0,5}{\sqrt{15}} = 0,258 \cong 0,26$$

$$CL_1 = \min \left\{ 0, CL_0 + \bar{X}_1 - \left(T - k \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \right\}$$

$$CL_1 = \min \left\{ 0; 0,26 + 100 - \left(100 - 0,5 \frac{0,5}{\sqrt{15}} \right) \right\}$$

$$CL_1 = \min \{0; 0,32\} = 0$$

$$CU_1 = \max \left\{ 0, CU_0 + \bar{X}_1 - \left(T + k \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \right\}$$

$$CU_1 = \max \left\{ 0; 0,26 + 100 - \left(100 + 0,5 \frac{0,5}{\sqrt{15}} \right) \right\}$$

$$CU_1 = \max \{0; 0,2\} = 0,2$$

$$AKS = -h \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = -5 \cdot \frac{0,5}{\sqrt{15}} = -0,645$$

$$\dot{ÜKS} = h \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 5 \cdot \frac{0,5}{\sqrt{15}} = 0,645$$

n=5 örnek büyüklüğü için :

$$f=2$$

$$h=5$$

$$T=100$$

$$k=0,5$$

$$n=5$$

$$\sigma=0,5$$

$$CL_0 = f \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2 \cdot \frac{0,5}{\sqrt{5}} = 0,448 \cong 0,45$$

$$CU_0 = f \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2 \cdot \frac{0,5}{\sqrt{5}} = 0,448 \cong 0,45$$

$$CL_1 = \min \left\{ 0, CL_0 + \bar{X}_1 - \left(T - k \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \right\}$$

$$CL_1 = \min \left\{ 0; 0,45 + 99,80 - \left(100 - 0,5 \frac{0,5}{\sqrt{5}} \right) \right\}$$

$$CL_1 = \min \{0; 0,36\} = 0$$

$$CU_1 = \max \left\{ 0, CU_0 + \bar{X}_1 - \left(T + k \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \right\}$$

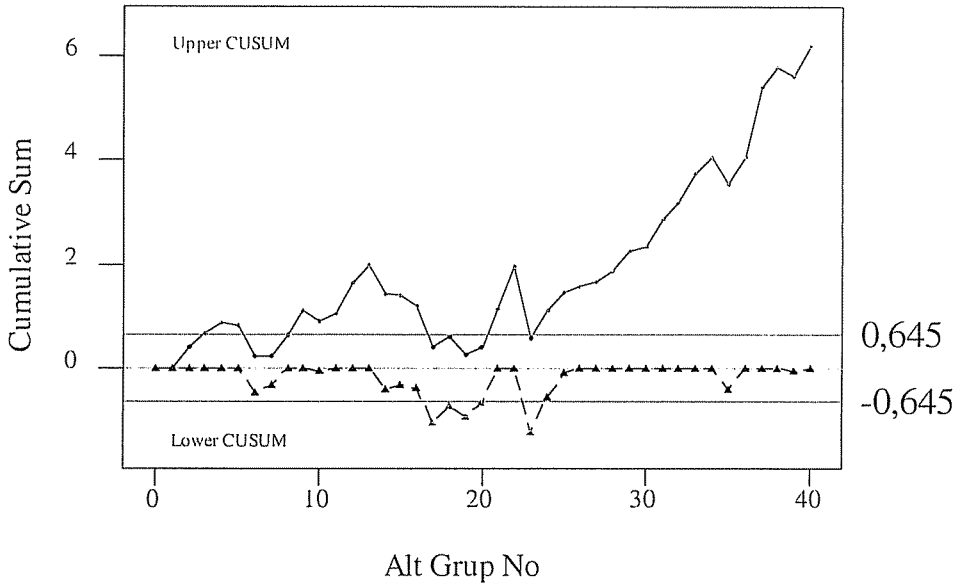
$$CU_1 = \max \left\{ 0; 0,45 + 99,80 - \left(100 + 0,5 \frac{0,5}{\sqrt{5}} \right) \right\}$$

$$CU_1 = \max \{0; 0,138\} = 0,138 \cong 0,14$$

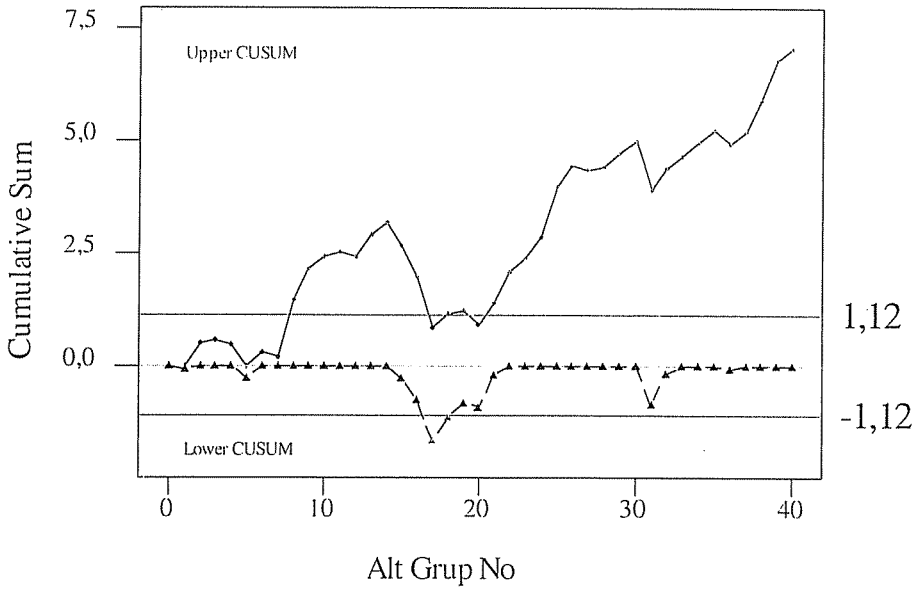
$$AKS = -h \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = -5 \cdot \frac{0,5}{\sqrt{5}} = -0,112$$

$$\text{ÜKS} = h \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 5 \cdot \frac{0,5}{\sqrt{5}} = 0,112$$

CUSUM şemalarının sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil.3 ve Şekil.4'te yer almaktadır.



Şekil 3. CUSUM Şeması (n=15 örnek büyüklüğü için)



Şekil 4.CUSUM Şeması (n=5 örnek büyüklüğü için)

5. SONUÇLAR

\bar{X} kontrol Şeması uygulama sonuçlarına göre, genel olarak ifade edildiği gibi \bar{X} kontrol Şemasında örnek büyüklüğünün artırılması sonucunda süreçteki küçük değişimleri yakalamada kontrol şemasının etkisi de artmaktadır.

Ayrıca bir diğer sonuca göre de örnek büyüklüğünün artmasıyla, \bar{X} kontrol şemasının İstatistiksel Gücü de artmaktadır. Uygulamada belirtilen sonuçların sayısal ifadeleri yer almıştır.

Diğer taraftan; CUSUM şeması süreçteki küçük değişimleri yakalamada etkili olarak bilinmektedir. CUSUM şeması \bar{X} Kontrol şemasının uygulamada belirtilen şartlar altındaki performanslarını değerlendirmek ve örnek büyüklüğünün CUSUM şeması üzerindeki etkisini incelemek için kullanılmıştır. Buna göre CUSUM şemasının süreçteki örnek büyüklüğü etkisi görülmektedir. CUSUM şemasının tek-tarafli CUSUM yöntemi kullanılarak bulunan sayısal sonuç değerleri Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Tek-Tarafli CUSUM Değerleri (n=15 örnek büyüklüğü için)

	\bar{X}	CL_i	\bar{X}	CU_i
1	100	0	100	0.2
2	100.47	0	100.47	0.61
3	100.33	0	100.33	0,88>0,645
4	100.27	0	100.27	1,1>0,645
5	100	0	100	1>0,645
6	99.47	-0.42	99.47	0.41
7	100.07	-0.29	100.07	0.42
8	100.47	0	100.47	0,83>0,645
9	100.53	0	100.53	1,3>0,645
10	99.87	-0.07	99.87	1,1>0,645
11	100.2	0	100.2	1,2>0,645
12	100.67	0	100.67	1,8>0,645
13	100.4	0	100.4	2,1>0,645
14	99.53	-0.41	99.53	1,6>0,645
15	101	0	101	2,5>0,645
16	99.87	-0.07	99.87	2,3>0,645
17	99.27	-0,74<-0,645	99.27	1,5>0,645
18	100.27	-0.41	100.27	1,7>0,645
19	99.73	-0.62	99.73	1,4>0,645
20	100.2	-0.36	100.2	1,5>0,645
21	100.8	0	100.8	2,2>0,645
22	100.87	0	100.87	3>0,645
23	98.7	-1,24<-0,645	98.7	1,6>0,645
24	100.67	-0.51	100.67	2,2>0,645
25	100.6	0	100.6	2,7>0,645
26	100.4	0	100.4	3>0,645
27	100.2	0	100.2	3,1>0,645
28	100.13	0	100.13	3,2>0,645
29	100.27	0	100.27	3,4>0,645
30	100.47	0	100.47	3,8>0,645
31	100.13	0	100.13	3,9>0,645
32	100.6	0	100.6	4,4>0,645
33	100.4	0	100.4	4,7>0,645
34	100.6	0	100.6	5,2>0,645
35	100.4	0	100.4	5,5>0,645
36	99.53	-0.41	99.53	5>0,645
37	100.6	0	100.6	5,5>0,645
38	101.4	0	101.4	6,8>0,645
39	100.47	0	100.47	7,2>0,645
40	99.87	-0.07	99.87	7>0,645

ÖRNEKLEM BÜYÜKLÜĞÜNÜN SHEWART VE CUSUM KONTROL ŞEMALARININ PERFORMANSLARINA ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRMALI OLARAK İNCELENMESİ

Tablo 2. Tek-Tarafli CUSUM Değerleri (n=5 örnek büyüklüğü için)

	\bar{X}	CL_i	\bar{X}	CU_i
1	99.8	0	99.8	0,14
2	100.6	0	100.6	0.63
3	100.2	0	100.2	0.72
4	100	0	100	0.61
5	99.6	-0.29	99.6	0.098
6	100.4	0	100.4	0.39
7	100	0	100	0.28
8	101.4	0	101.4	1
9	100.8	0	100.8	2,3>1,12
10	100.4	0	100.4	2,6>1,12
11	100.2	0	100.2	2,7>1,12
12	100	0	100	2,6>1,12
13	100.6	0	100.6	3,1>1,12
14	100.4	0	100.4	3,4>1,12
15	99.6	-0.29	99.6	2,9>1,12
16	99.4	-0.78	99.4	2,2>1,12
17	99	-1,67<-1,12	99	1,09
18	100.4	-1,16<-1,12	100.4	1,38>1,12
19	100.2	-0.85	100.2	1,47>1,12
20	99.8	-0.94	99.8	1,16>1,12
21	100.6	-0.23	100.6	1,65>1,12
22	100.8	0	100.8	2,3>1,12
23	100.4	0	100.4	2,6>1,12
24	100.6	0	100.6	3,1>1,12
25	101.2	0	101.2	4,2>1,12
26	100.6	0	100.6	4,7>1,12
27	100	0	100	4,6>1,12
28	100.2	0	100.2	4,7>1,12
29	100.4	0	100.4	5>1,12
30	100.4	0	100.4	5,3>1,12
31	99	-0.89	99	4,2>1,12
32	100.6	-0.18	100.6	4,7>1,12
33	100.4	0	100.4	5>1,12
34	100.4	0	100.4	5,3>1,12
35	100.4	0	100.4	5,6>1,12
36	99.8	-0.09	99.8	5,3>1,12
37	100.4	0	100.4	5,6>1,12
38	100.8	0	100.8	6,3>1,12
39	101	0	101	7,2>1,12
40	100.4	0	100.4	7,5>1,12

6. KAYNAKLAR

1. Akın, B., "Teknik Yayınevi", 150, 1196.
2. Babaarslan, O., Duru, P., "Çukurova Yöresi Pamuğunun Farklı Sistemlerde Eğrilmesi ve Katlanabilirlik Özelliklerinin Araştırılması", *Teknik Rapor*, 32 Sayfa, 1998.
3. Başer, G., "Kalite Kontrolü", *Çağlayan Basımevi*, 89 Sayfa, 1972.
4. Davis, R.D., Kaminsky, F.C., Burke, "Detecting Process Shifts with \bar{X} Charts", *Production and Inventory Management Journal*, 25-30, 1993.
5. Kartal, M., "İstatistiksel Kalite Kontrolü", *Şafak Yayınevi*, 205, 1999.
6. Lee, K.T., Bai, D.S., "Variable Sampling Interval \bar{X} Control Charts with Runs Rules", *International Journal of Industrial Engineering*, 7(2), 147-158, 2000.
7. Montgomery, D.C., "Introduction to Statistical Quality Control", John Wiley & Sons, Inc. 677, (Third Edition), 1997.
8. Murdoch, J., "Control Charts", *Unwin Brother Limited*, 150, 1979.
9. Quesenberry, C.P., "The Effect of Sample Size on Estimated Limits for \bar{X} and X Control Charts", *Journal of Quality Technology*, 25(4), 237-247, 1993.

SAMANDAĞ (ANTAKYA) CİVARININ JEOLJİK İNCELEMESİ

Tolga MISTIK ve Ulvi Can ÜNLÜGENÇ
Ç.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : İnceleme bölgesi, Hatay ilinin batı ve güneybatısında, Antakya ile Samandağ arasında kalan yaklaşık 180 km² lik bir alanı kapsamaktadır. Çalışma alanında temelde, bölgeye Üst Kretase'de tektonik olarak yerleşen allohton konumlu Kızıldağ ofiyolitleri bulunmaktadır. Bunun üzerine uyumsuz olarak Üst Kretase yaşlı otokton konumlu ve başlıca kireçtaşı, killi kireçtaşı, marnlardan oluşan Kaleboğazı formasyonu gelmektedir. Bu birimi, Alt-Orta Eosen yaşlı kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, çörtlü kireçtaşlarından oluşan Okçular formasyonu uyumsuz olarak üzerlemektedir. Orta Miyosen yaşlı resifal kireçtaşları ile temsil edilen Sofular formasyonu daha yaşlı birimler üzerinde açısal uyumsuzlukla yer almaktadır. Sofular formasyonunun üzerine ise Orta Miyosen yaşlı olan; kumtaşı, killi kireçtaşı, kiltası ve marnlarla temsil edilen Tepehan formasyonu uyumlu ve geçişli olarak gelmektedir. Üst Miyosen yaşlı kumtaşı, killi kireçtaşı, marn ve kiltaslarından oluşan Nurzeytin formasyonu, Tepehan formasyonunu uyumlu ve geçişli olarak üzerlemektedir. Bütün bu birimler, Pliyosen yaşlı kumtaşı, killi kireçtaşı, jips ve kiltaslarından oluşan Samandağ formasyonu tarafından açısal uyumsuzlukla üzerlenmektedir. Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ise bütün yaşlı birimler üzerinde açısal uyumsuzlukla yer almaktadır. İnceleme alanında gözlenen ve ölçülen yapısal unsurların değerlendirilmesi sonucu bölgede KD-GB uzanımında bir açılma rejiminin geliştiği sonucuna varılmıştır.

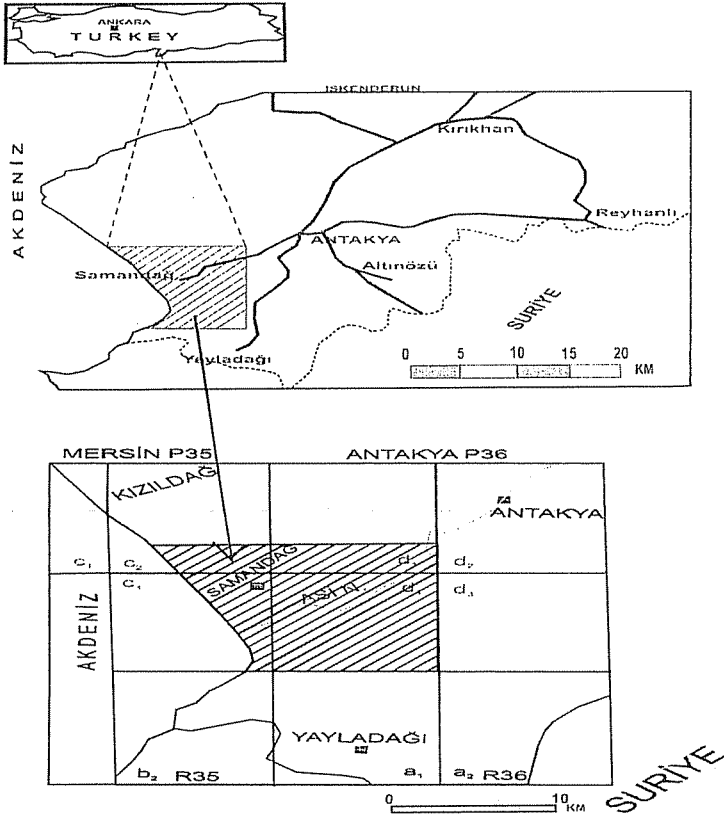
GEOLOGICAL INVESTIGATION OF SAMANDAĞ (ANTAKYA) AND ITS NEAR SURROUNDINGS

ABSTRACT : The investigated area, is located between Antakya and Samandağ villages and covers an area of approximately 180 km square to the west and southwest of Hatay. Allocthonous Kızıldağ Ophiolites, which tectonically emplaced the region during Upper Cretaceous, form the basement. This unit is unconformably overlain by autocthonous Upper Cretaceous age Kaleboğazı formation that mainly comprises limestone, clayey limestone and marls. Lower-Middle Eocene age Okçular formation, which is mainly made up of limestone, sandy limestone and cherty limestone, overlies the Kaleboğazı formation with angular unconformity. Sofular formation is of Middle Miocene in age mainly represented by reef limestone covers the older units with angular unconformity. This unit is transitionally and conformably overlain by Middle Miocene Tepehan formation that is mainly represented by sandstone, clayey limestone,

claystone and marls. Nurzeytin formation is of Upper Miocene in age comprises sandstone, clayey limestone, marls and claystone conformably and transitionally rests on the Tepehan formation. All these units are covered unconformably by Pliocene age Samandağ formation that made up of sandstone, clayey limestone, gypsum and claystone. Quaternary alluviums rest on the all mentioned older units with angular unconformity. NE-SW trending extensional features have been evaluated according to the observed and measured structural elements in the investigated area.

1. GİRİŞ

İnceleme alanı, Doğu Akdeniz bölgesinde yer almakta olup, Antakya ilçesinin batısında bulunan yaklaşık 180 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Bu çalışmada 1/25.000 ölçekli Antakya P 36 d1-d4 ve Mersin P 35 c2-c3 paftalarının dahilindeki (Şekil 1) inceleme alanında yüzeyleyen kaya birimleri ve yapısal unsurlar topoğrafik haritalar üzerine işlenerek bölgenin jeoloji haritası yapılmıştır. Çalışma sahasından alınan numunelerin ince kesitleri değerlendirilerek formasyonlardaki bazı fosil formlar



Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru haritası

tanımlanmıştır. Çalışma alanı ve yakın civarlarında genel jeoloji amaçlı ilk çalışmalar Tehihatceff (1845); Blanckenhorn (1914); Kober (1915); Frech (1916); Stichepinsky (1943); Türkünal (1950); Dubertret (1953); Brown (1959); Bryant (1960); Dean ve Krummenacher (1961); Ketin (1966); Atan (1969); Lahner ve diğ. (1972); Aslaner (1973); Arpat ve Şaroğlu (1975); Selçuk (1981); Tekeli ve Erendil (1984) tarafından yapılmıştır (1). Ayrıca, bölgede levhalar arası alanlarda yüzeyleyen ofiyolit grubu kayalar üzerine de yapılan önemli çalışmalar bulunmaktadır (Wiskerslooth, 1943; Fratschner, 1953; Saydamer, 1966; Vaugant ve Çoğulu, 1967; Bürküt, 1971; Parrot, 1973; Çoğulu, 1973, 1974; Aktürk, 1975; Delaloye ve diğ., 1977; Yalçın, 1980; Tinkler ve diğ., 1981; Erendil, 1984). Tektono-stratigrafik amaçlı çalışmalarda bölgede yüzeyleyen kayaç birimlerine ilk adlamalar Selçuk (1) tarafından uygulanmıştır. Bu çalışmada da Selçuk (1)'un vermiş olduğu adlamalar aynen kullanılmıştır.

Çalışmadaki esas amaç, Samandağ (Antakya) civarının 1/25.000 ölçekli detay jeoloji haritasını oluşturmak, bölgenin stratigrafik istifini ortaya çıkarmak, tektonikle ilişkisini belirlemek ve inceleme alanının jeolojik evrimini ortaya çıkartmaktır. Bu çalışmanın bir diğer önemi de bölgedeki önemli sayılabilecek düzlemsel yapı elemanlarının üzerinde daha hassas çalışma yapılarak bölgede tektonizmanın etki çerçevesinin araştırılmasıdır.

2. BÖLGESEL JEOLojİ VE STRATİGRAFI

Araştırma alanında, Mesozoyik-Senozoyik yaşlı allokton, paraotkton ve otokton konumlu kayaçlar yüzlek vermektedir. Çalışılan bölgenin genel jeolojisini detaylı olarak ortaya koyabilmek için çalışma alanında gerekli stratigrafik-yapısal ölçümler ve gözlemler yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda bölgedeki kaya türleri, oluşum konumları ve tektonik özelliklerine göre allokton, paraotkton ve genç otokton birimler olmak üzere üç grup altında değerlendirilmiştir.

İnceleme alanındaki allokton konumlu birim, bölgeye Geç Kretase'de (Erken-Orta Maestrihtiyen) yerleşen Kızıldağ ofiyolitleri ile temsil edilmekte olup, taban seviyelerde tektonitlerle başlamakta, yukarı doğru volkano-sedimanter kayaçlarla son bulmaktadır. Ofiyolitli kayalar üzerinde transgresif olarak yer alan Üst Kretase yaşlı Kaleboğazı formasyonu paraotkton olarak değerlendirilmiştir (Şekil 2). Kaleboğazı formasyonu başlıca kireçtaşı litolojisi ile temsil edilmektedir. Senozoyik yaşlı otokton birimlerden Alt-Orta Eosen yaşlı Okçular formasyonu başlıca kireçtaşı ile temsil edilmekte olup, Kaleboğazı formasyonunu açısız uyumsuzlukla üzerlemektedir. Bunun üzerine, Orta Miyosen yaşlı resifal kireçtaşları ile temsil edilen Sofular formasyonu da Okçular formasyonu üzerinde açısız uyumsuzlukla bulunmaktadır. Bu birim de başlıca kumtaşları, killi kireçtaşları, kiltaşları ve marnlarla temsil edilen Tepehan formasyonu tarafından geçişli ve uyumlu olarak üzerlenmektedir. Üst Miyosen yaşlı Nurzeytin formasyonu marn, killi kireçtaşları, kumtaşı ile temsil edilmekte olup, diğer Miyosen birimleri üzerinde geçişli ve uyumlu olarak gözlenmektedir. Pliyosen yaşlı jips içeren sedimanter kayaçlar ile temsil edilen Samandağ formasyonu ise bütün birimleri açısız uyumsuzlukla örtmektedir. Kuvaterner yaşlı alüvyonlar inceleme alanı içerisindeki en genç birimler olup, başlıca yuvatlak ve köşeli çakıllı çimentolanmamış konglomera, eskil ve yeni alüvyon, deniz kumları ile temsil edilmekte ve bütün birimleri açısız uyumsuzlukla üzerlemektedir (Şekil 2).

SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	SİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR		
KUVATERNER				Q _{dk}		Deniz kumları		
				Q _{2al}		Alüvyon; kum, kil, çakıl		
				Q ₂		Yuvarlak ve köşeli çakıllı çimentolanmamış konglomera Açısal uyumsuzluk		
	T E R S İ Y E R	P L İ Y O S E N		Samandağ	Pls	Kumtaşı, kilitaşı, killi kireçtaşı, jips Açısal uyumsuzluk		
				M İ Y O S E N	ÜST	Nurzeytin	MÜN	Kumtaşı, killi kireçtaşı, mam, kilitaşı
		ORTA	Tepahan		Mot	Kumtaşı, killi kireçtaşı, kilitaşı, marn		
			Sofular		Mos	Resifal kireçtaşı Açısal Uyumsuzluk		
		P A L E O J E N	E O S E N		ALT-ORTA	Okçular	Eo	Kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı Açısal uyumsuzluk
					K R E T A S E	ÜST	ÜST MAESTRIHTİYEN	Kaleboğazi
		ALT-ORTA MAESTRIHTİYEN	Kızıldağ Ofiyolitleri	Krü			Diyabaz dayk kompleksi, tektonit	

Şekil 2. Samandağ (Antakya) Civarının Genelleştirilmiş Stratigrafi Kesiti.

2.1. Kızıldağ Ofiyolitleri (Krü)

Allokton konumlu olan Kızıldağ ofiyolit kompleksi, Amanos dağlarının güneybatıdaki en son bölümünü oluşturmaktadır. Kızıldağ ofiyolitlerinin stratigrafik olarak gözlenebilir en alt seviyesini istifin % 70'ini temsil eden tektonitler oluşturmaktadır. Çalışma bölgesinde başlıca görüldüğü yerler; Teknepınarı (H 1), Bozuk Tepesi (J 7), Sutaşı (I 9), Tekebaşı (G 11), Karaağaç Tepesi (I 10), Kayabaşı tepesi (L 11)'dir (Şekil 3).

Tektonitlerin ayrıışmış yüzeyi kızıl, kırmızı-bej, taze kırık yüzeyi koyu yeşil renklidir. Serpantinleşmenin çok olduğu yerlerde bu renk daha da açıktır. Tektonitler ince-orta eş taneli dokuya sahiptir. Camsal parlaklıkta ve yeşil zeytin rengindeki olivin kristalleri, parlak olan piroksen kristallerinden kolayca ayrılmaktadır. Serpantinleşme ile birlikte olivinler parlaklığını kaybeder ve matlaşır (1).

Diyabaz dayk kompleksi inceleme alanındaki Kızıldağın güneybatı kesimlerinde mostra vermekte olup, inceleme bölgemizde; Karmuşun Kayası (B 3) ve Kaburluk Mahallesi (B 2) civarlarında yüzlekleri bulunmaktadır. Daykların kalınlıkları birkaç cm' den 2 m' ye kadar değışim göstermekte olup, yeşil-yeşilimsi gri renktedirler. Bu dayklar ani soğumadan dolayı çok ince dokuludur. Daykların genel doğrultusu D-B eğimleri ise genellikle dike yakındır.

2.2. Kaleboğazı Formasyonu (Krük)

Kireçtaşı, killi kireçtaşı ve marnlardan oluşan bu birim, Kaleboğazı formasyonu olarak adlandırılmıştır (1). Çalışma alanında, Antakya P 36 d2 paftasında; Yukarıgüvence (J 16), Aydınbağçe (I 16), Bityen dağı (K 15), Karacurun (L 14), Yarımca (J 16) dolaylarında yayılım göstermektedir (Şekil 3). Kaleboğazı formasyonunun kaya türlerini birbirleriyle yanall ve düşey yönde geçişli olarak bulunan kireçtaşı, killi kireçtaşları ve marnlar oluşturmaktadır. Kireçtaşları beyazımsı krem renkli, sıkı çimentolu, ince taneli ve orta-kalın tabakalanmalıdır. Kırılması köşeli ve kırıntılı, eklem sistemi az da olsa gelişmiştir. Killi kireçtaşları ve marnlar gri, açık yeşil, bej, beyaz renklerde olup ince tabakalanmalı ve kırılmaları çubuğumsudur. Birimdeki genel doğrultu değerleri KD-GB'dır. Kaleboğazı formasyonu Kızıldağ ofiyolitleri üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır (Şekil 4). Formasyonun inceleme bölgesindeki kalınlığı 50-150 metreler arasında değışim sunmaktadır. Kaleboğazı formasyonundaki kireçtaşları fosil bakımından çok fakir olup fosil formlar tespit edilememiştir. Ancak, Selçuk (1) bölgede yaptığı çalışmada birimin Üst Kretase yaşında olduğunu ve birimin çökeltme ortamının derin denizel şartlar altında çökeldiğini belirtmiştir.

2.3. Okçular Formasyonu (Eo)

Kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve çörtlü kireçtaşından oluşan bu birim Okçular formasyonu olarak adlandırılmıştır (1). Çalışma alanında Köken mah. (M 16) ve Sürütme (M 15) civarında yayılım göstermektedir (Şekil 3). Kireçtaşları genellikle gri, taze kırık yüzeyleri beyaz-krem renklidir. İnce taneli, sıkı çimentolu olan kireçtaşları, 15-60 cm kalınlığında oldukça belirgin tabakalanma göstermektedir. Kumlu kireçtaşlarına da kireçtaşları seviyeleri içerisinde yer yer mercek bazen de ara seviyeler şeklinde rastlanmaktadır. Çörtlü kireçtaşları, tabanda tabakalanmaya az çok paralel çört bantları ve sileks yumruları şeklinde bulunmaktadır. Çörtlü kireçtaşlarının mikroskop incelemesinde mikrogranüler kalsitten meydana geldiği görülmüştür. Alt-Orta Eosen yaşlı Okçular formasyonu, Kaleboğazı formasyonu üzerine açısal uyumsuzlukla yer almaktadır (Şekil 4). Okçular formasyonunun inceleme bölgesindeki kalınlığı 200-320 m. arasında değışmektedir (1). Okçular formasyonu mikro ve makro fauna bakımından oldukça zengin olup, genellikle sığ denizel ortam şartlarını yansıtmaktadır.

2.4. Sofular formasyonu (Mos)

Başlıca resifal nitelikli kireçtaşlarından oluşan bu birim ilk olarak Sofular formasyonu olarak tanımlanmıştır. Çalışma alanımızda Mersin P 35 c2 paftalarında Çatal Tepe (E 1), Boztepe (C 3), Yurt Tepe (C 3); Antakya P 36 d4 paftasında, Yeşilyazı mahallesi (K 9), Meydan (G 14), Nahrılı (K 7), Çakırcöy (J 14), Samandağ (J 7) dolaylarında yayılım sunmaktadır (Şekil 3). Sofular formasyonunu oluşturan resifal kireçtaşlarının ayrışmış yüzeyi rengi gri, taze kırık yüzeyi krem ve beyaz renkli olup, belirgin tabakalanmalıdır. Oldukça iyi çimentolu, kırılması köşeli, erimeli, kırılma yüzeyi pürüzlü, bol gözenekli ve belirgin katmanlanmalıdır. Sofular formasyonu Okçular formasyonu üzerinde açışal uyumsuz olarak yer almaktadır (Şekil 4). Sofular formasyonunun kalınlığı bölgede 75–100 metre arasında değişmektedir (1). Sofular formasyonu da makro ve mikro fosiller bakımından oldukça zengindir. Mikro fosil olarak; pelajik ve bentik foraminiferler, pelecypod, kırmızı alg, bryozoa, ostrakod kavkuları bulunmaktadır. Sofular formasyonunun sedimanları, sığ denizel kıyı resifi ortamında çökelmiş olmalıdır.

2.5. Tepehan Formasyonu (Mot)

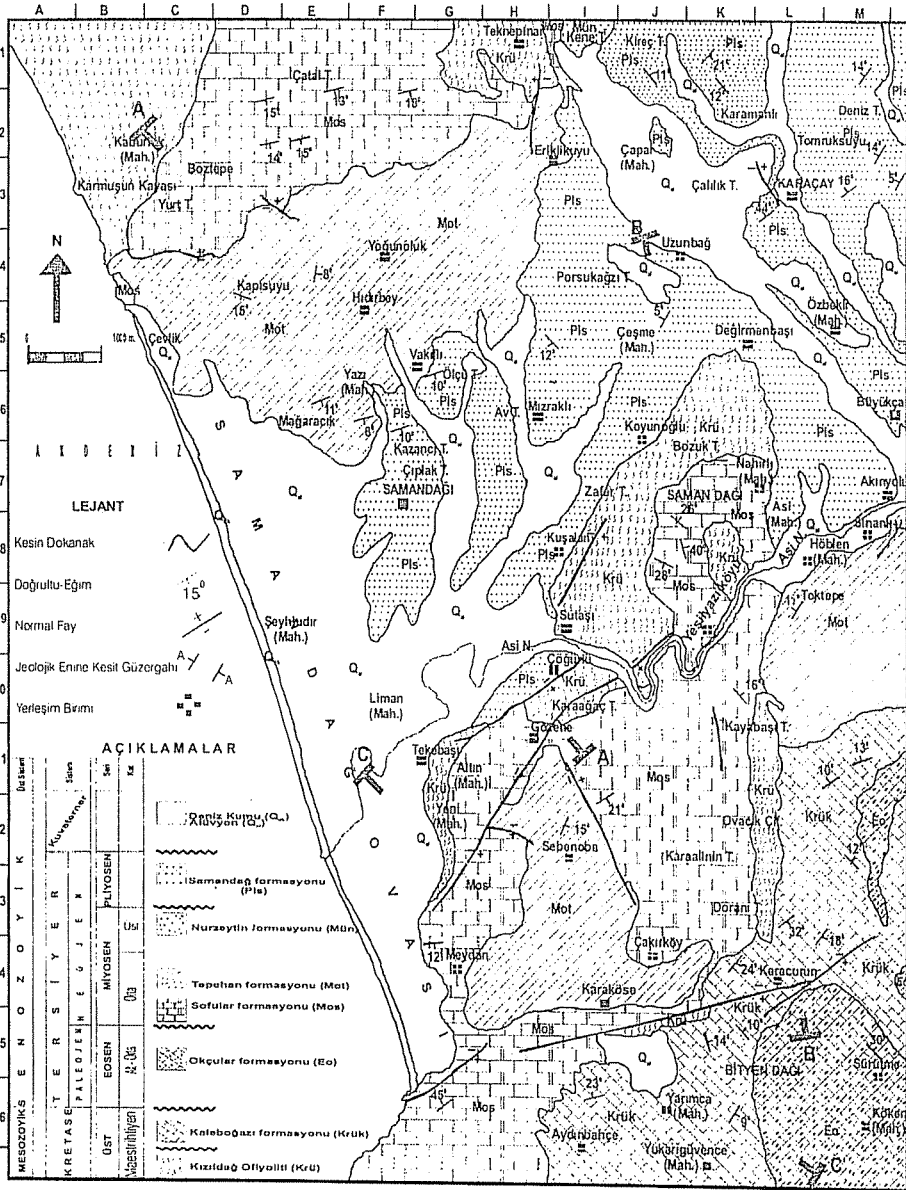
Kumtaşı, killi kireçtaşı, kiltası ve marnlardan oluşan bu birim ilk kez Selçuk (1) tarafından Tepehan formasyonu olarak tanımlanmıştır. Orta Miyosendeki en geniş yayılıma sahip olan Tepehan formasyonu çalışma alanında Hıdırbey (F 4), Yoğunluk (F 4), Kapsuyu (D 4), Mağaracık (E 6), Sebenoba (I 12), Karaköse (I 14), Toktepe (L 9) dolaylarında mostralr gösterir (Şekil 3).

Kumtaşları; açık gri, boz ve bej renkli, orta–kalın tabakalı, genellikle gevşek, yer yer de sıkı CaCO_3 çimentoludur. Tane büyüklükleri 0,01–0,2 mm arasındadır. Killi kireçtaşları; bej, boz renkli, orta tabakalı, ince taneli, az gözenekli ve bol fosillidir. Kiltası; açık gri, yeşilimsi kül renginde, ince tabakalı, laminalı, yer yer kumlu, siltli ve kireçli, az gözenekli, kırılması çubuğumsu ve bitki izlidir. Marn; beyaz, kirli beyaz, yeşilimsi, yer yer sarımsı beyaz renkli, orta tabakalı, bazen belirgin tabakalanmasız, ince taneli ve oldukça karbonatlıdır. Tepehan formasyonu. Sofular formasyonu üzerinde yanal ve düşey geçişli olarak yer almaktadır (Şekil 4). Tepehan formasyonunun kalınlığı 200–500 metre arasında değişmektedir (1). Tepehan formasyonunu fosil faunası zengin olup birimin alt seviyelerinde bentik foraminiferler bol olup üste doğru pelajik foraminiferler artmakta ve başlıca mikro fosil olarak; *textularia* sp, *bryozoa*, pelecypod kavki parçaları, kırmızı alg ve ostrakodlar bulunmaktadır. Tepehan formasyonunun kayaçları taban kesimlerde, önce sığ sonra giderek derinleşen, sığ–açık deniz ortamında çökelmiş olmalıdır.

2.6. Nurzeytin Formasyonu (Mün)

Kumtaşı, killi kireçtaşı, marn ve kiltasından oluşan bu birim Nurzeytin formasyonu adı ile tanımlanmıştır.(1) Nurzeytin formasyonu çalışma alanında Antakya P 36 d1 paftasında Kene Tepe (I 1) dolaylarında yüzeylenmektedir (Şekil 3).

Kumtaşları; açık gri, bej, açık kahve rengi, katmanlanması düzenli, yer yer demir oksitli, genelde gevşek çimentolu ve iyi boylanmalıdır. Killi kireçtaşları; kirli beyaz, krem renkli, az gözenekli, kırılması çubuğumsu ve bol fosillidir. Marnlar; açık gri, yeşilimsi, açık kahverenkli, ince tabakalı, tabaka kalınlıkları 2–10 cm arasında ve yer



Şekil 3. Samandağ (Antakya) Civarının Jeoloji Haritası.

yer laminalı, gözeneksiz, bitki izli ve bol fosillidir. Kiltaşları; açık kahverenkli, ince-orta tabakalanmalı, ince taneli, az gözenekli ve bol fosillidir. Nurzeytin formasyonu. Tepelian formasyonu üzerinde yanal ve düşey geçişli olarak yer almaktadır (Şekil 4). Nurzeytin formasyonunun kalınlığı 300-500 m arasında değişmektedir (1). Nurzeytin

formasyonu makro ve mikro fosil faunası bakımından oldukça zengindir. Litolojik özellikleri ve fosil içeriğine göre Nurzeytin formasyonunu sığ açık denizel ortam şartlarında çökelmiş olmalıdır.

2.7. Samandağ Formasyonu (Pls)

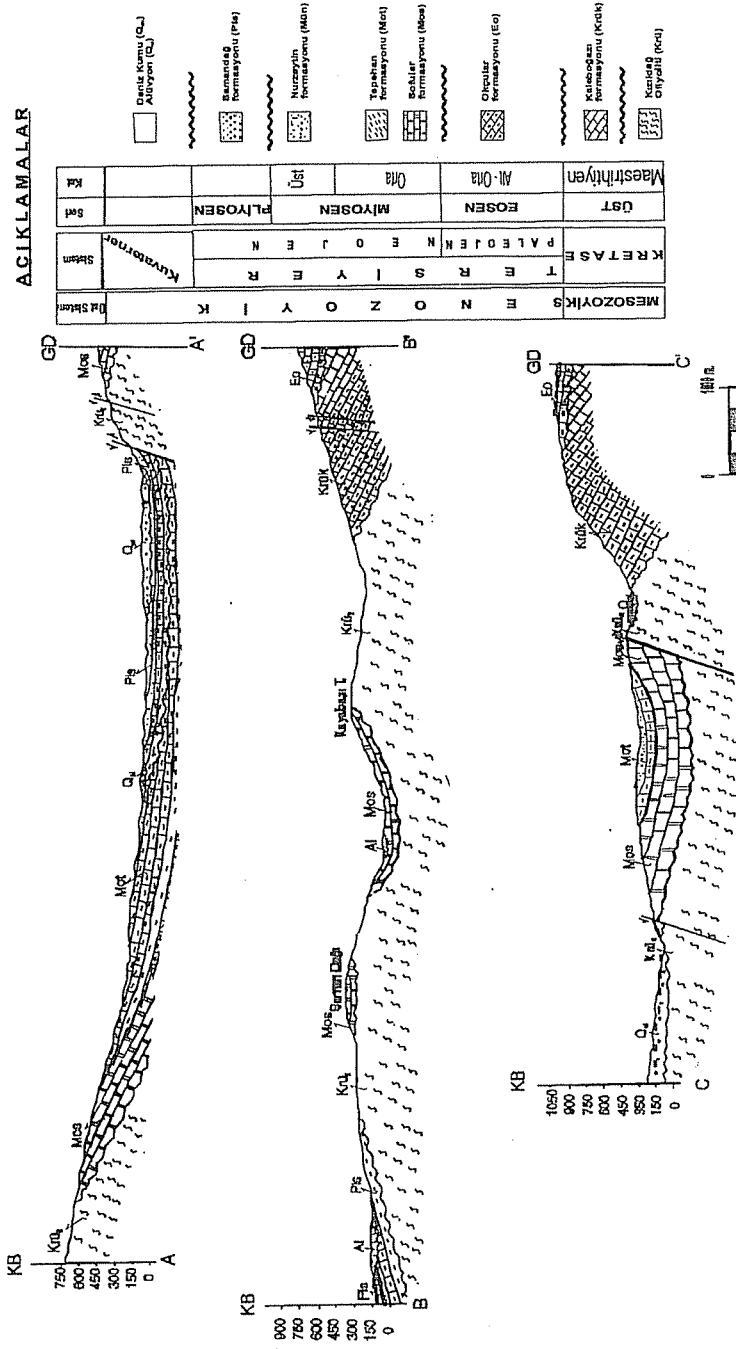
Kumtaşı, killi kireçtaşı, jips ve kilttaşlarından oluşan bu birim Samandağ formasyonu adı ile tanımlanmıştır (1). Çalışma alanında Akdeniz kıyısında Samandağ'dan başlayarak; Kuşalanı (I 8), Mızraklı (H 6), Koyunoğlu (J 6), Karamanlı (K 2), Tomruksuyu (L 2), Büyükçat (M 6), Değirmenbaşı (K 5) ve Çöğürlü (I 10) dolaylarında yüzlekleri bulunmaktadır (Şekil 3). Formasyon içerisinde litolojik olarak en geniş yayılımı kumtaşları göstermektedir. Kumtaşları; sarımsı, kahverengi, açık gri, kırmızımsı kahverenkli, ince-kalın tabakalı (10–70) cm olup, taneler iyi yuvarlaklaşmış ve boylanması iyidir. Birim üstte doğru giderek incelmekte ve yukarıda sarımsı-krem renkli ince-orta tabakalı killi kireçtaşları ve en üstte jips mercikleri içeren kilttaşlarına geçmektedir. Samandağ formasyonu kendisinden yaşlı formasyonlar üzerine transgresif olarak gelmektedir (Şekil 4). Formasyonun kalınlığı 100–400 m arasında değişmektedir (1). Samandağ formasyonu makro fauna bakımından çok zengin olup, bölgede tanımlanan fosiller (*Rotalia* sp., *Textularia* sp., *Amphistegina* sp., Miliolidae, *Heterostegina* sp., *Globigerina* sp., *Elphidium* sp., *Operculina* sp., *Peneroplis* sp., Rotalidae) çok iyi korunmuştur. Samandağ formasyonunun çökeltme ortamının oldukça sığ denizel koşullarının hüküm sürdüğü bir ortamda çökelmiş olduğu söylenebilir.

2.8. Kuvaterner

Bölgedeki en genç çökellere ait birimler oldukça geniş alanlarda yüzeylemektedir. Samandağ ovası, Akdeniz kıyısı ve akarsu yataklarında geniş yayılımları bulunmaktadır (Şekil 3). Kuvaterner birimleri başlıca konglomera, alüvyon ve deniz kumlarından oluşmaktadır. Yuvarlak ve köşeli çakıllı çimentolanmamış konglomera Antakya P 36 d1 paftasında Büyük Karaçay'ın KD'sunda yayılım göstermektedir. Konglomera içerisinde bölgedeki tüm kayaçların çakıllarını görmek olanaklıdır. Bu çakılların çoğunluğu iyi yuvarlaklaşmış olup, yer yer köşeli çakıllarda içermektedir. Çimentolanma yok denecek kadar az olup, matriksini kum, kil ve kırıntılı malzemeler oluşturmaktadır. Birimin kalınlığı maksimum 20 m. dir (1). Alüvyon; çalışma alanında oldukça geniş alanlarda yüzeylemektedir. Akdeniz kıyısında, Samandağ Ovası dolaylarında yayılım göstermektedir. Bunun dışında akarsu yataklarında da alüvyonlara rastlanmaktadır. Deniz kumları; Akdeniz kıyısı boyunca görülmele beraber iyi yuvarlaklaşmış ve yıkanmışlardır.

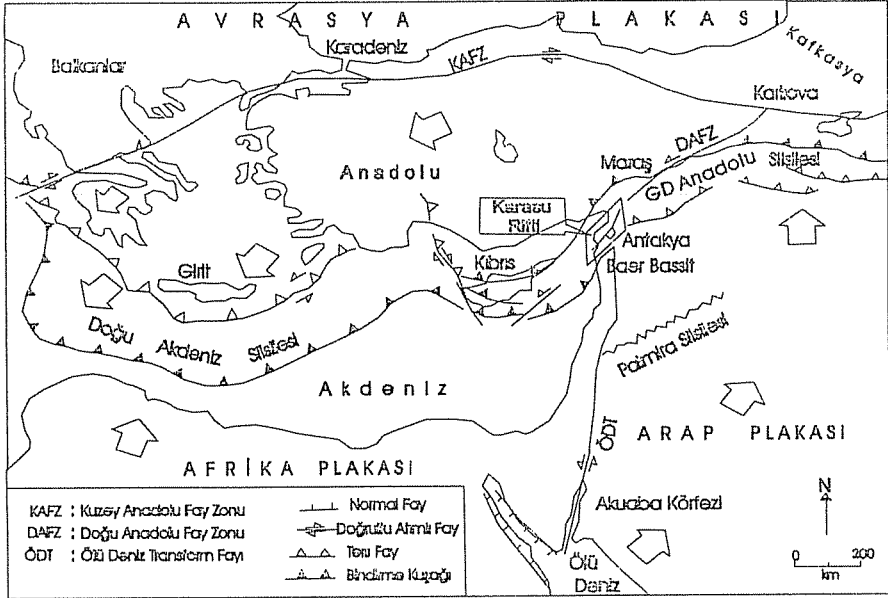
3. YAPISAL JEOLJİ VE TEKTONİK

İnceleme alanı, Anadolu levhacığının güney kesimi ile Afrika ve Arap plakalarının ara kesimindeki üçlü birleşme bölgesi civarında yer almaktadır. Arap ve Afrika plakasının kuzeye doğru göreceli hızla hareketleri, Anadolu bloğunun batıya doğru kaçmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla çalışma alanı bu üç levhanın kenet kesiminde önemli bir tektonik yerleşmeye sahiptir (Şekil 5). Bölge Alpin orojenez sistemi içerisinde yer almaktadır. Hatay grabeni transform nitelikli Ölüdeniz fay (ÖFZ) zonunun en kuzey segmenti ile sol yanal doğrultu atımlı Amanos fay zonunun en güney



Şekil 4. Çalışma alanından alınmış jeolojik enine kesitler.

segmenti arasındaki ortak etki alanı içinde kalmaktadır (2). Bu tektonik zonlar Arap-Afrika levhaları ile Anadolu bloğunun birbirleri ile olan göreceli hareketlerine bağlı olarak gelişmiştir (Şekil 5). Yaklaşık 1000 km. uzunluğunda olan Ölüdeniz Fay zonu (ÖFZ) Kızıldeniz-Aden körfezi'nden başlar, Türkiye'nin güneyine kadar uzanır ve kuzey kesimde inceleme alanının doğusunda yer alan Karasu Grabeni tarafından sınırlanır (2). Ölüdeniz Fay Zonu; K-G uzanımlı transform fay niteliğinde olup, aynı zamanda Arap ve Afrika levhalarının sınırını belirlemektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Doğu Akdeniz'in temel neotektonik elemanları (2).

Çalışma alanında yüzeyleyen birimler genelde K-KD, G-GB yönünde uzanımlar sunmaktadır. Ortalama tabaka eğimleri 15° - 45° arasında değişmektedir. Bölge K-G yönlü Afrika-Arap plakasının birleşme hattı üzerinde yer aldığından bölgede yer alan büyük faylar K-G yönünde uzanmaktadır (1). Üst Kretase'de bölgeye yerleşen Kızıldağ ofiyolitlerinin sedimanterlerle olan dokanağı uyumsuzdur. İnceleme alanında KB-GD doğrultulu birbirine paralel olarak gelişmiş doğrultu atımlı faylar ve bu faylara bağlı olarak gelişen derelerde yuvarlak veya köşeli çakıllı çimentolanmamış konglomeralar izlenmektedir. Afrika-Ölüdeniz-Karasu fay zonu etkisi altında kalan bölgede, Jura'dan Kuvaterner'e kadar olan bütün kaya birimlerinde kırıklı bir yapı gelişmiştir. Etkin olarak gözlenen K-G ve KD-GB uzanımlı faylar bölgede Kızıldağ ofiyolitlerinin bölgeye Alt-Orta Maestrihtiyen zaman aralığında yerleşmesinden sonra oluşmuştur. Bu uzanım Afrika-Ölüdeniz-Karasu riftine paraleldir. Dünyanın en uzun kıtasal fay sistemlerinden birisi olan bu fay zonu Kızıldağ ofiyolitlerinin yerleşmesinden sonra Kızıldağ ofiyolitlerini etkileyerek bugünkü konumunu ve yapısal özelliklerini

kazanmasını sağlamıştır (1). Üst Maestrihtiyen sonrası–Pliyosen öncesi normal fayların gidişleri K–G ve KKD–GGB’dir. Fay düzlemlerinin eğimi çoğunlukla 55°–90° arasında değişmektedir. Bu faylar temelden genç birimlere kadar bütün formasyonları da kesmektedirler.

İnceleme bölgesi, Hatay bölgesinin güney-güneydoğu kesiminde yer alan Ölüdeniz fay zonu (ÖFZ) ve kuzey doğudaki Amanos fayının tektonik izlerini taşımaktadır. Bu iki tektonik kuşak arasında yer alan Amik havzası, yaklaşık 30 km. genişliğe sahip olup. Pliyo–Kuvaterner yaşlı çökellerle (3) veya daha genç çökellerle temsil edilmektedir (4). Amik havzasının oluşumu konusunda bazı araştırmacılar, iki sol yanal doğrultu atımlı fay segmenti arasında gelişen bir çek–ayırtı tipi havza modelini savunmaktadırlar (5, 3). Bu görüşe karşıt olarak, Muehelberger (6) ile Perinçek ve Çemen (7) ise havzanın bir çöküntü sistemi içerisinde geliştiğini vurgulamaktadırlar. Amik havzası boyunca elde edilen sismik yansıma profillerinden izlenen ve havzayı sınırlayan normal fayların varlığı da, havzanın G–GB’ya doğru bir açılma ile geliştiğini göstermektedir (7). Havzanın güney kesimindeki fay topluluğu analizleri, havzanın güney kesiminde KD–GB doğrultusunda bir açılma rejiminin varlığını ortaya koymaktadır (3, 8). Hatay bölgesinde, depremlerin odak mekanizmalarının ters çözümü sonucunda elde edilen günümüz gerilme durumu, doğrultu atım bileşenine sahip olan normal faylanma rejimi şeklindedir (8, 9). Bunun yanı sıra, günümüzde etkili olan bu rejimin Pliyo–Kuvaterner’de aynı şekilde devam etmemiş olduğu da görülmektedir. Kayma vektörlerinin ters çözüm işlemi ve kayma vektörlerinin birbirlerini kesmeleri sonucunda saptanan zamansal ilişki, Antakya ve civarında etkin gerilme rejiminin doğrultu atımlı rejimden, açılma rejimine doğru değiştiğini göstermektedir (8, 9). Eosen yaşlı kireçtaşlarından güncel çökelere kadar tüm formasyonları etkileyen bu rejimler, bir yandan eski fay sistemlerini yeniden harekete geçirirken, diğer taraftan yeni fay sistemlerini de oluşturmaktadır. KD–GB yönelimli ve KB–GD eksenleri ile temsil edilen doğrultu atımlı gerilme rejimi, Doğu Anadolu fayı ile Ölüdeniz fayı üzerinde sol yönlü doğrultu atımlı hareketi sağlamaktadır (8, 9).

4. SONUÇLAR

1. Bölgedeki Üst Kretase yaşlı Kızıldağ Ofiyoliti allohton. Kaleboğazı formasyonu paraotokton, diğer tüm birimler otokton konumdadır.

2. Bölgedeki otokton birimler Üst Maestrihtiyen-Pliyosen yaş aralığındadır. Otokton birimlerin ofiyolit yerleşmesinden sonra yaşlı birimleri transgresif olarak örten sedimanlardan oluştuğu saptanmıştır.

3. Arap ve Afrika levhaları Geç Kretase’den beri Doğu Akdeniz bölgesinde Avrasya levhasına doğru bir yaklaşıma sebep olmuştur. Arabistan ve Avrasya plakaları arasındaki çarpışma sonucunda, Anadolu bloğu, Afrika levhası üzerindeki Doğu Akdeniz sırtına göre batıya doğru hareket etmektedir. Bölgedeki etkin sıkışma yönü KB–GD yönlüdür.

4. Çalışma alanında yüzeyleyen Miyosen yaşlı birimler sığdan, derin denize kadar değişen denizel ortam şartlarında çökelmişlerdir.

5. TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmasını kapsayan bu çalışmada Jeoloji Bölüm olanaklarını sağlayan Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Fikret İŞLER'e, yazının kritiğini yapıp katkı koyan Prof. Dr. Cavit DEMİRKOL ve Doç. Dr. Erol ÖZER'e, çizim çalışmalarına yardımcı olan Jeoloji Mühendisi Mustafa KAVUZLU'ya teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Selçuk,H., "Kızıldağ-Keldağ-Hatay Dolayının Jeolojisi ve Jeodinamik Evrimi", *M.T.A. Rap.No.7787*, 1985.
2. Rojay,B., Heimann,A., Toprak,V., "Neotectonic and Volcanic Characteristics of the Karasu Fault Zone (Anatolia, Turkey): The Transition Zone Between the Dead Sea Transform and the East Anatolian Fault Zone", *Geodinamica Acta*, 14 (1-3), 197-212, 2001.
3. Lyberis,N., Yürür,T., Chorowicz,J., Kasapoğlu,E. ve Gündoğdu,N., "The East Anatolian Fault: an oblique collisional belt", *Tectonophysics*, 148, 1-15, 1992.
4. Perinçek,D. ve Eren,A.G., "Doğrultu Atımlı Doğu Anadolu ve Ölü Deniz Fay Zonları Etki Alanında Gelişen Amik Havzasının Kökeni", *Türkiye 8.Petrol Kongresi*, 180-191, 1990.
5. Güllen,L., Barka,A. ve Toksöz,M.N., "Kıtaların Çarpışması ve İlgili Kompleks Deformasyon: Maraş Üçlü Eklemi ve Çevre Yapıları", *Yerbilimleri*, (14): 319-336, 1988.
6. Muehlberger,W.R., "The Splintering of the Dead Sea Fault Zone in Turkey", *Yerbilimleri*, (8):123-130, 1981.
7. Perinçek,D., ve Çemen,İ., "The Structural Relationship Between the East Anatolian and Dead Sea Fault Zones in Southeastern Turkey", *Tectonophysics*, (172): 331-340, 1990.
8. Över,S. Ünlügenç,U.C., Özden,S., 2001. "Hatay Bölgesinde Etkin Gerilme Durumları", *Yerbilimleri*, (23):1-14, 2001.
9. Över,S., Ünlügenç,U.C., Bellier,O., "Quaternary Stress Regime Change in the Hatay Region (SE Turkey)", *Geophys., J. Int.*, 148, 649-662, 2002.

CEYHAN BEJİ (CEYHAN-ADANA) KİREÇTAŞI MERMERLERİNİN TEKNOMEKANİK ÖZELLİKLERİ

Nuri LAÇINBALA

Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana/Türkiye

Mesut ANIL

Ç.Ü., Maden Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Son yıllarda inşaat sektöründe gerek iç piyasada gerek dış piyasada mermer çeşitlerine olan talep hızla artmaktadır. Bu nedenle, Adana ili Ceyhan ilçesi bej renkli kireçtaşı mermerlerinin teknomekanik özelliklerini belirlemek amacı ile çeşitli deneyler yapılmıştır. İncelemeler sonucunda Ceyhan yöresi bej renkli kireçtaşı mermerlerinin TSE standartlarına göre limit değerler üzerinde olduklarından yapı elemanları olarak kullanılabilceği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler : Mermer, Ceyhan beji, Teknomekanik özellikler.

DETERMINATION OF TECHNOMECHANICAL PROPERTIES OF CEYHAN BEIGE (CEYHAN-ADANA) LIMESTONE MARBLES

ABSTRACT : Recently, the demand for the marble types in both internal and external markets has been increasing rapidly. For this reason, the beige limestone marbles of Ceyhan-Adana were examined to determine their technomechanical characteristics. As a result, the beige limestone marbles of Ceyhan can be used to natural building materials which are above the limit values according to TSE standards.

Key words : Marble, Ceyhan beige, technomechanical characteristics.

1. GİRİŞ

Mermerler, eski devirlerden günümüze kadar çok çeşitli alanlarda: taşıyıcı yapı elemanı (kolon, sütun, giriş ve sarak), taşıyıcı konsol ve merdiven basamağı, duvar kaplaması, taban kaplaması, çatı kaplaması, tezgah-masaüstü, iç dekorasyon ve plastik sanatlar-heykel ve büst yapımı gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Piyasaya yeni sunulacak olan mermerler değerlendirilirken renk, cila alma yeteneği ve sertlik temel unsur olarak göz önüne alınmakta, diğer önemli teknomekanik özellikler test edilmemekte ve sadece deneme yanılma yöntemi ile piyasada pazar kapma önemsenmektedir. Yapılan bu uygulamalar ekonomiye olumsuz bir külfet getirmekte ve mermerlerimizin tam olarak değerlendirilememesinden kaynaklanan maddi değer kaybına da neden olmaktadır. Mevcut mermer rezervlerimizin efektif olarak işletilebilmesi için mermer tipleri bilimsel olarak analiz edilmeli ve uygun kullanım alanları belirlenmelidir.

Yapılan çalışma ile, Ceyhan (Adana) yöresinden alınan kireçtaşı mermer örnekleri TS 699, TS 1910 ve TS 2513'a göre laboratuvar ortamında deneylere tabi tutulmuş ve bu kireçtaşı mermerlerinin fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri belirlenerek uygun kullanım alanları ortaya çıkarılmıştır (1-3).

2. MİNERALOJİK-PETROGRAFİK VE TEKNOMEKANİK ÖZELLİKLER

Ceyhan Beji kireçtaşı mermeri litolojik olarak Tersiyer yaşlı dolomitik kireç taşıdır. Kireçtaşı tabakaları K42B doğrultulu, 20°-30° KD'ya ve 30°-36° GB'ya eğimli olup bu tabakalar bir antiklinal meydana getirmiştir. Kireçtaşı tabakalarında bu kıvrımlanmaya bağlı gerilim çatlakları oluşmuştur. Genellikle çatlaklar devamsız, seyrek ve birbirlerine paralel olup ikincil kalsit mineralleri ile dolmuştur. Çatlaklar boyunca az da olsa demir oksit kristalleri görülmektedir (4-6).

Ceyhan beji mermerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için Ceyhan İlçesi Küçük Burhaniye Köyü sınırları içinde bulunan Ceymer Mermer Ocağından alınan numuneler Ceymer Mermer Fabrikasında standartlara uygun hazırlanmıştır.

Standartlara uygun olarak hazırlanan numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Kaya ve Zemin Mekaniği Laboratuvarına getirilerek TS 699, TS 1910 ve TS 2513 standartlarına uygun olarak belirlenmiş ve bulunan sonuçlar yorumlanmıştır (1-3).

2.1. Mineralojik-Petrografik Özellikler

İnceleme alanından alınan kireçtaşı mermer örneklerinden hazırlanan ince kesitler Mikroskopik yöntemlerle kireçtaşlarından dolomit ve demir bileşiklerini ayırt etmek amacıyla Alizerin Red-S yöntemiyle boyama işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 1'den görüldüğü üzere kesitlerde bulunan mineraller mavi renkle boyanmadığı için demir ve dolomit minerallerinin kullanılan örneklerde bulunmadığı anlaşılmıştır. Kireçtaşlarının rekristalize özellikte olduğu ara çatlaklarda ise kalsit kristalleri bulunduğu belirlenmiştir.



Şekil 1. Ceyhan Beji kireçtaşı mermerlerinin petrografik incelemeleri

2.2. Teknomekanik Özellikler

İnceleme alanından alınan TS 699'a göre hazırlanan Ceyhan Beji kireçtaşı mermer örnekleri üzerinde fiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik olarak birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, ağırlıkça su emme oranı, görünür porozite, doluluk oranı ve sertlik deneyleri yapılmıştır. Deneyler her iki kireçtaşı mermer grubundan hazırlanan 10'ar örnek üzerinde gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçların ortalaması Tablo 1'de verilmiştir (7).

Kireçtaşı mermerlerin mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik olarak yapılan eğilme dayanımı, darbe dayanımı, tek eksenli basma dayanımı ve aşınma dayanımı deneylerinde kullanılan mermer tiplerinden elde edilen sonuçların ortalaması ise yine Tablo 2'de verilmiştir.

TS 1910'a göre mermerlerin en az $2,55 \text{ gr/cm}^3$ birim hacim ağırlığında olması gerekmektedir. Yapılan hesaplamalara göre Ceyhan Beji $2,65 \text{ gr/cm}^3$ birim hacim ağırlığı ile standartlara uymaktadır.

Az su emen mermerler binaların dış kaplamaları için idealdir. Aynı standartlara göre mermerlerde atmosfer basıncı altında ağırlıkça su emme % 0,75'den az olmalıdır. Yapılan sayısal hesaplamalara göre Ceyhan beji % 15 ile standartlara uygundur.

Gözenekliliğin çok olması su emme yoluyla renk bozulmalarına ve donma ile çatlamalara neden olabilmektedir. Porozitenin artmasıyla mermerin atmosfer etkilerine mukavemeti azaltmaktadır. İyi kalitede olan mermerlerde gözeneklilik %0,0002-%0,5 arasında değişir. TS 1910'a göre kaplama olarak kullanılan doğal taşlarda gözeneklilik

%2'yi geçmemelidir. Yapılan deneysel hesaplamalara göre Ceyhan beji mermerlerinin görünür porozitesi Türk standartlarına uygundur.

TS 1910'a göre basınç değerinin en az 400-500 kg/cm² olması gerekmektedir. Elde edilen verilere göre, Ceyhan beji kireçtaşı mermerinin tek eksenli basınç dayanımı ortalama 898 kg/cm² olarak bulunmuştur.

Darbe dayanımı, standart boyutlardaki mermer belirli bir doğrultuda gelen darbelere karşı gösterdiği dirençtir. TS 2513'e göre darbe dayanımı 6 kg/cm³'den küçük olmamalıdır. Yapılan deneyler ve hesaplar sonucunda Ceyhan beji mermerinin dayanımı istenen özelliktedir.

Tablo 1. Ceyhan Beji kireçtaşı mermerlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel Özellikler	
Birim hacim ağırlık (g/cm ³)	2,65
Özgül ağırlık	2,66
Ağırlıkça su emme oranı (%)	0,15
Görünür porozite (%)	0,40
Doluluk oranı (%)	99,62
Mohs sertliği	3
Mekanik Özellikler	
Tek eksenli basma dayanımı (kg/cm ²)	898
Eğilme dayanımı (σ_{ca} kg/cm ²)	192
Brezilian çekme dayanımı (kg/cm ²)	99
Aşınma dayanımı (cm ³ /cm ²)	0,16
Darbe dayanımı (kgcm/cm ³)	14,6

3. SONUÇLAR

Çalışma konusu olan Ceyhan Beji mermerlerinin sedimanter kireçtaşı mermerleri olduğu tespit edilmiştir. Ceyhan Beji mermerlerinin blok verebildikleri, mermer bloğundan 2 ve 3 cm kalınlığında mermer levhalar alınabildiği ve çok iyi cila tutarak parlama özelliği gösterdiği saptanmıştır.

Petrografik incelemeler neticesinde kireçtaşı mermerlerinin kalsit mineralinden oluştuğu, sertliğini etkileyecek kuvar mineralinin az olduğu ve taneler arasında boşlukların bulunmadığı görülmüştür.

Ceyhan bejinin görünür porozitesi % 0,40 olarak tespit edilmiştir. Kayaçların porozitelerine göre sınıflandırılması esas alındığında Ceyhan Bejinin az, boşluklu bir yapısı olduğu saptanmıştır.

Ceyhan Bejinin eksenli basınç direnci 898 kg/cm² olarak tespit edilmiştir. Kayaçların tek eksenli basınç direncine göre sınıflandırılması esas alındığında Ceyhan Bejinin orta dirençli oldukları saptanmıştır.

Eğilme dayanımı Ceyhan Bejinde 192 kgf/cm² olarak tespit edilmiştir. Eğilme dayanımı TS 2513'e göre 40 kgf/cm²'den küçük olmamalıdır. Ceyhan Beji mermerlerinin eğilme dayanımı değerleri standartların üzerinde tespit edilmiştir.

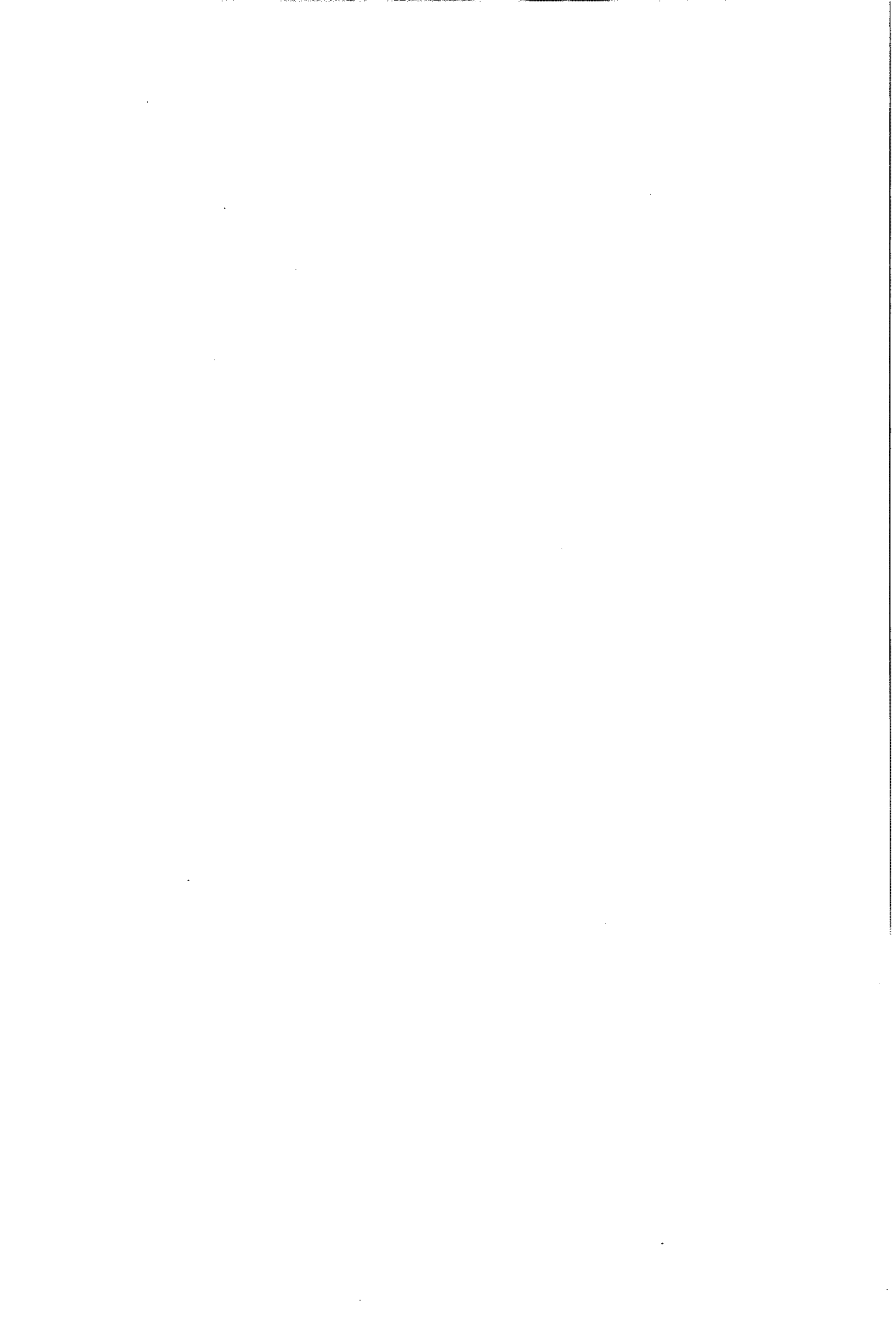
Aşınma dayanımı Ceyhan Bejinde 0,16 cm/50 cm² olarak tespit edilmiştir. Sürtünme ile aşınma TS 2513'e göre 0,250 cm/50 cm²'den fazla olmamalıdır. Ceyhan Beji

mermerlerinin aşınma dayanımı standartların üzerinde olduğu saptanmıştır. Fizikomekanik deneyler ile elde edilen tüm değerlerin standartlarca saptanan ait değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan incelemeler sonucunda Ceyhan Beji mermerlerinin blok verebildiği, teknolojik özellikleri açısından bir sorun olmadığı, açık bej, pembe bej ve koyu bej renk karışımıyla renk ve desen durumu iyi olduğundan doğal yapı ve kaplama taşı olarak kullanılabileceği saptanmıştır.

4. KAYNAKLAR

1. TS 699 , "Tabii Yapı Taşları-Muayene ve Deney Metotları" , 82, 1987.
2. TS 1910, "Kaplama Olarak Kullanılan Doğal Taşlar" , 7, 1977.
3. TS 2513, "Doğal Yapı Taşları" , 6, 1977.
4. Özgül,N., "Torosların Bazı Temel Özellikleri" , TJK Bülteni, 19.1.65-78, 1976.
5. Yetiş,C., Demirkol,C., "Detailed Geological Investigations of the Western Side of the Adana Basin" , Miner. Res. Explor. Inst. Rap. No: 8037- 8037a, 1986.
6. Yetiş,C., "Reorganization of the Tertiary Stratigraphy in the Adana Basin" , Southern Turkey: Newsl. Stratigr. 43-58, 1988.
7. Laçınbala,N., "Ceyhan Beji Mermerlerinin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi" , Ç.Ü. Fen Bil. Enst. Y. Lisans Tezi, s.64, Adana, 2004.



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 aydıngeçer kağıdına 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 * işareti 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. Özeten 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

Osmaniye İli Agregalarının Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi <i>Investigation of Engineering Properties of the Aggregates in Osmaniye</i> Hanifi BİNİCİ, İsmail Hakkı ÇAĞATAY	137
Betonarme Yapıların Perde Takviyesi ile Güçlendirilmesi <i>Strengthening of RC Buildings by Adding Shear Walls</i> M. Serhat KÖRLÜ, İbrahim Ö. DENEME, Hüseyin R. YERLİ	149
Segman Yerleştirilmiş Borularda Isı Transferi ve Basınç Kaybının Sayısal Analizi <i>Numerical Heat Transfer Enhancement in Pipes with Ring Inserts</i> Orhan BÜYÜKALACA, Hakan AKGÜN	159
Merkezi İklimlendirme Santrallerinde Soğutma Serpantini Yüzey Sıcaklığının Matematiksel İfadesi <i>Mathematical Expression of the Cooling Coil Surface Temperature at the Central Station Air Handling Unit</i> Mehmet Azmi AKTACİR, Alper YILMAZ	169
Hava Kirliliği Dağılımının Belirlenmesinde ISCST3 Model Programının Kullanımı: AÇS Örneği <i>The use of ISCST3 Model Program for Determination of Air Pollution Distribution: A Case Study for AÇS</i> Ahmet ATLI, Ahmet YÜCEER ve Fuat BUDAK	177
Bazık Mavi 41 Boyar Maddesinin Canlı Aktif Çamur Biyokütlesi Tarafından Adsorpsiyonunun Yalancı İzotermelere Uygulanması <i>Application of Pseudo Isotherms on the Adsorption of Basic Blue 41 Onto Live Activated Sludge</i> Mesut BAŞIBÜYÜK, M.Ekrem ÇAKMAK, Olcayto KESKİNKAN, Hamza A.ARSLAN	187
Montaj Hattı Dengeleme Algoritmalarının Karşılaştırılması <i>Comparison of the Assembly Line Balancing Algorithms</i> Funda KAHRAMAN ve Adem İSPİR	195
Oto Korelasyonlu Verilerde Proses Kontrol Tekniklerinin Uygulanması <i>A Research Related to the Applications of Process Control Techniques for Correlated Processes</i> Funda KAHRAMAN, Fatma BİLİRGEN	205
Örneklem Büyüklüğünün Shewart ve Cusum Kontrol Şemalarının Performanslarına Etkisinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi <i>The Practical Research on The Subject of the Statistical Quality Control and Statistical Process Control</i> Funda KAHRAMAN, A.Nilgün KAYADELEN	217
Samandağ (Antakya) Civarının Jeolojik İncelemesi <i>Geological Investigation of Samandağ (Antakya) and its Near Surroundings</i> Tolga MİSTİK, Ulvi Can ÜNLÜGENÇ	231
Ceyhan Beji (Ceyhan-Adana) Kireçtaşı Mermerlerinin Teknomekanik Özellikleri <i>Determination of Technomechanical Properties of Ceyhan Beige (Ceyhan-Adana) Limestone Marbles</i> Nuri LAÇİNBALA, Mesut ANIL	243