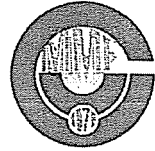




ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ  
DERGİSİ



ÇUKUROVA UNIVERSITY  
JOURNAL OF FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT  
VOL 19

SAYI  
NO 2

Aralık  
December 2004

ISSN 1019-1011

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Free Vibrations of Elastically Supported Stiffened Coupled Shear Walls with Stepwise Changes in Width <i>Genişliği Kademeli Değişen Elastik Temele Oturan Güçlendirilmiş Boşluklu Perdelerin Serbest Titreşimleri</i> Orhan OKSOĞAN, H.Murat ARSLAN, Engin EMSEN, B.Seng CHOO.....	1
Horseshoe Vortex Formation and Evolution in a Single Row Plate Fin and Tube Heat Exchangers <i>Kanat Borulu Bir Isı Eşanjörü İçerisinde Horseshoe Vortex Oluşumu ve Gelişimi</i> Azize AKKOCA, N.Adil ÖZTÜRK, Beşir ŞAHİN, Hüseyin AKILLI.....	15
Effects of Laminar/Turbulence Modelling on the Prediction of Flow Characteristics and Heat Transfer Data in Plate Fin and Tube Heat Exchangers <i>Kanat Borulu Isı Eşanjörlerinin Akış ve Isı Transfer Özelliklerinin Belirlenmesinde Laminar ve Türbülans Modellemenin Etkisi</i> Azize AKKOCA.....	27
Determination of Optimum Geometrical Parameters of Compact Heat Exchangers Using Computational Fluid Dynamics <i>Kompakt Isı Eşanjörlerinde, Optimum Geometrik Parametrelerin Hesaplı Akışkanlar Dinamiği Kullanılarak Belirlenmesi</i> Azize AKKOCA.....	43
Analysis of Intercity Transport Mode Choice From Banjarmasin City: Disaggregate Logit Model <i>Banjarmasin Şehrinden Diğer Şehirlere Olan Ulaşım Seçeneklerinin Analizi: Ayrışık Logit Model</i> Ir. Achmad KARNO, Iphan F. RADAM, Muhammet Vefa AKPINAR, Murat ÖRNEK.....	59
Denim Kumaşlarda Performans Analizi I-Kumaş Mukavemeti ve Aşınma Dayanımı Değerlendirmesi <i>A Performans Analysis on Denim Fabrics I-Fabric Strength and Abrasion Resistance</i> Çiğdem AYYILDIZ, Erdem KOÇ.....	69
Denim Kumaşlarda Performans Analizi II-Elastikiyet (Esname), Sürtünme Haslığı ve Diğer Parametrelerin Değerlendirilmesi <i>Performans Analysis on Denim Fabrics II-The Evaluating of Elongation (Stretching), Rubbing Fastness and The Other Parameters</i> Erdem KOÇ, Çiğdem AYYILDIZ.....	83

**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 CETİN  
Osman BABAARSLAN

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

İ.Deniz AKCALI (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)**

S.Seren AKAVCI (Ç.Ü.)	H.Murat ARSLAN (Ç.Ü.)
Cengiz D.ATİŞ (Ç.Ü.)	Murat BİKÇE (M.K.Ü.)
Orhan BÜYÜKALACA (Ç.Ü.)	Nihat ÇELİK (Ç.Ü.)
Hasan CETİN (Ç.Ü.)	Hakan ERDEM (N.Ü.)
Erkin ERTEN (Ç.Ü.)	Kemal GÜRBÜZ (Ç.Ü.)
Bekir KARA (E.Ü.)	Selçuk KAÇIN (M.K.Ü.)
Emel LAPTALIORAL (M.K.Ü.)	Levent ÖNAL (E.Ü.)
Erol ÖZER (M.Ü.)	Emel Ceyhan SABİR (Ç.Ü.)
Şükrü SU (E.Ü.)	Umur Korkut SEVİM (M.K.Ü.)
Beşir ŞAHİN (Ç.Ü.)	Gülsün TANYELİ (İ.T.Ü.)
Hakan T.TÜRKER (M.K.Ü.)	Hüseyin YAPICI (E.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 Balcalı / ADANA

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

CILT 19  
VOL

SAYI 2  
NO

Aralık 2004  
December

ISSN 1019-1011

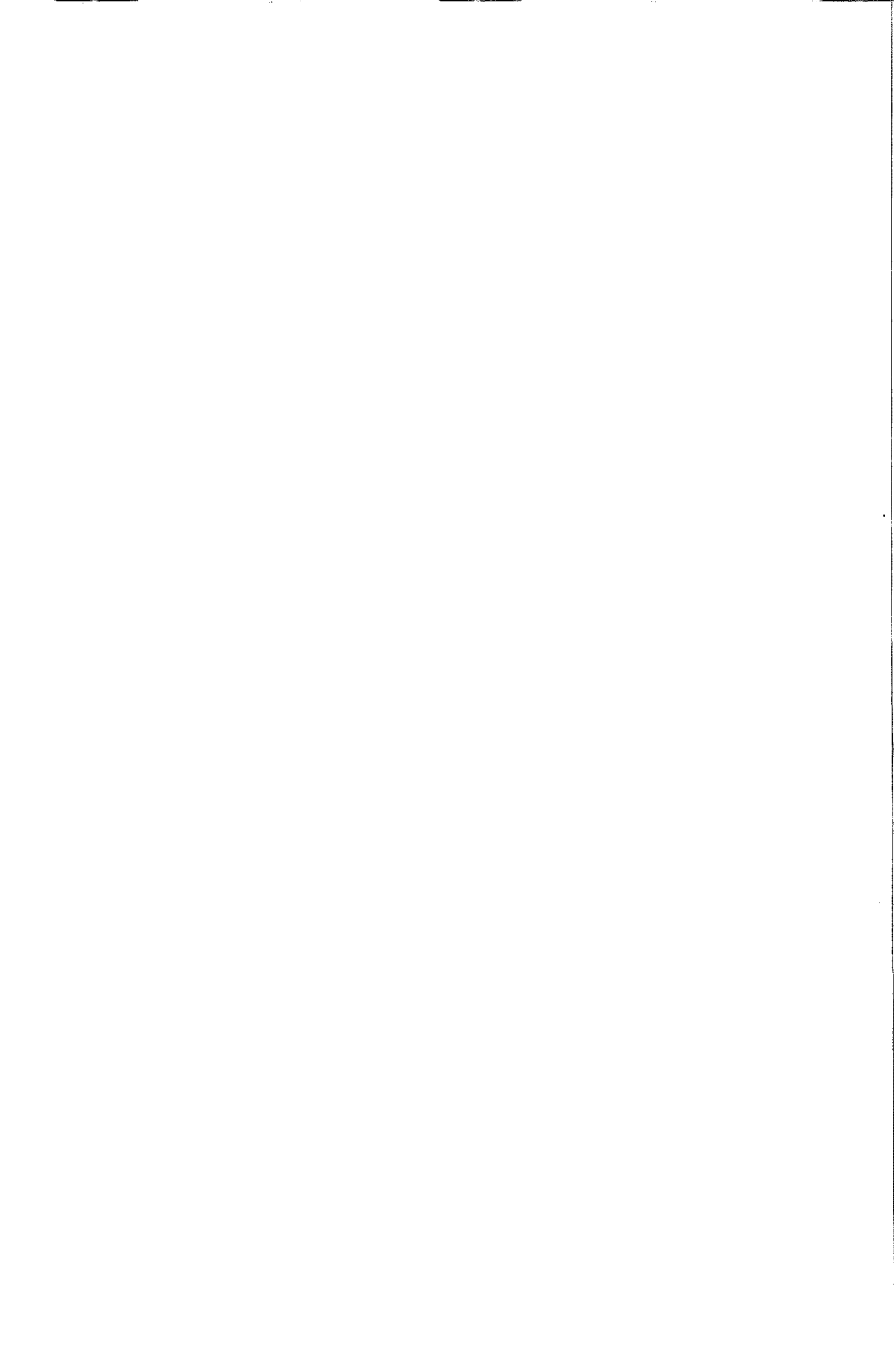
İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Free Vibrations of Elastically Supported Stiffened Coupled Shear Walls with Stepwise Changes in Width <i>Genişliği Kademeli Değişen Elastik Temele Oturan Güçlendirilmiş Boşluklu Perdelerin Serbest Titreşimleri</i> Orhan OKSOĞAN, H.Murat ARSLAN, Engin EMSEN, B.Seng CHOO.....	1
Horseshoe Vortex Formation and Evolution in a Single Row Plate Fin and Tube Heat Exchangers <i>Kanat Borulu Bir Isı Eşanjörü İçerisinde Horseshoe Vortex Oluşumu ve Gelişimi</i> Azize AKKOCA, N.Adil ÖZTÜRK, Beşir ŞAHİN, Hüseyin AKILLI.....	15
Effects of Laminar/Turbulence Modelling on the Prediction of Flow Characteristics and Heat Transfer Data in Plate Fin and Tube Heat Exchangers <i>Kanat Borulu Isı Eşanjörlerinin Akış ve Isı Transfer Özelliklerinin Belirlenmesinde Laminar ve Türbülans Modellemenin Etkisi</i> Azize AKKOCA.....	27
Determination of Optimum Geometrical Parameters of Compact Heat Exchangers Using Computational Fluid Dynamics <i>Kompakt Isı Eşanjörlerinde Optimum Geometrik Parametrelerin Hesaplı Akışkanlar Dinamiği Kullanılarak Belirlenmesi</i> Azize AKKOCA.....	43
Analysis of Intercity Transport Mode Choice From Banjarماسin City: Disaggregate Logit Model <i>Banjarماسin Şehrinden Diğer Şehirlere Olan Ulaşım Seçeneklerinin Analizi: Ayrışık Logit Model</i> İr. Achmad KARNO, İphan F. RADAM, Muhammet Vefa AKPINAR, Murat ÖRNEK.....	59
Denim Kumaşlarda Performans Analizi I-Kumaş Mukavemeti ve Aşınma Dayanımı Değerlendirmesi <i>A Performans Analysis on Denim Fabrics I-Fabric Strength and Abrasion Resistance</i> Çiğdem AYYILDIZ, Erdem KOÇ.....	69
Denim Kumaşlarda Performans Analizi II-Elastikiyet (Esneme), Sürtünme Haslığı ve Diğer Parametrelerin Değerlendirilmesi <i>Performans Analysis on Denim Fabrics II-The Evaluating of Elongation (Stretching), Rubbing Fastness and The Other Parameters</i> Erdem KOÇ, Çiğdem AYYILDIZ.....	83

Türk Tekstil Sanayinde Enerji Kullanımının Genel Değerlendirilmesi <i>General Utilization of Energy Consumption in Turkish Textile Industry</i> Emel KAPLAN, Erdem KOÇ.....	97
İndirgen Yıkama ile Yapılan Boyarmadde Söküm İşleminin Dokuma Kumaşın Yumuşaklık ve Boncuklaşma (Pilling) Özellikleri Üzerine Etkisi <i>Effect of Dyestuff Removing Process Made with Reductive Washing</i> <i>on Softness and Pilling Properties of Woven Fabric</i> Onur BALCI, R.Tuğrul OĞULATA.....	113
Tekstilde Kullanılan Suyun Önemi ve Örnek Bir İşletmede Yapılan Su Analiz Çalışmaları <i>The Importance of Water in Textile Industry and Investigation Water Analysis</i> <i>in a Chosen Textile Mill</i> Serin MAVRUZ, R.Tuğrul OĞULATA.....	127
İki Boyutlu Elastostatik Problemlerinin Süreksiz Kuadratik Sınır Elemanları Kullanılarak Çözümü <i>The Solution of Two Dimensional Elastostatic Problems By Using</i> <i>Discontinuous Quadratic Boundary Elements</i> M.Hakan SEVERCAN, A.Hamza TANRIKULU, A.Kamil TANRIKULU.....	135
Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Perde Yerleşiminin Etkisi ve A2 Düzensizlik Durumunun İncelenmesi <i>Investigation for Design Effect of Shear Walls and A2 Irregularity</i> <i>Condition According to Turkish Earthquake Code</i> Erbil GÜLLÜ, Hüseyin R.YERLİ.....	149
Planda Değişik Geometriye Sahip Çok Katlı Betonarme Yapıların Zaman-Tanım Aralığında Dinamik Analizi <i>Time-Historical-Dynamic Analysis of Different Geometrical Shaped Buildings on Plane</i> Adnan KARADUMAN, H.Murat ARSLAN, M.Sami DÖNDÜREN.....	163
Fiber Çubuklarla Güçlendirilmiş Tabakalı Plakların Plak Düzlemine Dik Yükleme Etkisindeki Davranışı <i>The Behaviour of Fiber-Reinforced Laminated Plates under the</i> <i>Effects of the Vertical Loading to Plate Surface</i> Ali DOĞAN, H.Murat ARSLAN.....	173
Sürekli Bağlantı Yöntemi ile Güçlendirici Kiriş Konumunun ve Bina Yapısal Davranışının Belirlenmesi <i>Determination of Stiffening Beam Location and Structural Behavior of</i> <i>Building with Continuous Connection Method</i> Cevher Deha TÜRKÖZER, H.Murat ARSLAN.....	191
Bayındırlık İşleri Birim Fiyat Analizlerindeki İşgücü Verimliliklerinin İrdelenmesi <i>Examine of Labor Force Productivity in Unit Price Analysis of Public Works</i> M.Emin ÖCAL, Ali TAT, Ercan ERDİŞ.....	207
İnşaat Projelerinde Yatırım Kararı Sürecinin Analizi ile İlgili Bir Model Önerisi <i>A Model Suggestion on the Analysis Process of Investment Decisions</i> <i>in Construction Projects</i> M.Emin ÖCAL, İlker GÖNEN.....	219



Uçucu Kül Katkılı Betonların Mekanik Özellikleri <i>Mechanical Properties of Concrete Containing Fly Ash</i> Rıza DİNÇER, İsmail H.ÇAĞATAY.....	235
Pomza ile Yapılan Hafif Betonların Mekanik Özellikleri <i>Mechanical Properties of Lightweight Concrete with Pumice</i> Rıza DİNÇER, İsmail H.ÇAĞATAY.....	247
Uçucu Kül, Çelik Lif ve Pomza İçeren Betonların Mekanik Özellikleri <i>Mechanical Properties of Concrete Containing Fly Ash, Steel Fiber and Pumice</i> Rıza DİNÇER, İsmail H.ÇAĞATAY.....	261
Donatılı Kum Zemin Üzerine Oturan Ring (Halka) Temellerin Analizi <i>Bearing Capacity of Ring Foundations on Geogrid-Reinforced Sand</i> Mustafa LAMAN, Şerife Duygu BABACAN.....	281
Huzurkent (Mersin) Kuzey ve Kuzeybatısının Stratigrafisi <i>Stratigraphical Properties of Huzurkent (Mersin) Area (N-NW)</i> Sibel AKARPINAR, Cavit DEMİRKOL.....	291
Yapı, Yetki ve İşleyiş Açısından Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurullarının Tarihsel Gelişimi <i>Historical Development of Conservation Councils of Cultural and Natural Properties for Structure, Power and Activity</i> İpek DURUKAN.....	301

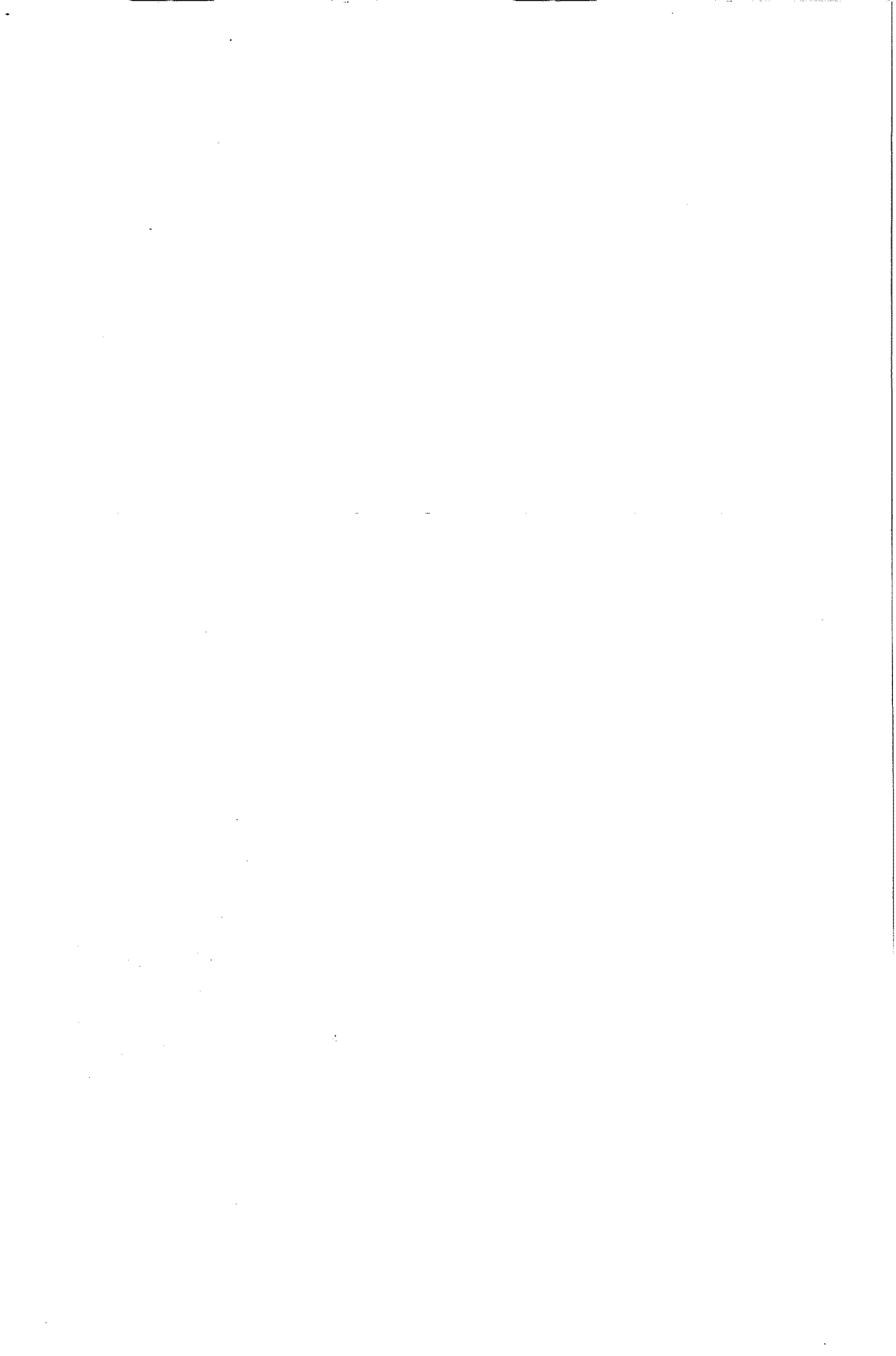


## ÖNSÖZ

Fakülte Dergimizin 19. cilt 2. sayısını kısa bir gecikmeyle yayınlamış bulunuyoruz. 2004 yılına ait bu ciltde 5'i İngilizce ve 18'i Türkçe olmak üzere 23 adet makale yer almaktadır. Bundan sonra yayınlanacak olan 2005 yılı 1. sayısını da Haziran ayında yayınlamayı planlıyoruz. Dergimize değerli öğretim elemanlarımızın güncel çalışmalarını bekler, gösterdikleri ilgiye teşekkür ederiz.

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

Yayın Kurulu



**FREE VIBRATIONS OF  
ELASTICALLY SUPPORTED STIFFENED COUPLED SHEAR WALLS  
WITH STEPWISE CHANGES IN WIDTH**

**Orhan AKSOGAN, H. Murat ARSLAN, Engin EMSEN**  
*Cukurova University, Civil Engineering Department, Adana/Türkiye*

**B. Seng CHOO**

*Director - Centre for Timber Engineering, School of the Built Environment,  
Faculty of Engineering & Computing, Napier University, 10 Colinton Road,  
Edinburgh EH10 5DT, U.K.*

**ABSTRACT :** *This paper considers the free vibration analysis of flexibly connected elastically supported stiffened coupled shear walls, having stepwise changes in width, by a simplifying method widely used in the past for the static analysis of similar structures [1]. This method comprises a convenient tool for the predesign computations related to the treatment of high-rise buildings. The method is called the continuous connection method (CCM). While the discrete structure is formulated as a continuous medium, the continuously distributed mass of the structure is discretized to a system of lumped masses for finding the corresponding mass matrix. After obtaining the standard frequency equation of the discrete system, the circular frequencies are determined in a straightforward manner and used to find the modes of vibration. The results obtained by the present method have been compared with those obtained using the SAP2000 structural analysis program and a good match has been observed. The method proposed in the present study, is twofold advantageous. Firstly, the data preparation is much easier than those of the equivalent frame and finite element methods. Besides, for quick trials of many different cases of a structure for optimization purposes, new versions of data can be obtained with much less changes in the present method compared to the other two. Secondly, the computation time of the present method is much less than those of the other two. Considering the foregoing two advantages, the present method can be used effectively for predesign or dimensioning purposes for high-rise buildings.*

\* This work has been supported by the Cukurova University Research Fund under Grant MMF2002.BAP56.

## GENİŞLİĞİ KADEMELİ DEĞİŞEN ELASTİK TEMELE OTURAN GÜÇLENDİRİLMİŞ BOŞLUKLU PERDELERİN SERBEST TİTREŞİMLERİ

**ÖZET :** *Bu makalede, geçmişte benzer yapıların statik analizinde çok kullanılan basitleştirici bir yöntem [1] ile elastik temele oturan, bağlantıları esnek olan ve genişliği kademeli değişen güçlendirilmiş boşluklu perdelerin serbest titreşim analizi ele alınmaktadır. Bu yöntem yüksek binaların incelenmesine ilişkin ön tasarım hesapları için elverişli bir araç oluşturur. Bu yöntem sürekli bağlantı yöntemi (SBY) diye adlandırılmaktadır. Ayrık olan yapı sürekli bir ortam gibi ele alınırken, sistemin kütle matrisini bulmak için sürekli olan kütleli ayrı kütlelerden oluşan bir sisteme dönüştürülmektedir. Ayrık sistemin standard titreşim denklemi elde edildikten sonra doğal frekansları kolaylıkla elde edilir ve titreşim modlarını bulmakta kullanılır. Bu yöntem kullanılarak elde edilen sonuçlar SAP2000 yapı analizi programı ile bulunanlarla karşılaştırılmış ve uyum içerisinde oldukları görülmüştür. Bu çalışmada önerilen yöntem iki bakımdan avantajlıdır. Birincisi, veri hazırlaması eşdeğer çerçeve ve sonlu eleman yöntemlerine göre çok daha kolaydır. Ayrıca, optimizasyon amacıyla bir yapının çok sayıda değişik durumlarının hızlıca denemesi için yeni veriler bu çalışmadaki yöntemde diğer iki yöntemle göre çok daha az değişikliklerle elde edilebilmektedir. İkinci olarak da, bu çalışmadaki yöntemin hesaplama zamanı diğer ikisine göre çok daha azdır. Bu iki avantajı gözönüne alarak, bu çalışmada önerilen yöntem yüksek yapıların boyutlandırılması amacıyla veya ön tasarımı etkin bir şekilde kullanılabilir.*

### 1. INTRODUCTION

Recently, a rapid increase has taken place in the number of tall buildings. New trends towards the use of precast components have led to the construction of many buildings consisting entirely of wall and floor slab elements, in which the load bearing walls resist all lateral forces. Due to the relatively high in-plane stiffness of the slabs, the loads in the walls may be determined by the assumption that all walls deflect equally. The walls do not act as independent cantilevers due to the coupled bending action of the slabs. Coupled shear walls with rows of openings behave in a similar manner, also.

For a quick predesign of coupled shear walls, an elegant method called CCM has been widely used. In this method, the connecting beams are assumed to have the same properties and spacing along the entire height of the wall. Consequently, the discrete system of connecting beams can be assumed to be replaced by continuous laminae of equivalent stiffness capable of transmitting action of the same type as the connecting beams. The properties of the structure are expressed as continuous functions of the longitudinal coordinate by employing the foregoing model.

In the foregoing model, the task of the connecting beams is to maintain the coupling effect so as to decrease the lateral drift of the top and the bending moments at the bottom of the walls. However, the attainment of this aim is inevitably hindered by the limitations on the heights of the connecting beams. Hence, to enhance the coupling effect of the connecting beams, a number of deep beams, called stiffeners, are of extreme help and sometimes inevitable. A very important issue is the determination of the positions and properties of these stiffeners.

In carrying out the design calculations related to the dynamic behaviour of a structure, knowing the free vibration characteristics of it is extremely important. Previous research works on the dynamic behaviour of coupled shear walls have been concerned with problems in which there are identical conditions along the complete height. Very few recent works [1-2] dealt with cases in which there were two or more sections with differing properties along the height and possibly with stiffeners on the common boundaries of adjacent sections. However, none of the previous works have taken into consideration a change in the width of the coupled shear wall. In this study, a variation in the width will be considered, causing an eccentricity in the axial forces of two neighbouring sections, which needs to be taken into consideration in writing the compatibility equations for the vertical deflections on the centerline of the connecting beams and the stiffeners. The method used in this work comprises a combination of the CCM with lumped masses [1] and a special treatment of the width variation and arbitrary number of sections separated by stiffeners, which has been employed in previous works of the first two authors [2-3]. The problem considered is the dynamic analysis of coupled shear walls, with any number of sections having arbitrary widths, possibly separated by stiffeners, which rests on a flexible foundation.

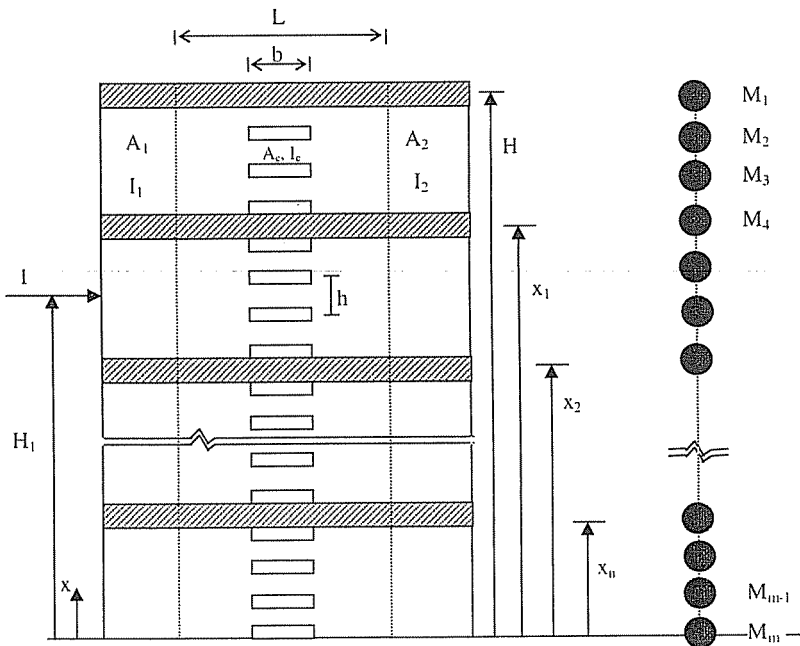
Using the CCM in a straightforward manner, the dynamic analysis of coupled shear walls results in a sixth order differential equation, which cannot be solved in closed form. Moreover, in the case of multiple sections separated by stiffeners, as in the present work, the analysis would necessitate the treatment of a coupled combination of as many such equations as there are separate sections.

To circumvent the abovementioned difficulty, a special method will be employed in the present study. This special method has two steps. In the first step, the structure, a stiffened coupled shear wall resting on a flexible foundation, is considered as a discrete system of lumped masses with as many degrees of freedom as the number of lumped masses, which comprise their lateral displacements. The number of lumped masses being chosen freely, the amount of mass in each of them is found using the average mass per unit length in the longitudinal direction. The second step is the determination of the stiffness matrix of the structure for the degrees of freedom chosen during the first step. This procedure is carried out by applying a horizontal unit force at each and every height with a lumped mass. For every one of these loadings, a solution is carried out making use of the CCM and writing down the compatibility equations for the midpoints (which are assumed to be the points of contraflexure) of the actual stiffeners as well as the assumed laminae (continuous medium). During this analysis, the boundary conditions at the bottom are applied taking into consideration the vertical, horizontal and rotational rigidities of the flexible foundations. The continuity conditions at each and every boundary between a pair of neighbouring sections are applied both for the slopes of the two sections and that of the stiffener between them. This analysis is carried out in two steps, the first comprising the determination of the axial forces in the two walls and the second comprising the determination of their common deflected form. Once the abovementioned deflected forms of the walls are found for all unit loading cases, the stiffness matrix can be obtained in a straightforward manner to carry out the free vibration analysis of the structure.

To implement the results of the analysis summarized in the foregoing paragraphs, a computer program has been prepared. To verify the analysis, two example structures were studied. The solution for the first example structure was carried out both by the present method and using the SAP2000 Structural Analysis Program employing the equivalent frame method [5]. The results of the two methods matched perfectly. Moreover, another thing that was examined was the effect of the connection stiffness the behaviour of the example structure. The second example [7] was chosen to be nonsymmetrical and comparisons were carried out for the natural frequencies found both by the present method and SAP2000 Structural Analysis Program.

**2. ANALYSIS**

Employing the CCM, the natural vibrations of coupled shear walls with any number of stiffeners has been studied. The mass matrix of the structure is taken as a diagonal matrix, employing the lumped mass assumption. For this purpose the top and bottom of the coupled shear walls and the levels of the stiffeners will be called "ends" and a part of the structure between any consecutive pair of these "ends" will be called a "section". Each section  $i$  will be divided into a suitable number ( $n_i$ ) of equal parts and the total mass of this section divided by this number will be assigned to each internal point and half of it will be assigned to each end of the section. After carrying out the foregoing procedure and adding the extra mass of a stiffener, compared to a connecting beam, to each pertinent end the lumped mass matrix  $\mathbf{M}$  will be found as a diagonal matrix. Obviously, the dimension of this mass matrix will be  $m \times m$  where  $m = \sum n_i + 1$  (Fig. 1).



**Figure 1.** Notation and mass discretization



The mass matrix of the structure having been chosen as described in the previous paragraph and choosing the degrees of freedom to be the lateral displacements at the levels of the lumped masses, only, the effects of the vertical inertia forces and the rotatory inertia of the walls have been automatically neglected in comparison with the effects of the horizontal inertia forces. Although this assumption is perfect for the evaluation of the fundamental frequency and mode of vibration, a slight error may show up on the higher modes.

More important effects of the flexibility of the foundation are included in the present analysis, despite the fact that the vertical and rotatory inertias are not considered. This is done by simulating each footing by a combination of three springs, a horizontal, a vertical and a rotational one.

The assumptions of the CCM should be mentioned here since they are implicitly accepted to apply in the present analysis. They are:

1. Axial deformations of the connecting beams are negligible, rendering the lateral deflections of the walls equal and yielding equal slopes and curvatures at the same height. This assumption can be justified taking into account the enhancement of the in-plane stiffness of the floor slabs (recall "rigid floor diaphragm" assumption). Furthermore, the connecting beams being loaded only at the ends, this assumption renders their midpoints, points of contraflexure. That the bending moments of the two walls at a certain height are in the same ratio as their moments of inertia is another consequence.

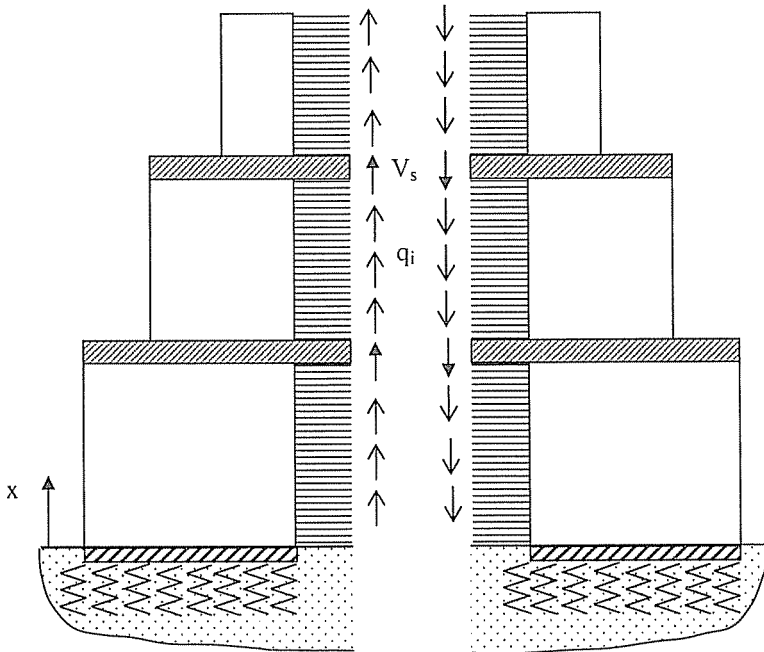


Figure 2. Equivalent structure

2. The equidistant connecting beams, each of flexural rigidity  $EI_c$ , are represented by a uniform connecting medium, or a set of laminae, of flexural rigidity  $EI_c/h$  per unit height. Likewise, the discrete shear forces in the connecting beams are represented by a shear flow function  $q$ , along the points of contraflexure, expressing the shear force per unit height (Fig. 2).

With the mass matrix described at the beginning and the foregoing assumptions, it remains, only, to determine the stiffness matrix of the structure to complete the analysis for obtaining the standard frequency equation for a discrete system, which is as follows:

$$|\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M}| = 0 \quad (1)$$

where  $\omega$  is the circular frequency,  $\mathbf{M}$  is the mass matrix and  $\mathbf{K}$  is the stiffness matrix of the structure. The respective modal vectors,  $u_i$ , are found by substituting each and every circular frequency,  $\omega_i$ , in the following equation one by one:

$$(\mathbf{K} - \omega_i^2 \mathbf{M})u_i = 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

### 2.1. Determination of the Stiffness Matrix

Considering a unit load in the direction of the lateral displacement at each level where there is a lumped mass, the flexibility matrix of the structure considered in this work can be determined. Each unit loading gives one column of the flexibility matrix as the displacements at all the points where the lumped masses are. Hence, the analysis for one general unit loading case will suffice to introduce the complete solution procedure for the flexibility matrix.

It was mentioned previously that the points of contraflexure of laminae are at their midpoints. Now, assuming a cut through those points will expose the shear flow, represented by  $q$ . For the compatibility of displacements, the relative vertical displacements of the cut ends must be equal to zero, resulting in

$$L \frac{dy}{dx} - \frac{hb^3q}{12EI_c} - \frac{b^2 h q}{2C_{cb}} - \frac{1}{E} \left( \frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} \right) \int_0^y T dx - \delta_0 + \delta_e = 0 \quad (3)$$

where  $y$ ,  $q$ ,  $C_{cb}$ ,  $E$ ,  $T$ ,  $\delta_0$  and  $\delta_e$  are the lateral deflection of the walls, the shear flow in the laminae, the equivalent rotational stiffness coefficient at the ends of the connecting beams, the elasticity modulus, the axial force in the walls, the relative vertical displacement of the bases of the two walls and the contribution due to the eccentricity caused by the changes in the width, respectively. Equation (3) is written for each section separately. However, in this context when the unit load is applied at an internal point of a section it divides that section into two new sections. The system of Macaulay's brackets will be defined as below:

$$\left. \begin{aligned} \langle x - \bar{x} \rangle^n &= (x - \bar{x})^n & \text{and} & \quad \langle x - \bar{x} \rangle^0 = 1 & \quad \text{if} & \quad x > \bar{x} \\ \langle x - \bar{x} \rangle^n &= 0 & \quad \text{and} & \quad \langle x - \bar{x} \rangle^0 = 0 & \quad \text{if} & \quad x < \bar{x} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

The terms encountered in (3) represent the vertical deflection of the midpoint of the lamina due to the bending of the walls (Fig. 3a), the bending deformation of the lamina (Fig. 3b), the relative rotations at the connections (Fig. 3c), the axial deformations of the walls (Fig. 3d), the relative vertical settlement of the bases of the walls (Fig. 3e) and the relative vertical deformation due to eccentricity (Fig. 3f), in that order. In Fig. 3 each quantity with a prime expresses pertinence to the left side and the relative vertical displacement is found by adding the contributions from cut ends.

The moment-curvature relationship for each section of the structure is as follows:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = \langle H_1 - x \rangle^1 - T L \quad (5)$$

where I expresses the sum of the moments of inertia of the two walls and the shear flow function q is found to be

$$q = -\frac{dT}{dx} \quad (6)$$

from the equilibrium of a differential element dx of one of the walls. The axial force in one of the walls can be expressed by adding, the integral of the shear flow function q from the cross-section of concern to the top, to the sum of the shear forces in all the stiffeners in that interval, i.e.

$$T(x) = \sum_x^H V_s + \int_x^H q dx \quad (7)$$

The governing equation for T is found from (3), (5) and (6) by eliminating the variables y and q as

$$\frac{d^2 T}{dx^2} - \alpha^2 T = -\gamma \langle H_1 - x \rangle^1 \quad (8)$$

in which

$$\gamma = \frac{1}{EI \left( \frac{b^3 h}{12EI_c} + \frac{b^2 h}{2C_{cb}} \right)}, \quad \alpha^2 = \gamma \left( L + \frac{IA}{LA_1 A_2} \right) \quad (9)$$

and  $A = A_1 + A_2$ .

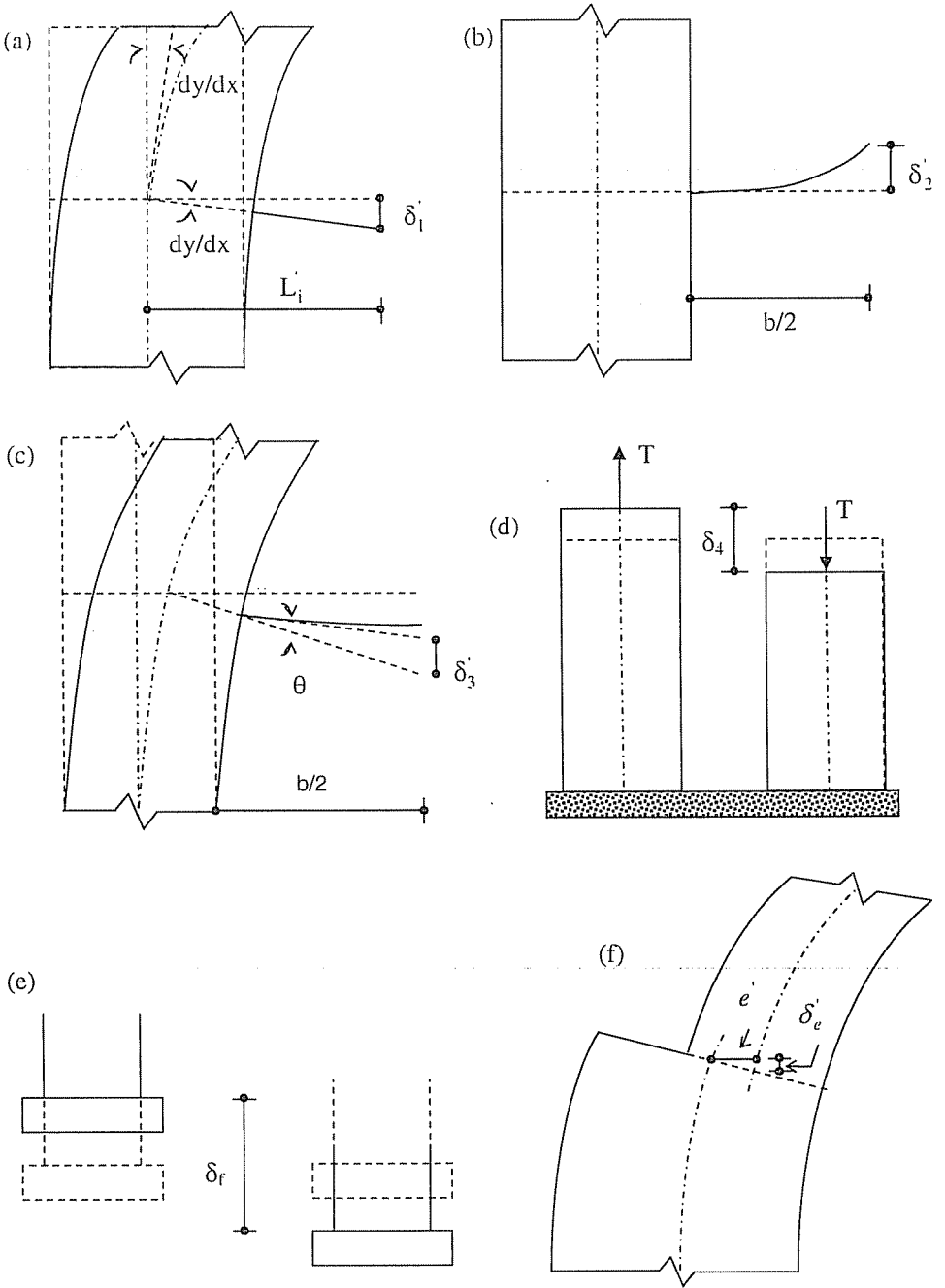


Figure 3. Relative vertical displacements

The general solution of (8) will be taken as follows:

$$T = B \cosh \alpha x + C \sinh \alpha x + \frac{Y}{\alpha^2} < H_1 - x >^1 \quad (10)$$

Using (6), the corresponding shear flow expressions can be found as follows:

$$q = - \left( B \alpha \sinh \alpha x + C \alpha \cosh \alpha x - \frac{Y}{\alpha^2} < H_1 - x >^0 \right) \quad (11)$$

For the determination of the shear forces in the stiffeners, the compatibility equation for the points of contraflexure can be written as follows:

$$L \frac{dy}{dx} \Big|_{x=x_s} - \frac{V_s b^3}{12EI_s} - \frac{b^2 V_s}{2C_{sb}} - \frac{1}{E} \left( \frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} \right) \int_0^{x_s} T dx - \delta_0 + \delta_c = 0 \quad (12)$$

where  $x_s$ ,  $I_s$ ,  $C_{sb}$ , and  $V_s$  are the height, the moment of inertia, the equivalent connection rotational stiffness coefficient and the shear force in the stiffener. The shear force in a stiffener is found by comparing (12) with (3) evaluated at level  $x=x_s$  as

$$V_s = SHq(x_s) \quad (13)$$

in which the following definition applies:

$$S = \frac{\frac{hb}{12EI_c} + \frac{h}{2C_{cb}}}{\frac{b}{12EI_s} + \frac{1}{2C_{sb}}} \quad (14)$$

The foregoing analysis is carried out for all sections in the height of the wall. The integration constants B and C for all sections in the structure are determined using the boundary conditions of the problem. They are:

1. The vertical force equilibrium requirement in the walls at the ends of the sections excluding the bottom and including the level of the unit load.
2. The requirement in the walls for the continuity of the slope at the ends excluding the top and including the level of the unit load.

The slope and relative displacement at the bottom being defined as

$$\theta_0 = \frac{H_1 - T(0) \times L}{K_r} \quad (15)$$

$$\delta_0 = \frac{T(0)}{K_v}$$

the axial force at the top from above should be taken to be zero. In (15)e  $K_r$  and  $K_v$  are the equivalent rotational and vertical stiffnesses of the foundations, respectively [6].

When there is a stiffener at the bottom, the axial force,  $T(0)$ , must be increased by an amount equal to the shear force in that stiffener.

All integration constant pairs, B and C, pertaining to all sections are determined by writing down all the boundary conditions mentioned above and solving them simultaneously. The axial forces in the walls can be obtained from (10). The lateral deflections due to bending

$$y = \frac{1}{EI} \left\{ \frac{1}{6} \left( 1 - \frac{\gamma L}{\alpha^2} \right) < H_1 - x >^3 - \frac{L}{\alpha^2} (B \text{Cosh}\alpha x + C \text{Sinh}\alpha x + Dx + F) \right\} \quad (16)$$

can be obtained by integrating (5) twice with respect to  $x$ .

The new integration constant pairs, D and F, for all sections, can be found by using the boundary conditions for the continuity of lateral deflections and slopes at the levels between all pairs of consecutive sections and the ones at the bottom.

The stiffness matrix, which is to be used in (1-2), can be found in a straightforward manner by applying the foregoing analysis for a unit loading at each and every one of the levels of lumped masses, which yields the flexibility matrix of the structure.

### 3. NUMERICAL RESULTS

The first example problem considers a symmetric coupled shear wall with one stiffener and three sections of different widths, resting on a soft soil yielding equivalent spring constants  $K_r=1.36 \times 10^{10} \text{ N m rad}^{-1}$ ,  $K_v=4.39 \times 10^8 \text{ N m}^{-1}$  and  $K_h=3.76 \text{ N m}^{-1}$  (Fig. 4). The thickness of the wall is 0.2 m. The elasticity modulus and density of the reinforced concrete are taken as  $2.85 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$  and  $2400 \text{ kg/m}^3$ , respectively.

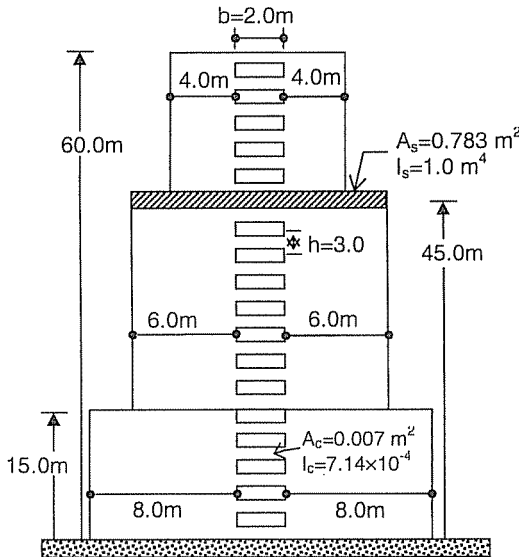


Figure 4. First example structure

As mentioned in a previous work [3], the structural behavior of the shear wall has improved to a great extent due to the presence of the stiffeners. On the other hand, the flexibility of the foundation has worsened the structural performance as mentioned in reference [2]. However, the main concern of this example is the variation of the fundamental frequency with the stiffness of the connections at the ends of the connecting beams. Obviously, the shear wall behavior is improved by increasing the abovementioned connection stiffness. Fig. 5 shows the comparison of the results of the present work with those of the SAP2000 structural analysis program, employing the equivalent frame method. As observed, the results of the two methods match perfectly.

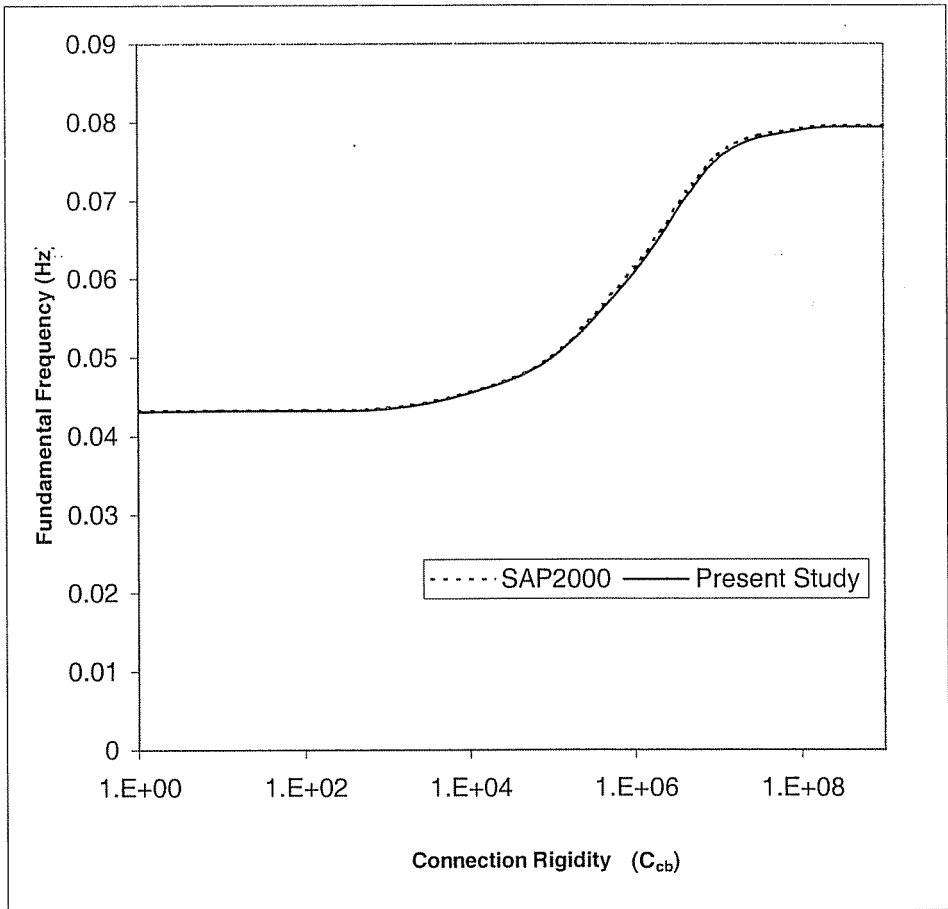
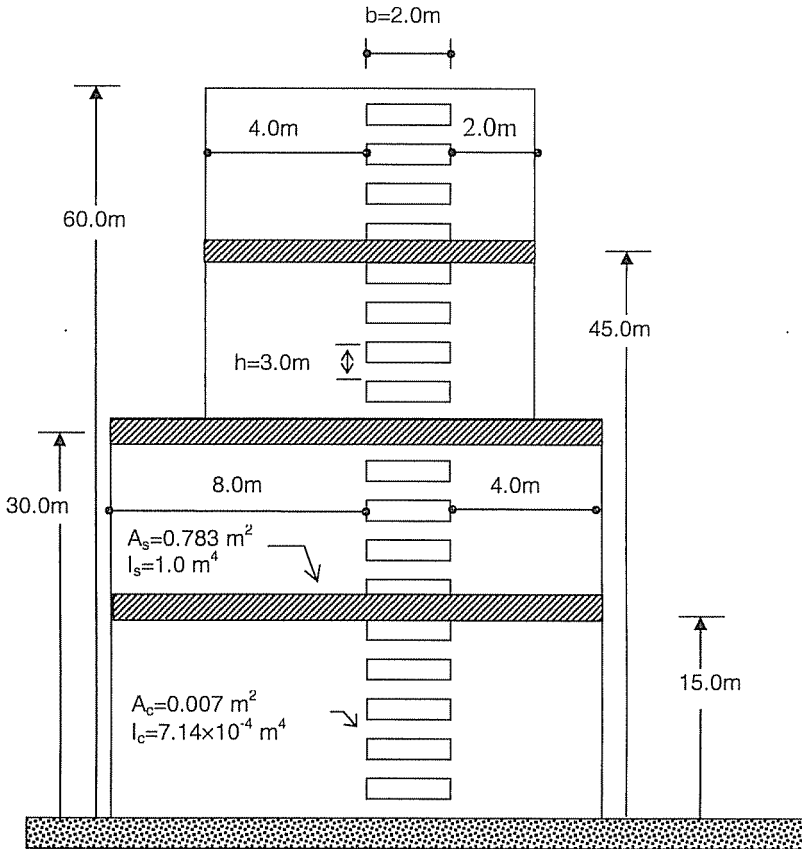


Figure 5. Comparison of the fundamental frequencies for soft soil case

The second example is chosen as the nonsymmetrical stiffened coupled shear wall with one change in width resting on a rigid foundation as seen in Fig. 6. The thickness of the wall is 0.2 m, the elasticity modulus is  $2.0 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup> and the density is 2400 kg/m<sup>3</sup>.



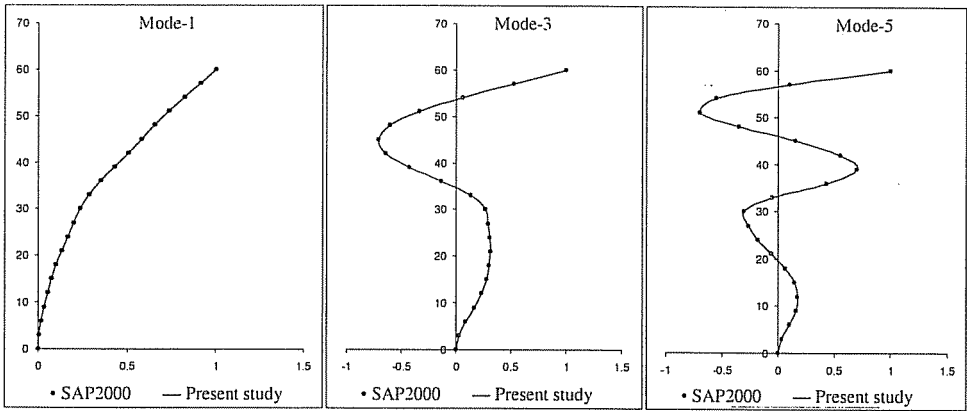
**Figure 6.** Second example structure

The frequencies obtained from the present method and the results found from SAP2000 structural analysis program are given in Table 1. Furthermore, the first, third and fifth mode vectors normalized with respect to the first elements have been compared in Fig. 7.



**Table 1.** Comparison of the frequencies for the second example

Mode number	SAP2000 (Hz)	Present study (Hz)	Difference (%)
1	0.0679	0.0679	0.00
2	0.2250	0.2251	0.04
3	0.4352	0.4355	0.07
4	0.8065	0.8067	0.02
5	1.2384	1.2392	0.06
6	1.8941	1.8950	0.05
7	2.5207	2.5214	0.03
8	3.1382	3.1402	0.06
9	3.9375	3.9395	0.05
10	4.7366	4.7406	0.08



**Figure 7.** Comparison of the first, third and fifth mode vectors for the second example

#### 4. CONCLUSIONS

The dynamic analysis of coupled shear walls has been carried out using a continuous-discrete approach. The connecting beams in the coupled shear walls have been replaced by a medium comprising continuous laminae. Thus, the variables have been expressed as functions of height. Furthermore, the rotational inertial effects having been neglected in the analysis, and taking any desired number of lumped masses, disregarding the actual number of stories, the order of the eigenvalue problem can be kept to a minimum. Despite the simplifications made in the foregoing procedure, the results found are in perfect agreement with those of the equivalent frame approach. Moreover, in the present method, both the preparation of data is easier and the length of

computation time is much shorter. Consequently, the present method proves itself suitable for predesign work in which a huge number of alternatives can be tried to find the best fit for the task in hand. The final design can be carried out employing a more precise method, so as to determine the details of the structure with sufficient accuracy. In the present work, the stiffness at the beam-wall connections has been accounted for. In most of the previous studies, those connections have been assumed to be rigid. The very high difference between the fundamental frequencies for rigid and hinged connections proves that for obtaining dependable results the foregoing factor needs to be considered.

## 5. REFERENCES

1. Li, G.Q. and Choo, B.S., "A Continuous-Discrete Approach to the Free Vibration Analysis of Stiffened Pierced Walls on Flexible Foundations", *International Journal of Solids and Structures*, 33(2), pp. 249-263, 1996.
2. Aksogan, O., Arslan, H.M. and Salari, N., "Free Vibrations of Stiffened Coupled Shear Walls on Flexible Foundations", *Third International Conference on Seismology and Earthquake Engineering*, 2, pp. 623-630, Tehran, Iran, May 1999.
3. Aksogan, O., Türker, H.T. and Oskouei, A.V., "Stiffening of Coupled Shear Walls at Arbitrary Number of Heights", *Proceedings of the First Technical Congress on Advances in Civil Engineering*, 2, pp. 781-787, North Cyprus, 1993.
4. Li, G.Q. and Choo, B.S., "Free Vibrations of Coupled Shear Walls", *Proceedings of the Fifth International Congress on Recent Advances in Structural Dynamics*, 2, pp. 859-868, Southampton, U.K., 1994.
5. Wilson, E.L., "SAP2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures", *Computers and Structures, Inc.*, 1-2, 1997.
6. Coull, A. and Bensmail, L., "Stiffened Coupled Shear Walls", *Journal of Structural Engineering*, 117(8), pp. 2205-2223, 1991.
7. Arslan, H.M., "Kesit Degisikligi Olan Guclendirilmis Bosluklu Deprem Perdelerinin Dinamik Analizi", *Doctoral Thesis, Cukurova University, Civil Engineering Department, Adana, Turkey, 1999 (in Turkish)*.

## HORSESHOE VORTEX FORMATION AND EVOLUTION IN A SINGLE ROW PLATE FIN AND TUBE HEAT EXCHANGER

Azize AKKOCA, N. Adil ÖZTÜRK, Beşir ŞAHİN, and Hüseyin AKILLI  
Ç.Ü., Department of Mechanical Engineering, Adana / Türkiye

**ABSTRACT:** *In the present investigation, the attention is focused on a compact, extended surface, cross-flow, single phase, two-fluid heat exchanger with continuous plate fins attached perpendicularly to the outside of the circular tube. Laminar, transitional and turbulence characteristics of the flow for the plate fin and tube heat exchanger having non-dimensional fin spacing to cylinder diameter ratio of  $S = 0.365$  are investigated in detail at  $Re = 600, 1500, \text{ and } 4000$ . Experimental results show that complex 3-D flow characteristics in the heat exchanger flow passage strongly correlate with the heat transfer performance of these types of heat exchangers. It is also shown that formation and evolution of horseshoe vortex system strongly depend on the Reynolds number.*

### KANAT BORULU BİR ISI EŞANJÖRÜ İÇERİSİNDE HORSESHOE VORTEX OLUŞUMU VE GELİŞİMİ

**ÖZET:** *Bu çalışmada; çift akışkanlı, karşı-akışlı, tek fazlı, dairesel boru ve borulara dik olarak yerleştirilen ve sürekli kanatçıklardan oluşan bir kompakt ısı eşanjöründe, laminar, türbülansa geçiş ve türbülanslı akış karakteristikleri,  $Re = 600, 1500, 4000$  ve boyutsuz kanat açıklığı-silindir çapı oranı  $S = 0.365$  için detaylı olarak araştırılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlardan, ısı eşanjörünü akım pasajında meydana gelen kompleks ve 3-boyutlu akış özellikleri ile ısı eşanjörünün ısı transfer performansı arasında sıkı bir ilişki olduğu ve Reynolds sayısının oldukça etkili olduğu gözlenmiştir.*

\* The authors wish to thank the office of Scientific Research Projects of Cukurova University for funding under contract no: AAP20025

## 1. INTRODUCTION

A heat exchanger can be defined as a heat transfer device that is used to transfer of internal thermal energy between two or more fluids available at different temperatures. In most heat exchangers the fluids are separated by a heat transfer surface, and ideally they do not mix (1). Heat exchangers composed of continuous parallel fins attached perpendicularly to the outside of a tube bundle employ a compact surface with low weight, support and structure; small volume; easy transport and higher thermal effectiveness compared to the other types. Therefore they are widely used in energy-intensive industries. They are also used in vehicular heat exchangers, condensers and evaporators in air conditioning and refrigeration industry, automotive radiators, aircraft oil coolers, unit air heaters, cooling of electronic devices, energy recovery, conservation and conversion, etc. These types of heat exchangers are generally referred to as *plate fin and tube*, *plate finned tube*, and *tube in plate fin* heat exchangers in the literature.

In the literature there are a number of experimental studies regarding flow and heat transfer characteristics of plate fin and tube heat exchangers. Some investigators measured local and average heat transfer coefficients using naphthalene sublimation technique (2-5). Some of them conducted their experiments using wind tunnel test unit (6-12). Thermo-chromic liquid crystal technique is another experimental method that was used by some investigators (13,14). Effects of several geometrical parameters such as tube row number, fin spacing, tube arrangement, distance between tubes, tube shapes, etc. on the performance of plate fin and tube heat exchangers have also been investigated by some authors (4, 6, 7, 9, 10, 15, 16, 17). In most of the experimental studies turbulence effects did not considered and the experiments are conducted under steady state and laminar flow conditions. However it is known that most flows encountered have unsteady characteristics with flow separation and recirculation zones for the plate fin and tube heat exchangers. In these types of heat exchangers, the air is forced to flow through the channels between the adjacent fins results in a complex three-dimensional flow and increased heat transfer performance. This complex flow behavior includes developing velocity and thermal boundary layers at the channel entrances; continuous creation, destruction, separation and reattachment of new boundary layers due to the existence of large amount of tubes; formation of horseshoe vortices in front of the tubes; interaction of secondary flows of opposite vorticity at the front and sides of the tubes; recirculating tube wakes; and vortices in the wake of the fins. For plate fin and tube heat exchangers, the flow attains turbulent characteristics when the Reynolds number is larger than 400 ( $Re > 400$ ), (18). Moreover, the flow becomes unstable when the Reynolds number is larger than 350 ( $Re > 350$ ), (19). Therefore in the present study it is decided to investigate transitional and turbulence characteristics of the flow for the plate fin and tube heat exchangers.

## 2. DEFINITION OF HORSESHOE VORTEX SYSTEM

When a flow passes through a wall-mounted object of sufficient size, it accelerates around the object and vertical velocity gradient of the flow is transformed into a pressure gradient on the leading edge of the structure. This pressure gradient results in a downward flow that impacts the object's base. This downflow forms a vortex sweeps around and downstream of the object. This vortex is termed as "horseshoe vortex" or

“necklace vortex” due to its horseshoe shape (Fig. 1). The horseshoe vortex can be seen in every day life at any time a boundary layer encounters a wall mounted bluff body obstruction and is very important in various engineering applications. It can be seen at an intersection of turbine blade and rotor; at a juncture of bridge pier and river bed; at a ground-building junction; at a wing-body junction of an airfoil; etc. It is a very dangerous in most of the engineering applications; in that, a bridge can fail due to the local scour at the base of the pier. The mechanism causing the scour formation is nothing but the horseshoe vortex system. Although the horseshoe vortex system is very dangerous in most of the engineering applications, however, it is a desirable phenomenon in some applications such as in heat exchangers. In the heat exchangers, as the flow approaches the tubes, the horseshoe vortex system forms in front of each tube in the stagnation area near the tube and the fin junction region of the plate fin and tube heat exchangers and they introduce additional mixing of hot and cold fluids and consequently increase the fin heat transfer in that area (5, 20, 21). Increased heat and mass transfer coefficients in front of the tubes are due to the existence of horseshoe vortex system (22, 23).

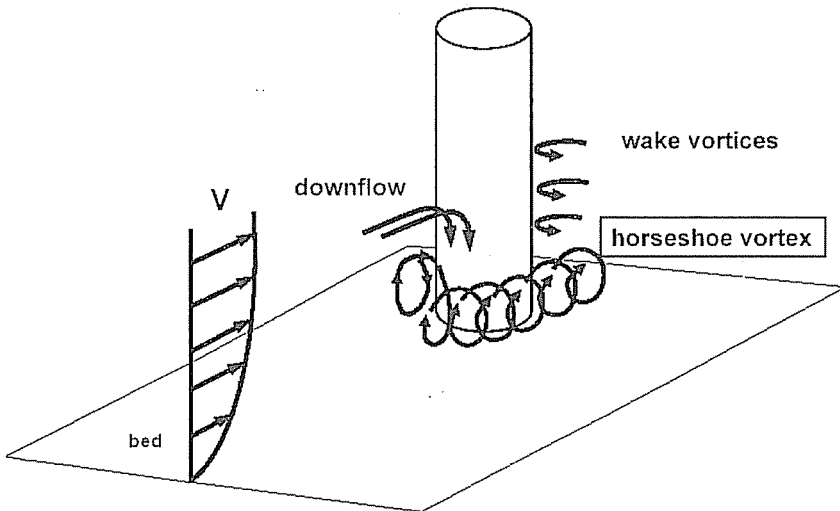


Figure 1. Local scour mechanism at the base of the bridge pier (Sheppard, 2004).

### 3. EXPERIMENTAL SET-UP

In the present study, Particle Image Velocimetry (PIV) technique is used to investigate the flow structure in the flow passage of plate fin and tube heat exchanger. PIV can be described as a technique that provides a large number of instantaneous velocity vectors at many points over a plane. All PIV experiments are conducted at the Cukurova University, Mechanical Engineering Department, Fluid Mechanics Research Laboratory.

The test section is placed in a water channel which is seeded with spherical shaped silver coated PVC particles with a mean diameter of 12  $\mu\text{m}$  and has a specific gravity

that is the same as of water. The closed-loop open surface water channel is made of clear plexiglass sheet of 15 mm thick and is 8 000 mm long, 1 000 mm wide, and 750 mm deep. The water channel has a longitudinal free stream turbulence intensity of 0.5%. The desired mean flow in the test section is created by a pump that is driven by an electric motor with varying speed controller.

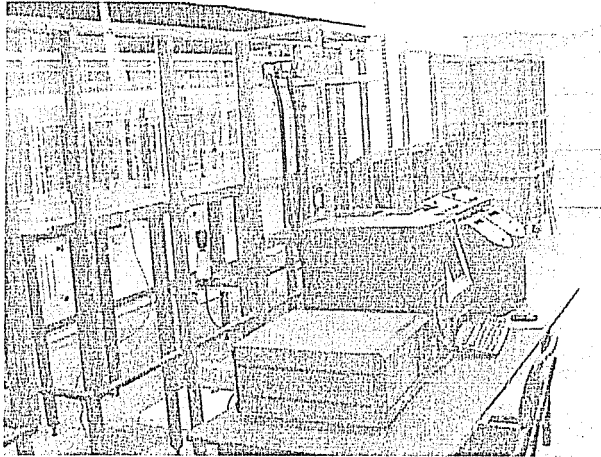
The flow field is enlightened by using a pair of double-pulsed Nd:YAG laser units. Each laser produces a thin and intense light sheet and one pulse of the pulse pair. By pulsing the light sheet twice, it is possible to acquire a two dimensional vector analysis of the fluid motion by using the change in position of the particles between the two pulses and the time between the pulses. The locations of the particles is recorded and an analysis is performed to determine the velocity vectors of particles throughout the two-dimensional area of the flow. A cross-correlation CCD camera with a resolution of 1024 x 1024 pixels is used to capture the particle images and to transfer the image to a computer program. Cross correlation is a process which uses two separate images. The video images of the particles are analyzed using powerful processing algorithms to determine the particle displacement that occurs during the time between laser pulses. To transfer the images from the camera to the computer, a high speed digital frame grabber is employed. The frame grabber transfers the data to the computer at the highest possible speed permitted by the PCI bus. The computer calculates the vector field by processing the lighted images. A software platform "Flow Manager" provides comprehensive solutions for capturing, analyzing, and displaying PIV images. To capture the flow field image, the laser pulse and camera must be triggered with the correct sequence and timing for the flow conditions under investigation. Therefore, a synchronizer is used to control all of the components are initiated at the exact moment necessary. The power and speed of the processing techniques are such that the velocity field after validation can be obtained on-line. In addition to vorticity and strain rate fields, statistical properties such as turbulence and mean values can be obtained globally by collecting the desired number of images processing them.

A picture of the experimental set-up can be seen in Fig. 2.

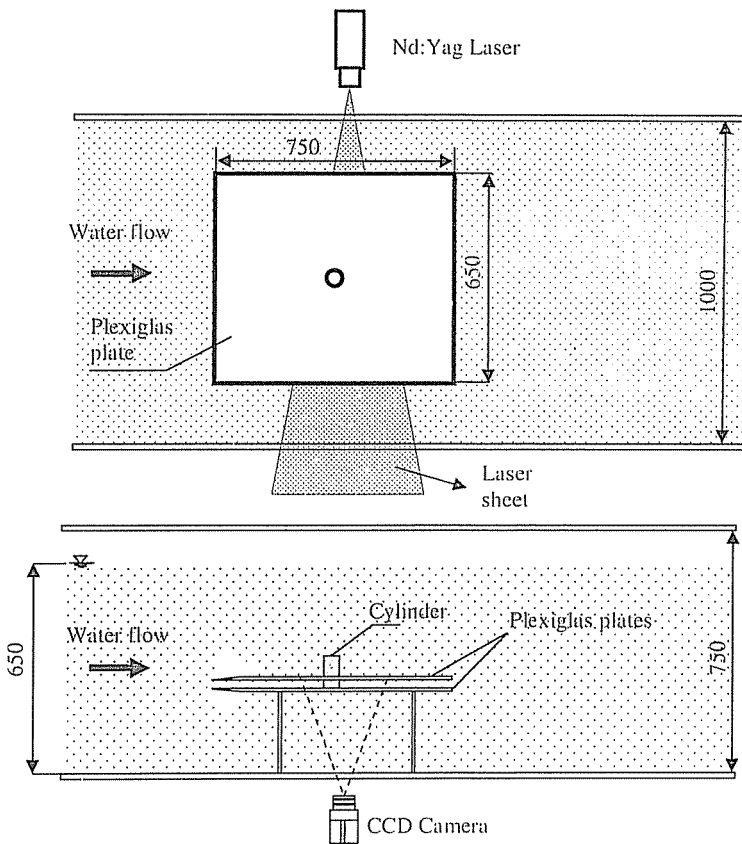
### 3.2. Test Section

The test section consists of a tube mechanically press fitted to the two parallel plates. The tube and the plates are made from plexiglass material so that the laser light propagates easily from the plates and the tube. The tube outer diameter and the fin length are 50 mm, and 152.5 mm, respectively. The experiments are conducted for fin spacing of 18.25 mm. The corresponding non-dimensional fin spacing, non-dimensional fin height, and non-dimensional fin length are  $S = 0.365$ ,  $W = 1.0625$ , and  $L_f = 3.05$ , respectively. The non-dimensionalization parameter is chosen as the the tube diameter. In the test section, the fin height and the fin length are extended 5 times the tube diameter both upstream and downstream of the tube in both longitudinal and transverse directions in order to avoid the flow disturbances that may occur between the plates in the test section. The flow Reynolds number is varying between  $600 < Re < 4000$ .

*HORSESHOE VORTEX FORMATION AND EVOLUTION IN A SINGLE ROW PLATE FIN AND TUBE HEAT EXCHANGE*



**Figure 2.** A picture of the experimental set-up



**Figure 3.** Schematic representation of the test section (all diameters are in mm)

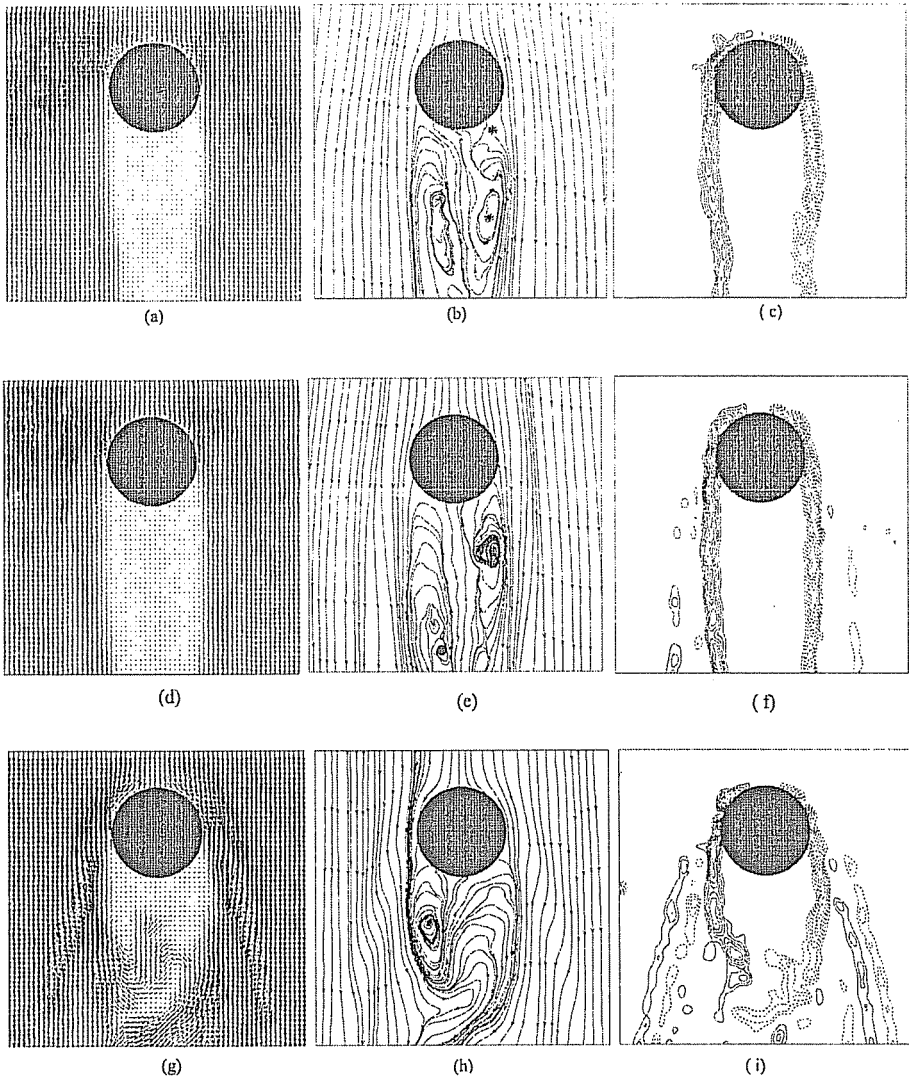
#### 4. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 4 shows instantaneous velocity vector field, streamline pattern and vorticity contours at the centerline of the flow passage at different Reynolds numbers at a frame number of  $N = 8$  at the mid-plane of the flow passage. Here, the position of the cylinder is indicated with black color as seen in Fig. 4. At  $Re = 600$ , the size of the wake region behind the cylinder is relatively long as it is clearly observed from the velocity vector plot shown in Fig. 4a. From the streamline topology shown in Fig. 4b, two foci in the wake of the cylinder each located at both sides of the plane of symmetry of the cylinder are observed. The positive and the negative vorticity are illustrated as solid and dashed lines, respectively. The positive and negative vorticity layers are distributed symmetrically with respect to the plane of symmetry of the cylinder and are elongated downstream at both sides of the cylinder as seen in Fig. 4c. At  $Re = 1500$ , similarly, a relatively large wake region is obtained as illustrated in Fig. 4d. In the Fig. 4e, streamline topology at  $Re = 1500$  shows that there are three foci one located at the right of the plane of symmetry of the cylinder and the other two located at the lower left of the plane of symmetry of the cylinder. The one at the right of the plane of symmetry is found stronger comparing with the other two. At  $Re = 1500$ , in addition to symmetrically distributed positive and negative vorticity layers elongated downstream at both sides of the cylinder, shedding of positive and negative counter rotating vortices surrounding the positive and negative vorticity layers are also observed as shown in Fig. 4f. Though the separating points of the counter rotating vortices are not clearly visible in Fig. 4f, it is clear that they correspond to the horseshoe vortices. As the Reynolds number is increased to a value of  $Re = 4000$ , the length of the recirculation region in the wake of the cylinder becomes smaller compared to the cases of  $Re = 600$  and  $Re = 1500$  as shown in Fig. 4g. From the streamline topology, only one strong focus located at the left of the plane of symmetry of the cylinder with counter-clock-wise sense of rotation is detected as illustrated in Fig. 4h. At  $Re = 4000$ , positive and negative vorticity layers become shorter and are not symmetrically distributed at both sides of the plane of symmetry of the cylinder compared to the previous cases. The negative vorticity layers are convected towards plane of symmetry downstream of the cylinder. More elongated and stronger two sets of horseshoe vortices separating from the upstream of the cylinder surface surrounding each other are convected downstream of the cylinder are observed at both sides of the cylinder as seen in Fig. 4i. These horseshoe vortices cause additional mixing of hot and cold fluids and hence increase the local heat transfer rates in the heat exchanger flow passage.

In order to illustrate the location and structure of the horseshoe vortex in the heat exchanger flow passage, time averaged flow data are obtained at  $Re = 1500$  as demonstrated in Fig. 5. As the velocity vectors approaches the cylinder surface, they tend to turn back and focus in the vicinity of the cylinder surface near the cylinder and the plate junction region between lower and upper plates resulting in the formation of a pair of horseshoe vortices as shown in Fig. 5a. In Fig. 5b positive and negative vorticity layers are obtained as symmetric with respect to the centerline of the flow passage. The vorticity layers are concentrated near the tube and the fin junction region as shown in Fig. 5b. Fig. 5c indicates that saddle point lets the horseshoe vortex to appear in close vicinity of the cylinder surface and prevents it from interacting with the main flow. This

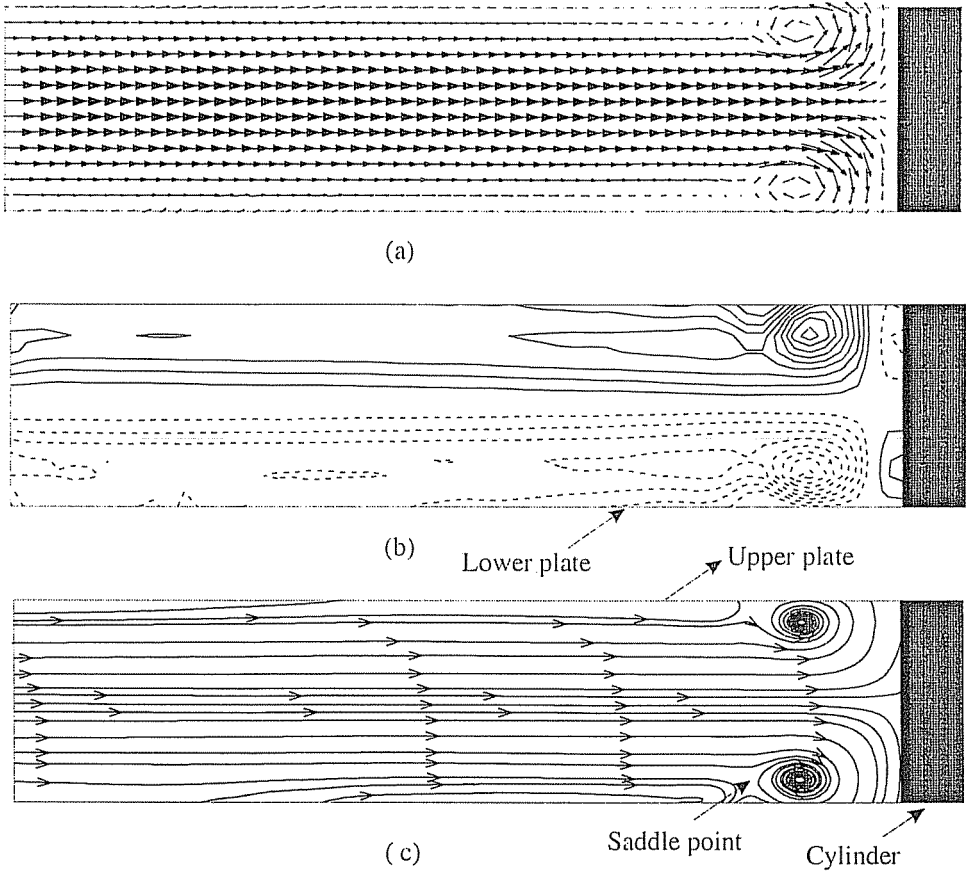


*HORSESHOE VORTEX FORMATION AND EVOLUTION IN A SINGLE ROW PLATE FIN AND TUBE HEAT EXCHANGER*



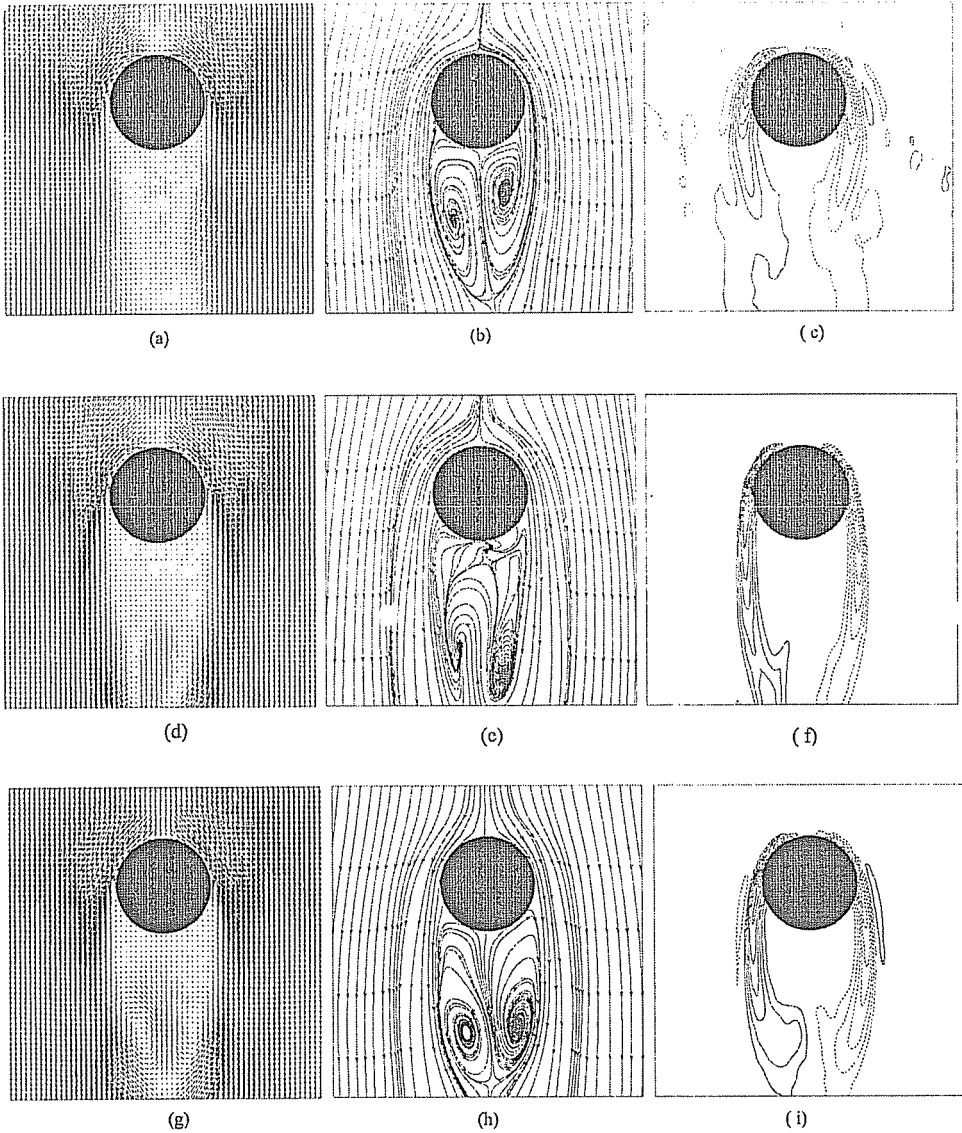
**Figure 4.** Instantaneous velocity vector field, streamline pattern, and vorticity contours at the mid-plane of the flow passage at  $N=8$  at  $Re=600$  (a,b,c),  $Re=1400$  (d,e,f), and  $Re=4000$  (g,h,i).

results in an increased local heat transfer coefficients to be obtained near the fin and the cylinder junction region causing increased heat transfer performance to be obtained from the heat exchanger.



**Figure 5.** a) Time averaged velocity vector field in the flow passage at  $Re=1500$   
 b) Time averaged vorticity contours in the flow passage at  $Re=1500$   
 c) Time averaged streamline pattern in the flow passage at  $Re=1500$

Figure 6 demonstrates time averaged flow data close to the lower fin plate at  $Re = 600$  (a,b,c),  $Re = 1500$  (d,e,f), and  $Re = 4000$  (g,h,i), respectively. The width of the wake region becomes smaller depending on the Reynolds number as it is clearly in from Fig. 6. At  $Re = 600$  and  $Re = 4000$ , symmetric wake patterns with respect to the plane of symmetry of the cylinder are obtained as shown in Fig. 6b and 6h where the centers of the foci shift downstream of the cylinder in case of  $Re = 4000$  compared to the case of  $Re = 600$ . At  $Re = 1500$ , three small foci can be observed in the wake of the cylinder. The one is located close to the cylinder surface where the other two are located further downstream of the cylinder as shown in Fig. 6e. The positive and negative vorticity layers are symmetrically distributed around the plane of symmetry for all cases as shown in Fig. 6c, 6f, and 6i.



**Figure 6.** Time averaged velocity vector, streamline pattern, and vorticity contours close to the lower plate at  $Re=600$  (a,b,c),  $Re=1500$  (d,e,f), and  $Re=4000$  (g,h,i), respectively.

## 5. CONCLUSIONS

Flow characteristics in the flow passage of a plate fin and tube heat exchanger are investigated in detail. The data are obtained at the mid-plane of the flow passage, close to the fin plates, and in the whole flow passage. As the Reynolds number is increased, the length of the wake region becomes smaller. Interaction of singular points formed in

the wake region of the cylinder decreases with increasing Reynolds number. Reynolds number is the main cause of horseshoe vortices to form and to develop for the fixed non-dimensional fin spacing of  $S = 0.365$ . The formation and evolution of the horseshoe vortex system strongly depend on the Reynolds number. As the Reynolds number is increased, stronger horseshoe vortices are formed causing more mixing of hot and cold fluids in the heat exchanger flow passage and resulting in increased heat transfer rates.

## 6. REFERENCES

1. Kuppan,T., "Heat Exchanger Design Handbook", Marcell Dekker, Inc., Basel, ISBN: 0-8247-9787-6, 1119 p, New York, 2000.
2. Saboya,F.E.M., Sparrow,"E.M., Local and Average Transfer Coefficients for One Row Plate Fin and Tube Heat Exchanger Configurations", *J. Heat Transfer, Trans. ASME.*, August: 265-27, 1974.
3. Goldstein,L.G., Sparrow,E.M., "Experiments on the Transfer Characteristics of a Corrugated Fin and Tube Heat Exchanger Configuration", *J. Heat Transfer, Trans ASME*, February: 26-32, 1976.
4. Seshimo,Y., Fujii,M., "An Experimental Study on the Performance of Plate fin and Tube Heat Exchangers at Low Reynolds Numbers", *ASME/JSME Thermal Engineering Proceedings*, (4): 449-454, 1991.
5. Kim,J.Y., Song,T.H., "Microscopic Phenomena and Macroscopic Evaluation of Heat Transfer From Plate Fins/Circular tube Assembly Using Naphthalene Sublimation Technique", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45: 3397-3404, 2002.
6. Jang,J.Y., Wu,M.C., Chang,W.J., "Numerical and Experimental Studies of Three- Dimensional Plate Fin and Tube Heat Exchangers", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 39(14): 3057-3066, 1996.
7. Wang,C.C., Fu,W.L., Chang,C.T., "Heat Transfer and Friction Characteristics of Typical Wavy Fin-and-tube Heat Exchangers", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 14: 174-186, 1997.
8. Madi,M.A., Johns,R.A., Heikal,M.R., "Performance Characteristics Correlation for Round Tube and Plate Finned Heat Exchangers", *Int. J. Refrigeration*, 21(7):507-517, 1998.
9. Wang,C.C., Tsai,Y.M., Lu,D.C., "Comprehensive Study of Convex-Louver and Wavy Fin- and Tube Heat Exchangers", *Journal of Thermophysics and Heat transfer*, 12(3): 423-430, 1998.
10. Wang,C.C., Chang,J.Y., Chiou,N.F., "Effects of Waffle Height on the Air Side Performance of Wavy fin- and- Tube Heat Exchangers", *Heat transfer Engineering*, 20(3): 45-56, 1999.
11. Yan,W.M., Sheen,P.J., "Heat Transfer and Friction Characteristics of Fin and Tube Heat Exchangers", *Int. J. Heat Mass Transfer*, 43: 1651-1659, 2000.
12. Lozza,G., Merlo,U., "An Experimental Investigation of Heat Transfer and Friction Losses of Interrupted and Wavy Fins for Fin-and-Tube Heat Exchangers", *Int. J. Refrigeration*, 24: 409-416, 2001.
13. Critoph,R.E., Holland,M.K., Fisher,M., "Comparison of Steady State and Transient Methods for Measurement of Local Heat Transfer in Plate fin- Tube Heat

Bölen

0. Alsopar

H. M. Arslan

H. Tarruklu

A. K. Tarruklu

H. R. Yerdli

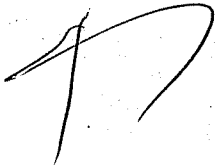
M. E. Scal

E. Emser

M. Şirnek

A. Dofan

10  
adet



8

Salı 20 Ağustos

-Temmuz ayı ve Mayıs-Haziran-Temmuz aylarına ait Mühürat  
-Beyanname verilecek  
-Temmuz ayı maktu karşılığı Damga Vergisi ödenecek.

İmsak 4.34  
Güneş 6.12  
Öğle 13.15  
İkindi 17.00  
Akşam 20.05  
Yatsı 21.35  
Kible Saati 12.09

Yıldız Blok



121 g. 19 Aralık - 151 g. 18 Ocak - 181 g. 17 Şubat  
31 g. 20 Eylül - 61 g. 20 Ekim - 91 g. 19 Kasım

30  
23 24 25 26 27 28 29  
16 17 18 19 20 21 22  
9 10 11 12 13 14 15  
2 3 4 5 6 7 8

1  
P. S Ç P C Ç P Z  
EYLÜL

Gün: 232 - Kalan: 133

SALI  
20

2002  
AĞUSTOS

1 2 3 4  
5 6 7 8 9 10 11  
12 13 14 15 16 17 18  
19 20 21 22 23 24 25  
26 27 28 29 30 31

AĞUSTOS

34. Hafta

*Exchangers Using Liquid Cristal Thermography With Radiant Heating*", *Int. J. Heat and Mass Transfer*, 42: 1-12, 1999.

14. Wierbowzski, M., Stasiek, J., "Liquid Crystal Technique for Heat transfer Investigation in a Fin- Tube Heat Exchanger Element. *Experimental Thermal and Fluid Science*", 26(2-4): 319-323, 2002.

15. Rosman, E.C., Carajilescov, P., Saboya, F.E.M., "Performance of One- and Two-Row Tube and Plate Fin Heat Exchanger", *J. Heat Transfer, Trans ASME*, 106: 627-632, 1984.

16. Rocha, L.A.O., Saboya, F.E.M., Vargas, J.V.C., "A Comparative Study of Elliptical and Circular Sections in One- and Two- Row Tubes and Plate Fin Heat Exchangers", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 18: 247-252, 1997.

17. Mendez, R.R., Sen, M., Yang, K.T., McClain, R., "Effect of Fin Spacing on Convection in a Plate Fin and Tube Heat Exchanger", *Int. J. Heat Mass Transfer*, 43: 39-51, 2000.

18. Kundu, D., Skeikh, A.H., Lou, D.Y.S., "Heat Transfer in Crossflow Over Cylinders Between Two Parallel Plates", *Numerical Heat Transfer, Part A*, 114: 558-564, 1992.

19. Kundu, D., Skeikh, A.H., Lou, D.Y.S., "Heat Transfer Predictions in Cross Flow Over Cylinders Between Two Parallel Plates", *Numerical Heat Transfer, Part A*, 19: 361-377, 1991.

20. Kim, H.H., Youn, B., Webb, R.L., "Air-side Heat transfer and Friction Correlations for Plain fin- and- tube Heat Exchangers With Staggered Tube Arrangements. *Journal of Heat Transfer*", *Transactions of the ASME*, 121: 662-667, 1999.

21. Valencia, A., Fiebig, M., Mitra, N.K., "Heat Transfer Enhancement by Longitudinal Vortices in a Fin- Tube Heat Exchanger Element With Flat Tubes", *Journal of Heat Transfer*, 118: 209-211, 1996.

22. Tsai, S.F., Sheu, T.W.H., "Some Physical Insights into a Two- Row Finned Tube Heat Transfer", *Computers and Fluids*, 27(1): 29-46, 1998.

23. Kim, J.Y., Song, T.H., "Effect of Tube Allignmmet an the Heat/Mass Transfer From a Plate Fin and Two- Tube Assembly: Naphthalene Sublimation Results", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46: 3051-3059, 2003.





## EFFECTS OF LAMINAR/TURBULENCE MODELLING ON THE PREDICTION OF FLOW CHARACTERISTICS AND HEAT TRANSFER DATA IN PLATE FIN AND TUBE HEAT EXCHANGERS

**Azize AKKOCA**

*Ç.Ü., Department of Mechanical Engineering, Adana / Türkiye*

**ABSTRACT :** *Present investigation provides detailed information on effects of laminar and turbulence modelling on the prediction of flow and heat transfer characteristics in plate fin and tube heat exchangers. In plate fin and tube heat exchangers, there is no clear understanding on whether the flow in the heat exchanger passage is laminar or low Reynolds number turbulent flow. Therefore, in the present investigation, both laminar and turbulence models are employed in order to understand the flow and heat transfer characteristics inside the flow passage of a plate fin and tube heat exchanger comprised of four-row of staggered tube layout with wavy fin configuration. The flow patterns and heat transfer data in the middle of the flow passage and close to the lower plate are investigated in detail for the Reynolds number range  $100 \leq Re \leq 4000$  and non-dimensional fin spacing of  $F_s = 0.233$ . It is found that LES simulation gives better agreement with the experimental data comparing to the RANS equations based turbulence model simulations.*

## KANAT-BORULU ISI EŞANJÖRLERİNİN AKIŞ VE ISI TRANSFER ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİNDE LAMİNAR VE TÜRBÜLANS MODELLEMENİN ETKİSİ

**ÖZET :** *Bu çalışmada; kanat-borulu ısı eşanjörlerinin akış ve ısı transfer özelliklerinin belirlenmesinde, laminar ve türbülans modellemenin etkileri detaylı olarak araştırılmıştır. Günümüzde, hala kanat-borulu ısı eşanjörlerindeki akımın laminar veya düşük Reynolds sayılı türbülanslı akım olarak değerlendirilmesine tam olarak karar verilememiştir. Bu nedenle bu çalışmada hem laminar, hem de türbülans modelleri kullanılarak, farklı Reynolds sayılarında, dört-borulu, saptırmalı dizilişe sahip, dalgalı plakadan oluşan bir kanat-borulu ısı eşanjörü pasajında meydana gelen akış yapısı, alt plakaya yakın ve pasajın tam ortasındaki kesitlerde araştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Reynolds sayısı değişim aralığı  $100 \leq Re \leq 4000$  ve boyutsuz plaka açıklığı  $F_s = 0.233$  olarak seçilmiştir. LES ve RANS simülasyon sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında, deneye en yakın sonucu veren modelin LES türbülans modeli olduğu görülmüştür.*

## 1. INTRODUCTION

The heat exchanger flow passage that consists of plain or specially configured parallel channels located on the outside of the tube bundle results in a very complex geometry. This complex geometry causes formation of a highly complex and three dimensional flow and heat transfer characteristics. This complex flow behavior includes developing velocity and thermal boundary layers at the channel entrances; continuous creation, destruction, separation and reattachment of new boundary layers due to the presence of the fins and due to the existence of large amount of tubes; formation of horseshoe vortices in front of the tubes; interaction of secondary flows of opposite vorticity at the front and sides of the tubes; recirculating tube wakes; vortices in the wake of the fins; improved air mixing and thinning of boundary layers along with lateral swirl mixing due to the corrugated geometry formed by the wavy fins.

Kundu et al. (1) reported that the flow becomes unstable when the Reynolds number is larger than 350 ( $Re > 350$ ) for plate fin and tube heat exchangers. At low Reynolds numbers their experimental data were in good agreement with the numerical results. In their study, the Reynolds number at which the experimental data depart from the numerical results is interpreted as the transitional Reynolds number. Similarly, Tsai and Sheu (2) verified their computational calculations with the experimental data and showed that their computed data becomes increasingly different from the experimental data because of increasing Reynolds numbers continuously approaching the transitional flow regime. According to Kundu et al. (3), the flow attains turbulent characteristics when the Reynolds number is larger than 400 ( $Re > 400$ ) based on their pressure measurements and numerical calculations.

Shah et al. (4) indicated that for compact heat exchangers, there is no clear evidence yet that the flows in the Reynolds number range ( $100 < Re < 2000$ ) are unsteady laminar or low Reynolds number turbulent flows; although it is possible that gradually the unsteady laminar flows associated with the interruptions become low Reynolds number turbulent flows. Kundu et al. (3) claimed that their experimental data depart from the numerical data because the numerical data for laminar flow do not include the turbulent mixing effect. Ciofalo et al. (5) used several numerical models and claimed that low Reynolds number turbulent flow model or LES give satisfactory results for determining heat transfer and flow characteristics of plate fin and tube heat exchangers. Therefore in the present study it is decided to use both space and time averaged turbulence models besides laminar model in order to simulate the transitional and turbulence effects on the flow for the plate fin and tube heat exchangers.

In this study, both laminar and turbulence models are employed in order to show modeling effects on the heat transfer and pressure drop performance of plate fin and tube heat exchangers for a heat exchanger geometry having non-dimensional fin spacing of  $F_s = 0.233$ , comprised of four-cylinder of staggered layout with wavy fin configuration. All simulations are performed by using FLUENT finite volume code

## 2. NUMERICAL STUDY

### 2.1. Governing Equations for Fluid Flow and Heat Transfer in Plate Fin and Tube Heat Exchangers

In the absence of an external body forces, for a time- dependent, three-dimensional, incompressible and Newtonian fluid of constant density and constant viscosity, the governing time averaged continuity, momentum and energy conservation equations take the following forms:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{u}_j \bar{u}_i)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \nu \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \overline{u_i u_j} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i \bar{T}) = \alpha \frac{\partial}{\partial x_j} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} - \overline{q_j} \quad (3)$$

Reynolds averaging introduces additional terms in the momentum and energy equations which are known as “Reynolds (turbulent) stress”,  $-\overline{\rho u_i u_j}$ , and the “Reynolds (turbulent) heat flux”,  $-\overline{q_j}$ , which appear on the right- hand side of the momentum and the energy equations, respectively. The task of turbulence modeling is to model these unknowns, higher-order, extra terms in the mean flow equations and thus close the system of equations.

### 2.2. Turbulence Models

**RNG  $k$ - $\varepsilon$  Turbulence Model:** The Renormalization Group (RNG)  $k$ - $\varepsilon$  model is proposed by Speziale (6) and has been validated against internal flow and impinging jet problem by Rabbit (7) and later is developed by Yakhot et al. (8). The RNG  $k$ - $\varepsilon$  model differs from the standard model by the inclusion of an additional sink term in the turbulence dissipation equation to account for non-equilibrium strain rates and employs different values for the various model coefficients. The form of the  $k$  equation remains same. The turbulence dissipation,  $\varepsilon$  equation of the RNG  $k$ - $\varepsilon$  model includes the following sink term

$$\frac{C_\mu \eta^3 \left(1 - \frac{\eta}{\eta_0}\right) \varepsilon^2}{1 + \beta \eta^3} k \quad (4)$$

In the above term the extra term employs the parameter  $\eta$ , which is the ratio between the characteristic time scales of turbulence and mean flow field as follows:

$$\eta = S \frac{k}{\varepsilon} \text{ where } S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} = \sqrt{G/\mu_t} \quad S_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (5)$$

The primary model coefficients of the RNG  $k$ - $\varepsilon$  turbulence model are  $C_\mu$ ,  $C_1$ ,  $C_3$ ,  $\sigma_k$ ,  $\sigma_\varepsilon$  and Von Karman constant  $\kappa$ . Recommended values of this model coefficients are as follows:

$$C_{\mu} = 0.085, C_l = 1.41, C_2 = 1.68, \sigma_k = 0.7179, \sigma_\epsilon = 0.7179, \kappa = 0.3875$$

**Large Eddy Simulation (LES):** In LES the small scale motion is extracted from the main flow by filtering. While the main flow field is solved from the Navier- Stokes Equations, the smallest eddies are modeled. A filtered variable is defined by

$$\hat{\Phi}(x) = \int_D \Phi(x') G(x, x') dx' \quad (6)$$

where  $D$  is the fluid domain, and  $G$  is the filter function that determines the scale of the resolved eddies. There are many kinds of filter functions that can be used. The filter function used in the present finite volume code is

$$G(x, x') = \begin{cases} 1/V, & x' \in V \\ 0, & x' \text{ otherwise} \end{cases} \quad \text{where } V \text{ is the volume of a computational cell.}$$

The most basic of subgrid- scale models was proposed by Smagorinsky (9) and further developed by Lilly (10). In this model, the eddy viscosity is modeled by

$$\mu_t = \rho L_s^2 |\hat{S}| \quad (7)$$

where  $L_s$  is the mixing length for sub-grid scales and  $\hat{S}$  is the strain rate tensor.

$$|\hat{S}| \equiv \sqrt{2\hat{S}_{ij}\hat{S}_{ij}} \quad (8)$$

$$\hat{S}_{ij} = \begin{pmatrix} S_{xx} & S_{xy} & S_{xz} \\ S_{yx} & S_{yy} & S_{yz} \\ S_{zx} & S_{zy} & S_{zz} \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial \hat{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \hat{u}_j}{\partial x_i} \right] \quad (9)$$

In the present finite volume code,  $L_s$  is computed as

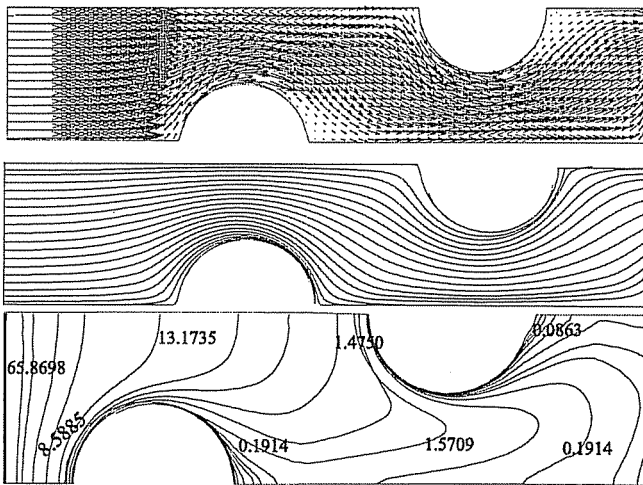
$$L_s = \min(\kappa D, C_s V^{1/3}) \quad (10)$$

where  $\kappa=0.42$ ,  $D$  is the distance to the closest wall and  $V$  is the volume of the computational cell. Lilly (10) derived a value of 0.23 for  $C_s$  from homogenous isotropic turbulence in the inertial sub-range. However this value was found to cause excessive damping of large-scale fluctuations in the presence of mean shear or in transitional flows  $C_s=0.10$  is used for all simulations here.

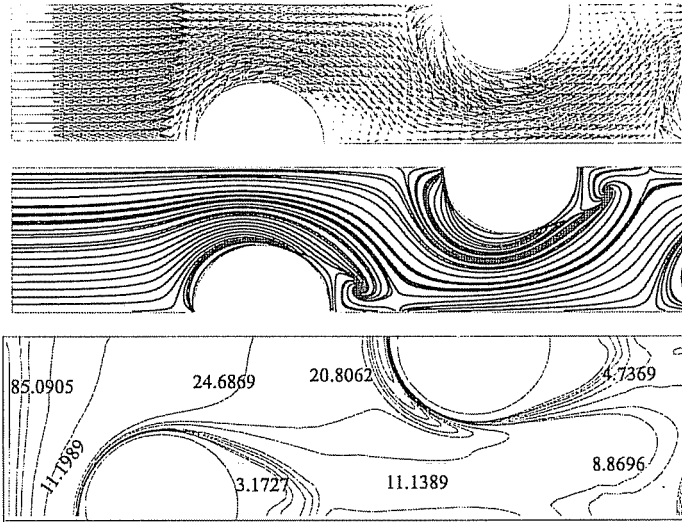
### 3. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 shows velocity vector, streamline, and heat transfer data at  $Z = F_x / 12$  plane (very close to the fin surface), around the first and the second cylinders, for the four cylinder and wavy fin configuration, staggered layout. The Reynolds number

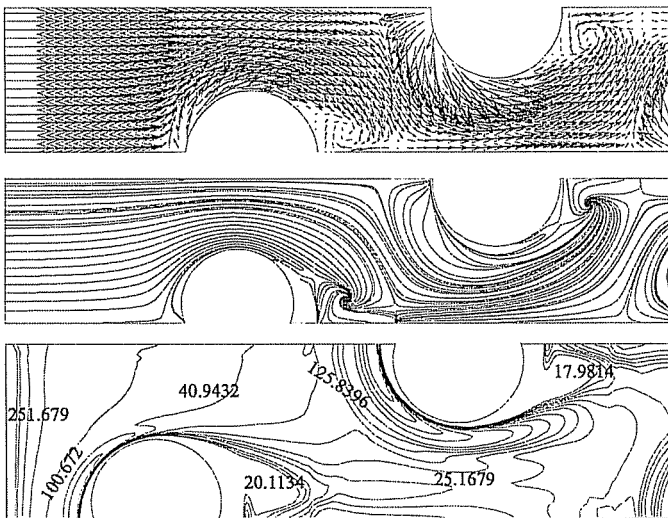
ranges from 100 to 1500. It is clearly seen that heat transfer coefficients increase when the Reynolds number is increased. Higher heat transfer coefficients are obtained in front of the cylinders due to the existence of the horseshoe vortex and lower heat transfer coefficients are obtained in the wake of the cylinders due to the dead flow zone. If the two simulations at  $Re = 1500$  for laminar model and RNG  $k-\epsilon$  model results are compared with each other, higher heat transfer coefficients in front of the first and the second cylinders are obtained from laminar simulations, as shown in Fig. 1c and Fig. 1d. In front of the first and the second cylinders, the laminar model gives heat transfer coefficients of  $100.672 \text{ W/m}^2\text{K}$  and  $125.8396 \text{ W/m}^2\text{K}$ , respectively, while RNG  $k-\epsilon$  model gives  $88.0694 \text{ W/m}^2\text{K}$  and  $66.0694 \text{ W/m}^2\text{K}$ , respectively. A focus of separation with its saddle point behind each cylinder is observed when the Reynolds number is greater than 500 (Figs. 1b-d).



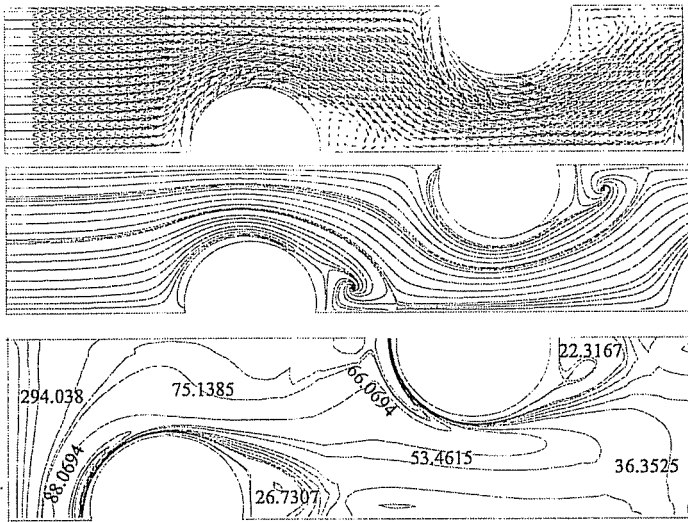
**Figure 1a.** Velocity vector, streamline pattern and heat transfer coefficient at  $Z = F_s/12$  plane around the first and second cylinder for the wavy fin configuration at  $Re = 100$ , laminar model results



**Figure 1b.** Velocity vector, streamline pattern and heat transfer coefficient at  $Z = F_s/12$  plane around the first and second cylinder for the wavy fin configuration at  $Re = 500$ , laminar model results

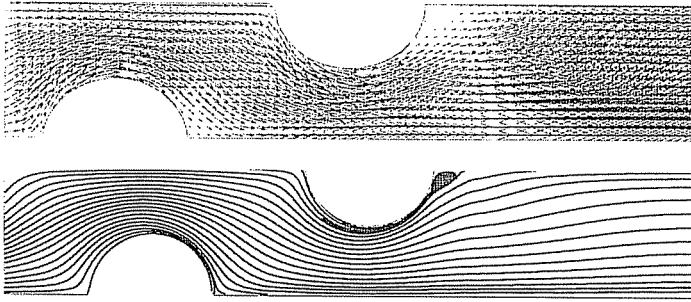


**Figure 1c.** Velocity vector, streamline pattern and heat transfer coefficient at  $Z = F_s/12$  plane around the first and second cylinder for the wavy fin configuration at  $Re = 1500$ , laminar model results

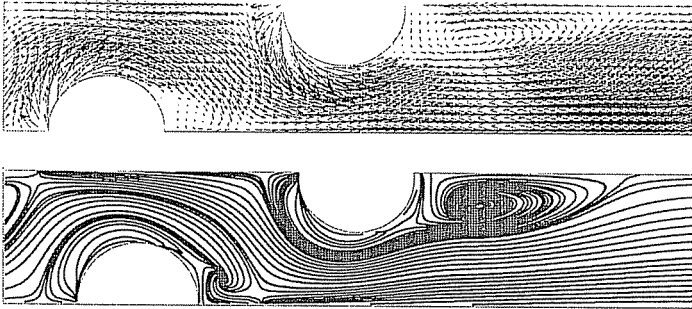


**Figure 1d.** Velocity vector, streamline pattern and heat transfer coefficient at  $Z = F_x / 12$  plane around the first and second cylinder for the wavy fin configuration at  $Re = 1500$ , RNG  $k - \varepsilon$  model results

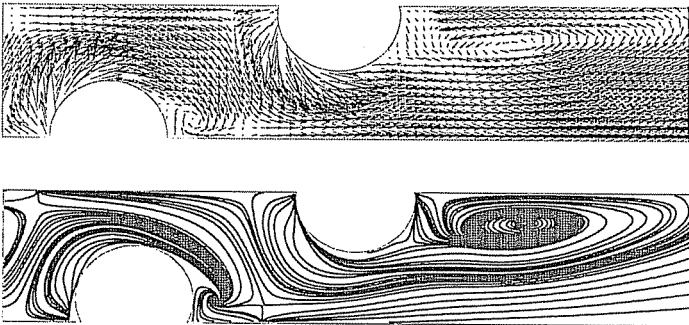
Figure 2 shows velocity vector and corresponding streamline patterns around the third and the fourth cylinders at  $Z = F_x / 12$  plane for  $100 \leq Re \leq 1500$ . At  $Re = 100$ , the horseshoe vortex formation in front of the cylinders is not observed and only a very small recirculation region behind the fourth cylinders is observed (Fig. 2a). The length of the recirculation region increases as the Reynolds number is increased as it is clearly seen in Figs. 2a-d. For  $Re \geq 500$ , a focus of separation with its saddle point behind the third cylinder and a recirculation zone behind the fourth cylinder can be clearly seen (Figs. 2b-d). The formation of these flow patterns depend strongly on the value of the Reynolds number as they are not observed at  $Re = 100$ . Different flow patterns are also observed when the laminar model and RNG  $k - \varepsilon$  model simulations at  $Re = 1500$  are compared with each other (Figs. 2c-d). Much larger areas of the horseshoe vortices are observed in front of the third and the fourth cylinders for the laminar model compared to the RNG  $k - \varepsilon$  model. In addition, much larger length of the recirculation region behind the fourth cylinder is obtained for the laminar model compared to the RNG  $k - \varepsilon$  model at  $Re = 1500$ .



**Figure 2a.** Velocity vector and streamline pattern at  $Z = F_s / 12$  plane around the third and fourth cylinder for the wavy fin configuration at  $Re = 100$ , laminar model results

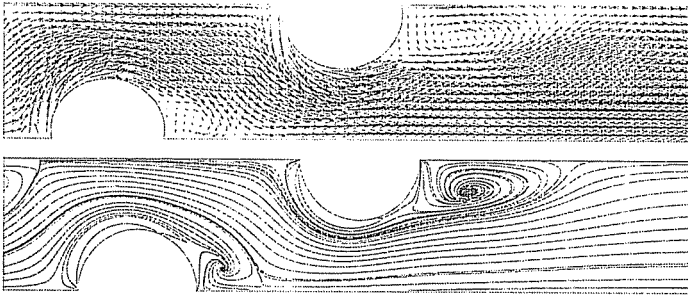


**Figure 2b.** Velocity vector and streamline pattern at  $Z = F_s / 12$  plane around the third and fourth cylinder for the wavy fin configuration at  $Re = 500$ , laminar model results



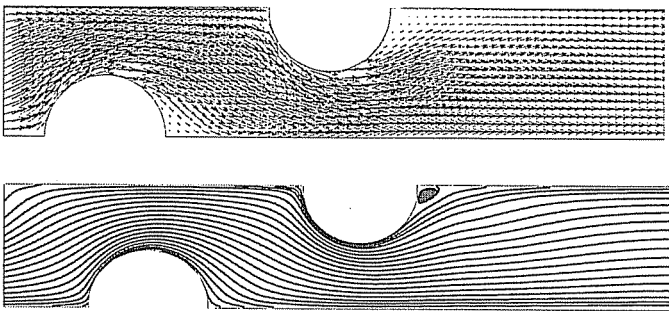
**Figure 2c.** Velocity vector and streamline pattern at  $Z = F_s / 12$  plane around the third and fourth cylinder for the wavy fin configuration at  $Re = 1500$ , laminar model results



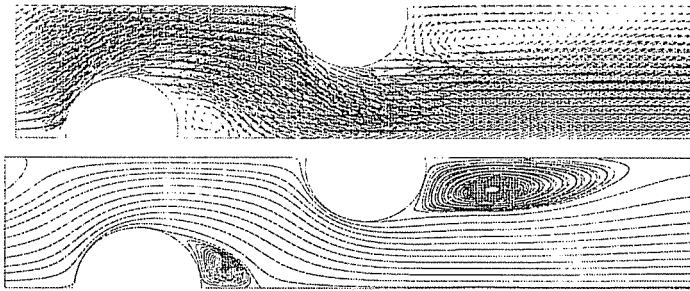


**Figure 2d.** Velocity vector and streamline pattern at  $Z = F_s/12$  plane around the third and fourth cylinder for the wavy fin configuration at  $Re = 1500$ , RNG  $k - \varepsilon$  model results

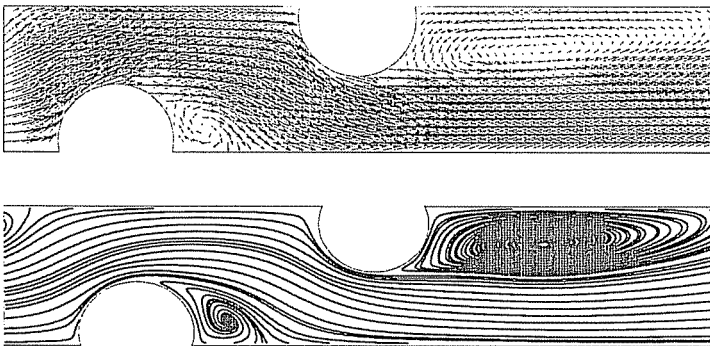
Figures 3a-d shows velocity vector and streamline pattern at  $Z = F_s/2$  plane (in the middle of the heat exchanger flow passage) around the third and the fourth cylinders between  $100 \leq Re \leq 1500$ . The flow patterns are similar to the ones obtained for  $Z = F_s/12$  plane in that as the Reynolds number is increased, the length of the recirculation region also increases. If the laminar model and the RNG  $k-\varepsilon$  model simulations at  $Re = 1500$  are compared with each other (Fig. 3c-d), much smaller recirculation length is observed behind the fourth cylinder for the RNG  $k-\varepsilon$  model simulation.



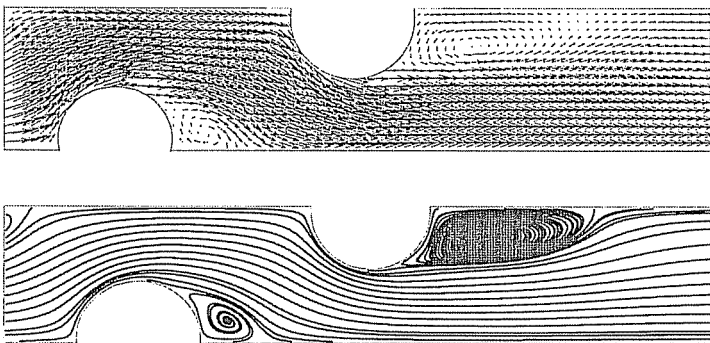
**Figure 3a.** Velocity vector and streamline pattern at  $Z = F_s/2$  plane around the third and fourth cylinder for the wavy fin configuration at  $Re = 100$ , laminar model results



**Figure 3b.** Velocity vector and streamline pattern at  $Z = F_s / 2$  plane around the third and fourth cylinder for the wavy fin configuration at  $Re = 500$ , laminar model results



**Figure 3c.** Velocity vector and streamline pattern at  $Z = F_s / 2$  plane around the third and fourth cylinder for the wavy fin configuration at  $Re = 1500$ , laminar model results



**Figure 3d.** Velocity vector and streamline pattern at  $Z = F_s / 2$  plane around the third and fourth cylinder for the wavy fin configuration at  $Re = 1500$ , RNG  $k - \epsilon$  model results

If the flow patterns obtained at  $Z = F_s/12$  and  $Z = F_s/2$  planes are compared with each other, (Fig. 2 and 3), it can be concluded that, there is no significant difference between the two planes at  $Re=100$  in terms of velocity vector and streamlines. But it is interesting to note that for the laminar model simulations at  $Re = 500, 100,$  and  $1500,$  much larger area for the recirculation region behind the third and the fourth cylinders are obtained at  $Z = F_s/2$  plane. Moreover, the horseshoe vortex area in front of the cylinders are very clearly seen at  $Z = F_s/12$  planes, while they cannot be seen at  $Z = F_s/2$  plane.

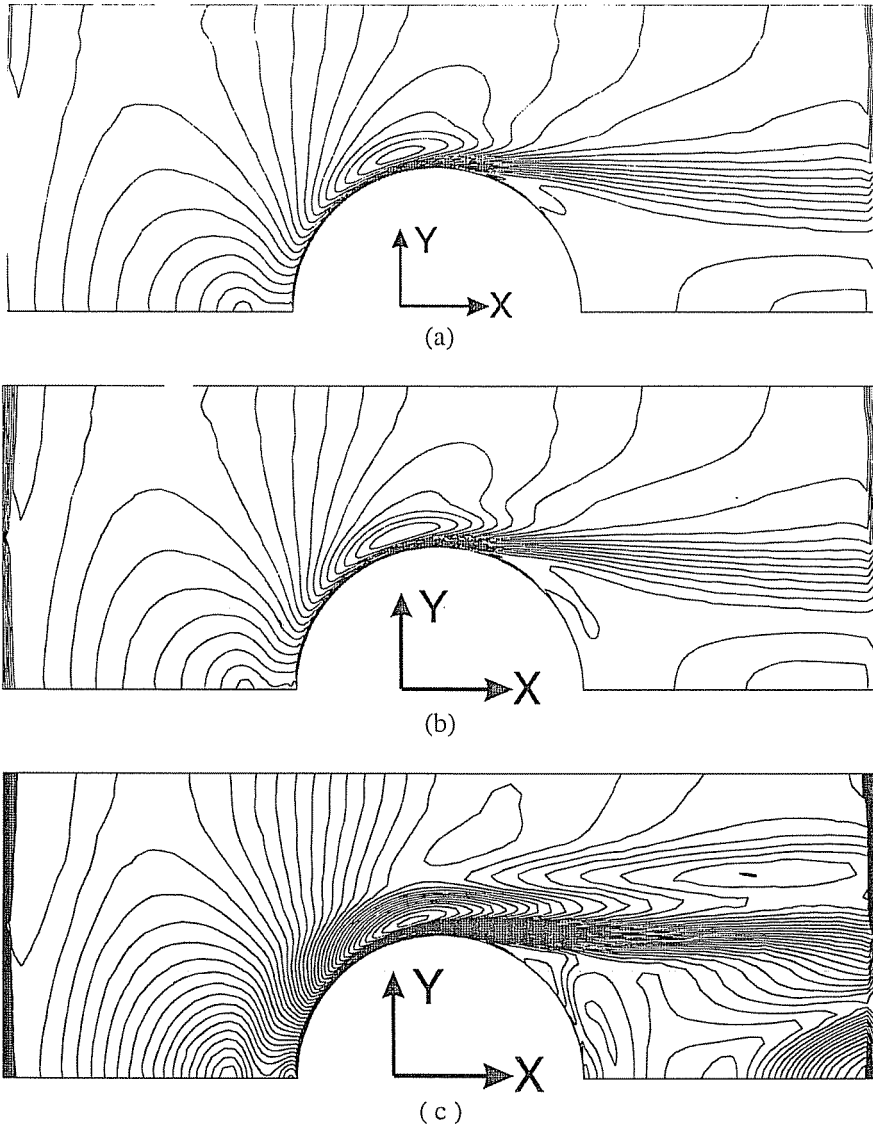
The development of the flow structure and the corresponding horseshoe vortex formation mechanism were further investigated for different turbulence model simulations for  $F_s = 0.233$  at  $Re = 4000$ . Figure 4 shows time averaged vorticity contours around the tube surface in the  $Z = 0$  plane. Both Standard  $k-\varepsilon$  (Fig. 4a) and RNG  $k-\varepsilon$  (Fig. 4b) turbulence models reproduce very similar horseshoe vortex mechanism in front of the cylinder. The LES (Fig. 4c) on the other hand reproduces more compact and stronger horseshoe vortex mechanism compared to the RANS equations based turbulence models. The location of the horseshoe vortex for the LES is also different than the other turbulence models: It moves further downstream around the cylinder surface resulting in better heat transfer performance in the upstream half of the tube as well as higher pressure rise in the wake of the cylinder.

The friction factor  $f$  and Colburn factor  $j$  are known as good design parameters for the compact heat exchangers. Generally, the dimensionless heat transfer characteristics are defined in terms of the  $j$  factor as it is directly related to the surface Nusselt number. The friction factor  $f$  is equally important because it determines the pressure drop across the heat exchanger. Both factors are calculated as follows:

$$f = \frac{P_{exit} - P_{\infty}}{\rho U_{\infty}^2} \times \frac{F_s}{L_f} \quad (11)$$

$$j = \frac{Nu}{Re_D Pr^{1/3}} \quad (12)$$

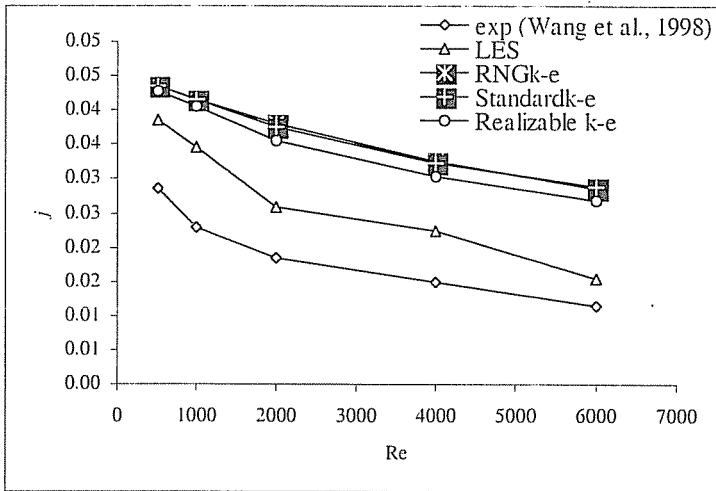
Figure 5 shows the calculated values of the  $j$  factor, against Reynolds number considering different turbulence model simulations for four cylinder and wavy fin configuration for  $F_s = 0.233$ . Experimental data of Wang et al. (10) is also included for comparison. As it is seen from Figure 5a that,  $j$  factor decreases with increasing Reynolds number. All numerical model simulation results overestimate the experimental results. The calculated values for the  $j$  factor obtained from RANS equations based turbulence model simulations are very close to each other. On the other hand, LES simulation gives better agreement with the experimental data compared to the RANS equations based turbulence model simulations. This is due to the fact that RANS equations based turbulence models do not consider the velocity changes with time. Another fact is the turbulence effects are not considered in the experiments. If the three turbulence model simulations are compared with each other, Realizable  $k-\varepsilon$  model gives better results for the calculated values of the  $j$  factor than the Standard  $k-\varepsilon$  and the RNG  $k-\varepsilon$  turbulence models. The values obtained from RANS equations based turbulence model simulations are higher than those obtained from LES simulations.



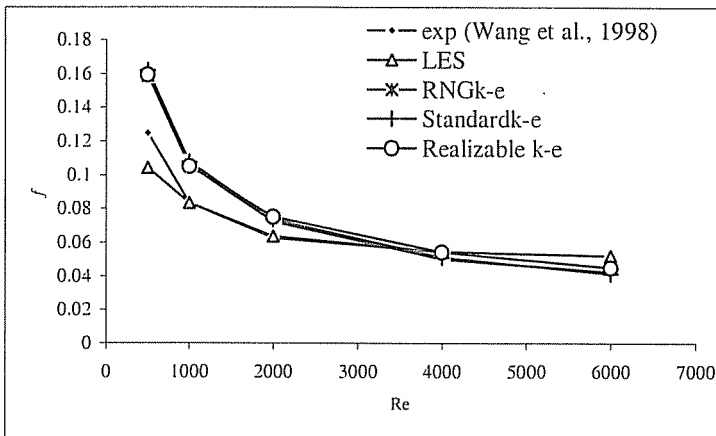
**Figure 4.** Time averaged vorticity contours around the cylinder surface at  $F_s = 0.233$ ,  $Re = 4000$ , in the  $Z = 0$  plane, a) Standard  $k-\varepsilon$  model b) RNG  $k-\varepsilon$  model c) LES method

Figure 5b represents calculated values and experimental data of  $f$  factor, against Reynolds number based on outer tube diameter considering different turbulence model simulations for four cylinder and wavy fin configuration for  $F_s = 0.233$ . Experimental

data of Wang et al. (10) is also included for comparison. As the Reynolds number is increased,  $f$  decreases. All results are in good agreement with the experimental data. The turbulence model that best fits with the experimental data is the LES method as it is clearly seen from Fig. 5b.



(a)



(b)

**Figure 5.** Colburn factor (a) and Friction factor (b) as a function of Reynolds number obtained for different turbulence model simulations for wavy, four cylinder, staggered layout heat exchanger geometry for  $F_s = 0.233$

#### 4. CONCLUSIONS

Laminar and turbulence models are employed to determine flow characteristics in the heat exchanger flow passage. It is found that heat transfer coefficients increase when the Reynolds number is increased. Higher heat transfer coefficients are obtained in front of the cylinders due to the existence of the horseshoe vortex and lower heat transfer coefficients are obtained in the wake of the cylinders due to the dead flow zone. Much larger areas of the horseshoe vortices are observed in front of the third and the fourth cylinders for the laminar model compared to the RNG  $k-\varepsilon$  model. In addition, much larger length of the recirculation region behind the fourth cylinder is obtained for the laminar model compared to the RNG  $k-\varepsilon$  model at  $Re = 1500$ . If the laminar model and the RNG  $k-\varepsilon$  model simulations at  $Re = 1500$  are compared with each other much smaller recirculation length is observed behind the fourth cylinder for the RNG  $k-\varepsilon$  model simulation. If the flow patterns obtained at  $Z = F_x/12$  and  $Z = F_x/2$  planes are compared with each other, it can be concluded that, there is no significant difference between the two planes at  $Re = 100$  in terms of velocity vector and streamlines. But it is interesting to note that for the laminar model simulations at  $Re = 100, 500, \text{ and } 1500$ , much larger area for the recirculation region behind the third and the fourth cylinders are obtained at  $Z = F_x/2$  plane. Moreover, the horseshoe vortex area in front of the cylinders are very clearly seen at  $Z = F_x/12$  planes, while they cannot be seen at  $Z = F_x/2$  plane. The location of the horseshoe vortex for the LES is also different than the other turbulence models: It moves further downstream around the cylinder surface resulting in better heat transfer performance in the upstream half of the tube as well as higher pressure rise in the wake of the cylinder. LES simulation gives better agreement with the experimental data compared to the RANS equations based turbulence model simulations.

#### 5. REFERENCES

1. Kundu, D., Skeikh, A.H., Lou, D.Y.S., "Heat Transfer Predictions in Cross Flow Over Cylinders Between Two Parallel Plates", *Numerical Heat Transfer, Part A*, 19: 361-377, 1991.
2. Tsai, S.F., Sheu, T.W.H., 1998. "Some Physical Insights into a Two- Row Finned Tube Heat Transfer", *Computers and Fluids*, 27(1): 29-46, 1993.
3. Kundu, D., Skeikh, A.H., Lou, D.Y.S., "Heat Transfer in Crossflow Over Cylinders Between Two Parallel Plates", *Numerical Heat Transfer, Part A*, 114: 558-564, 1992.
4. Shah, R.K., Heikal, M.R., Thonon, B., "Advances in Numerical Analysis of Fluid Flow, Heat Transfer, and Flow Friction Characteristics of Compact Heat Exchanger Surfaces. Proceedings", *Int. Symposium on Fluid Flow and Heat Transfer*, 68-87, Ankara, Turkey, 1997.
5. Ciofalo, M., Stasiek, J., Collins, M.W., "Investigation of Flow and Heat Transfer in Corrugated Passages -II. Numerical Results", *Int. J. Heat and Mass Transfer*, 39: 165-192, 1996.
6. Speziale, C.G., "On Nonlinear  $k-l$  and  $k-\varepsilon$  Models of Turbulence", *J. Fluid Mechanics*, 178: 459-475, 1987.

7. Rabbit, M.J., "Some Validation of Standard, Modified and Non-Linear  $k - \epsilon$  Turbulence Models", *Int. J. For Numerical Methods in Fluids*, 24:965-986, 1997.
8. Yakhot, V., Orszag, S.A., Thangam, S., Gatski, T.B., Speziale, C.G., "Development of Turbulence Models for Shear Flows by a Double Expansion Technique", *Physics of Fluids*, 4(7):1540-1520, 1992.
9. Smagorinsky, J.S., "General Circulation Experiments With the Primitive Equations: Part I, Basic Experiments", *Monthly Weather Review*, 91: 99-164, 1963.
10. Lilly, D.K., "On the Application of Eddy Viscosity Concept in the Inertial Sub-range of Turbulence", NCAR Manuscript 123, 1966.
11. Wang, C.C., Tsai, Y.M., Lu, D.C., "Comprehensive Study of Convex-Louver and Wavy Fin- and Tube Heat Exchangers", *Journal of Thermophysics and Heat transfer*, 12(3): 423-430, 1998.





## DETERMINATION OF OPTIMUM GEOMETRICAL PARAMETERS OF COMPACT HEAT EXCHANGERS USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Azize AKKOCA

Ç.Ü., Department of Mechanical Engineering, Adana / Türkiye

**ABSTRACT :** *Present study provides information on determination of an optimum geometrical parameters on compact heat exchangers using Computational Fluid Dynamics. Various geometrical parameters are tested in order to determine optimum dimensions in terms of heat transfer and pressure drop performance of the heat exchanger for the plate fin and tube heat exchangers having plain fin configuration operating under laminar flow condition. It is decided that the optimum value for the non-dimensional fin spacing is  $F_s = 0.233$  for the present Reynolds numbers and fin spacing values. In addition, four cylinder configuration of staggered tube layout and wavy fin configuration present good results in terms of heat transfer and pressure drop performance. The validity of the present numerical study is tested against experimental data and it is shown that the results are in good agreement with the experimental data.*

### KOMPAKT ISI EŞANJÖRLERİNDE OPTİMUM GEOMETRİK PARAMETRELERİN HESAPLI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ

**ÖZET :** *Bu çalışmada; bir kompakt ısı eşanjörünün çeşitli geometrik parametrelerinin, ısı eşanjörünün ısı transferi ve basınç kaybı gibi performans değerlerine karşı etkileri araştırılmış ve laminar akım koşullarında optimum geometrik parametreleri, Hesaplı Akışkanlar Dinamiği yöntemiyle belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, araştırılan Reynolds sayısı aralığında, optimum parametreler; boyutsuz plaka açıklığı  $F_s = 0.233$ , saptırmalı boru dizilişi düzenine sahip, dalgalı plakalı ve dört-borulu konfigürasyon olarak belirlenmiştir. Bu numerik çalışmanın sonuçları, deneysel çalışmalarla karşılaştırılmış ve uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.*

## 1. INTRODUCTION

Technologies such as refinery, petrochemical, motor vehicle, drying, process, food, electronics, power production, manufacturing, and chemical, that recover heat and/or cooling energy reduce the cost and consumption of energy because the recaptured energy is potentially useful for heating and/or cooling applications: Waste heat from the exhaust and the engine cooling water of a natural gas or diesel engine driven electric generator can be recovered and used for water and space heating. Heat, recovered from the exhaust of a gas turbine, can produce steam that drives a turbo-generator. In commercial buildings, Cogeneration can also reduce the energy cost. Cogeneration units have a successful track record in a wide range of commercial applications for buildings that have high hot water requirements, such as restaurants, colleges, laundries, hotels and hospitals. In these buildings, using recovered heat to heat or preheat water is very cost-effective. Space and domestic water heating can be also accomplished by recovering the waste heat from a heat recovery system. All of the above-mentioned energy recovery systems involve a heat exchanger that is used to transfer of thermal energy between two or more fluids flowing in the system. Heat exchangers are also widely used in cooling of electronic devices and HVAC&R (heating, ventilating, air conditioning and refrigeration) applications where high heat transfer performance is obtained in a very small heat transfer surface area. Heat exchangers composed of continuous parallel fins attached perpendicularly to the outside of a tube bundle employ a compact surface with low weight, support and structure; small volume; easy transport and higher thermal effectiveness compared to the other types. These types of heat exchangers are generally referred as *plate fin and tube* heat exchangers in the literature. In Fig. 1, typical plate fin and tube heat exchanger configurations with plain fin patterns that are used in the present investigation can be seen. Characteristic geometrical parameters for a typical plate fin and tube heat exchanger may be classified as follows:

$d$  = tube diameter

$s$  = fin spacing

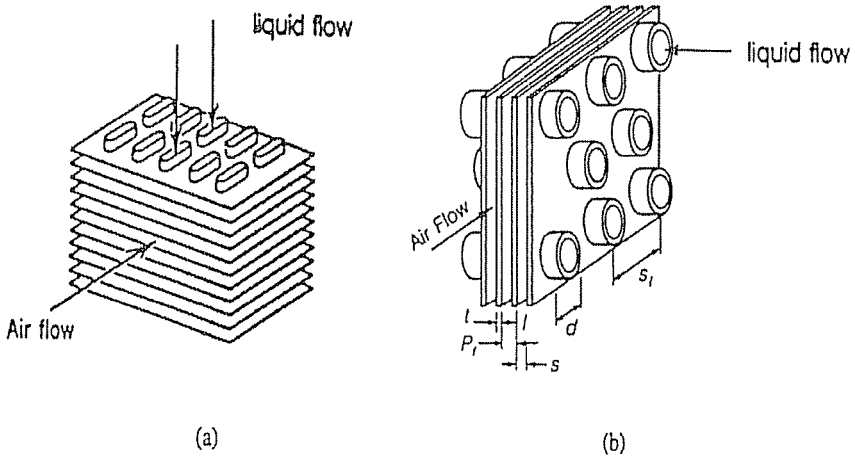
$P_f$  = fin pitch

$S_l$  = distance between tube centers

$t$  = fin thickness

$N$  = tube row number

$F_s = s/d$  = non-dimensional fin spacing



**Figure 1.** (a) Plain fin configuration with flat tubes (b) Plain fin configuration with round tubes (1)

The compact heat exchanger considered in the present investigation employs a compact surface on the air side regarding its fin density. The fin density is expressed in terms of number of fins per meter (fins/m) or number of fins per inch (fins/in). In the present investigation, a series of test simulations have been implemented to obtain an optimum fin density. The test simulations are carried on in order to determine optimum value of tube row number, tube layout (inlined or staggered), and fin configuration (plain or wavy). All of the optimization studies are performed under laminar flow assumption. The simulations are carried out using the FLUENT finite volume code.

In the literature, effects of several geometrical parameters such as tube row number, fin spacing, tube arrangement, distance between tubes, tube shapes, etc. on the performance of plate fin and tube heat exchangers have been investigated by some authors (2-6). Some investigators performed experimental studies regarding flow and heat transfer characteristics of plate fin and tube heat exchangers. (7-14). Some of them used numerical studies to resolve heat transfer, fluid flow, and performance parameters of these types of heat exchangers (15-22).

## 2. NUMERICAL PROCEDURE

The physical aspects of any fluid flow and heat transfer phenomenon are governed by three fundamental principles: Mass is conserved; Newton's second law and Energy is conserved. These fundamental principles can be expressed in terms of mathematical equations in the form of integral or partial differential equations. Computational Fluid Dynamics (CFD) and Computational Heat Transfer (CHT) are the science of replacing the integrals or partial derivatives in the conservation equations with discretized algebraic forms, to obtain numbers for the flow field values at discrete points in time and/or space and to obtain a numerical description of the complete flow field of interest.

In the present study, FIDAP finite element code is used for the generation of computational meshes for the plate fin and tube heat exchanger geometries and the

FLUENT finite volume code is used for specifying boundary conditions, material properties, basic equations to be solved, setting solution control parameters, calculating the solution and post processing the results. The fluid is considered to be isothermal, incompressible and Newtonian (viscous) with constant properties and the flow is assumed to be three-dimensional and transient. 3-D Navier-Stokes equations and continuity equations are solved for the solution of the velocity and pressure distribution of the flow field; while the energy equation is solved for the determination of temperature field.

### 2.1. Governing Equations for Fluid Flow and Heat Transfer

In the present study, in the absence of an external body force, differential forms of the governing continuity, momentum and energy equations for the laminar case used in the present study can be given as follows:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

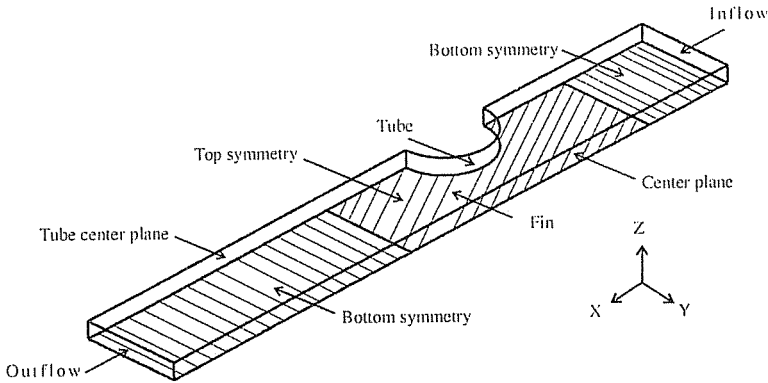
$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial(u_j u_i)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \nu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (u_j T) = \alpha \frac{\partial}{\partial x_j} \frac{\partial T}{\partial x_j} \quad (3)$$

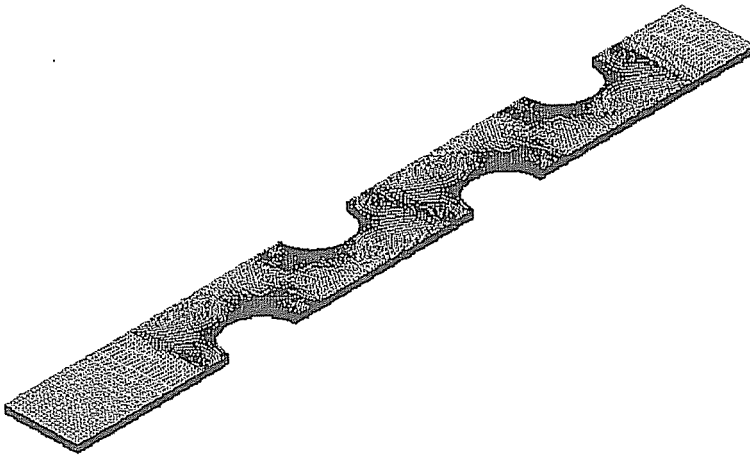
### 2.2. Computational Domain and Boundary Conditions

The heat exchanger geometry shown in Fig. 1 is used to predict the flow and heat transfer properties in the flow passage. The computational domain for the heat exchanger model is given in Fig. 2.

The 3-D geometry of the domain is decomposed into 2-D sub-surfaces. These surfaces are entitled as center plane, tube center plane, top symmetry, bottom symmetry, inflow, outflow, as shown in Fig. 2. Secondly the finite element mesh is generated on each surface and throughout the flow domain. The 3-D unstructured mesh configuration containing non-uniformly grid points for four tube row of staggered layout is illustrated in Fig. 3. The 3-D finite element mesh with eight noded brick elements are used to mesh the whole computational domain while four-noded quadrilateral control volume elements are used to mesh the surfaces. The critical regions require attention in the development of the mesh. Therefore at the fin and the tube wall surfaces and in regions close to these surfaces a very fine mesh is used in order to accurately resolve the pressure and velocity gradients as well as secondary flows occurred adjacent to those regions.



**Figure 2.** Computational domain for the heat exchanger model



**Figure 3.** Global mesh of the computational domain for four row of staggered layout

**Velocity Inlet** boundary conditions are used at the inflow section to define the velocity and temperature of the flow at inlet boundaries. It is assumed that only a constant and uniform streamwise-direction velocity component exists and other velocity components are assumed to be zero. Free **outflow** boundary condition is used to model flow exit where the details of the flow velocity and pressure are not known prior to solution of the flow problem so that mass balance correction is applied at the outflow boundary and other data at the exit plane is extrapolated from the interior. **Wall** boundary condition is used to bound fluid and solid regions at the fin and tube surfaces: The boundary conditions are no-slip ( $u = v = w = 0$ ) and constant temperature at the solid walls. **Symmetry** boundary conditions at center plane, tube center plane, top symmetry and bottom symmetry: Symmetry zones are the repeating boundaries used to reduce computational effort.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

The design of a heat exchanger involves several considerations with respect to its geometrical and operating parameters. There are a number of companies for designing, marketing and selling heat exchangers throughout the world. Unfortunately, there are no standard parameters concerning geometrical and operating characteristics of the plate fin and tube heat exchangers. The designers even do not want to share their typical exchangers' characteristic geometrical and/or operating parameters because of their commercial rights. Therefore it is thought to do an optimization study to find optimum geometrical dimensions of a model heat exchanger.

First of all a mesh sensitivity analysis is made and it has been observed that an unstructured mesh system containing non-uniformly distributed (228 x 46 x 20) grid points are considered to be fine enough to predict the flow features and corresponding heat transfer characteristics in the heat exchanger passage. Secondly, the validity of the present numerical study has been tested against experimental data of Seshimo and Fujii (2) in terms of heat transfer coefficient as a function of Reynolds number. The geometry of the test model with a plain fin and a single cylinder configuration has a non-dimensional fin length of  $L_f = 1.86$ , non-dimensional fin height of  $W = 2.142$ , non-dimensional fin spacing of  $F_s = 0.176$ , and tube diameter of  $d = 9.52$  mm. Figure 4 illustrates heat transfer coefficients obtained from the present numerical simulations and experimental data of Seshimo and Fujii (2), for the specified heat exchanger model. Even if the numerical results are slightly overestimate the experimental data, the results are in good agreement with the experimental data as shown in Fig. 4.

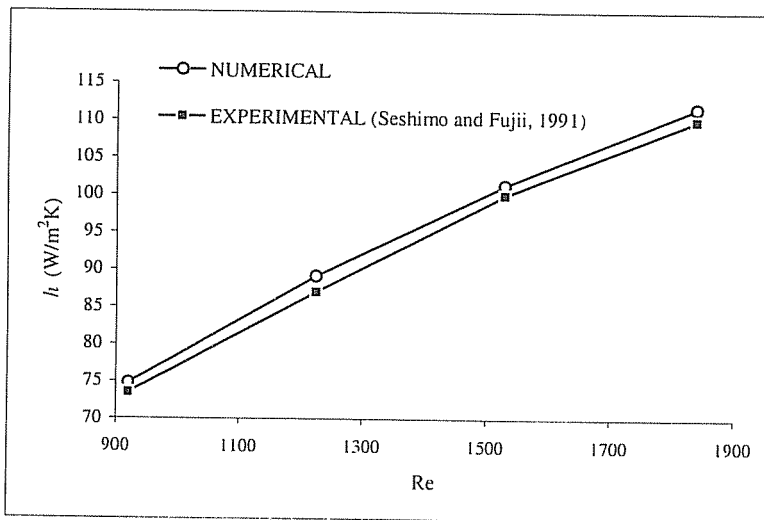
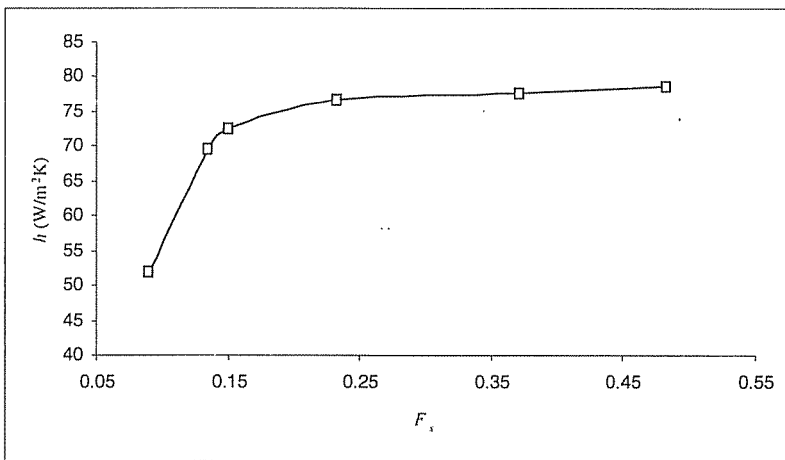


Figure 4. Comparison of experimental data and numerical results of heat transfer coefficients as a function of Reynolds number

### 3.1. Effect of Fin Spacing

A test case for plain fin and a single cylinder configuration has been performed with a series of steady state simulations for 3-D, incompressible, laminar flow conditions with fin spacings in the  $0.03 \leq F_s \leq 0.468$  range for the tube diameter based Reynolds number ranging from 600 to 2000. Figure 5 shows numerical results of variation of average heat transfer coefficient as a function of fin spacing for  $Re = 920$ . As indicated in the figure, it is clearly seen that as the fin spacing is increased there is a sharp increase in the average heat transfer coefficient for  $F_s \leq 0.15$ . In the range  $0.15 \leq F_s \leq 0.25$ , the average heat transfer coefficient increases gradually. For  $F_s \geq 0.35$ , the average heat transfer coefficient is nearly unchanged.



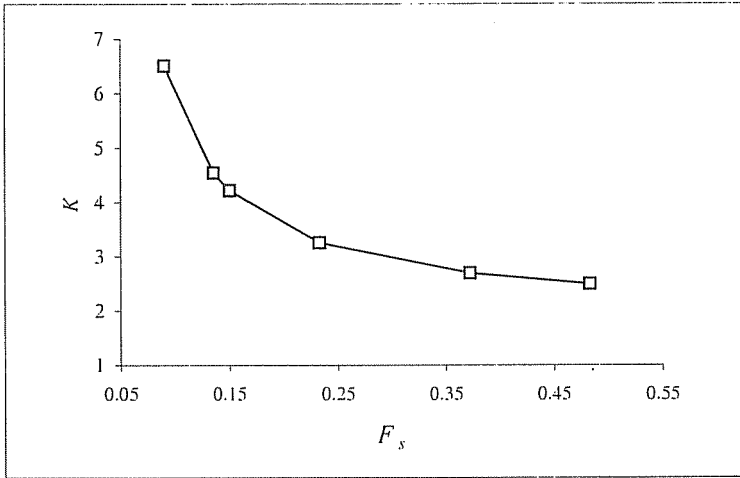
**Figure 5.** Average heat transfer coefficient as a function of fin spacing for  $Re=920$

Figure 6 shows coefficient of pressure drop between the inlet and outlet sections of the heat exchanger as a function of fin spacing for  $Re = 920$ . The coefficient of pressure drop is calculated as

$$K = \frac{P_{in} - P_{exit}}{\frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2} \quad (4)$$

where  $p_{in}$  and  $p_{exit}$  are the pressure at the inlet and exit sections of the heat exchanger, respectively. These pressures are obtained by firstly creating iso surfaces at the inlet and exit sections of the heat exchanger, secondly, getting average static pressures at the specified surfaces. From the figure, it is possible to see three different pressure drop regions when different fin spacing ranges are taken into account. It is clear that as the fin spacing is increased, the pressure drop decreases sharply for  $F_s \leq 0.15$ . Between

$0.15 \leq F_s \leq 0.25$  the pressure drop again decreases gradually. Finally, for  $F_s \geq 0.35$  the pressure drop seems to get a constant value for constant Re.



**Figure 6.** Pressure drop coefficient between the inlet and outlet sections of the heat exchanger as a function of fin spacing for  $Re = 920$

Mendez et al. (16) stated that a good design criterion may be based on;

$$\overline{Nu} / (K F_s) \quad (5)$$

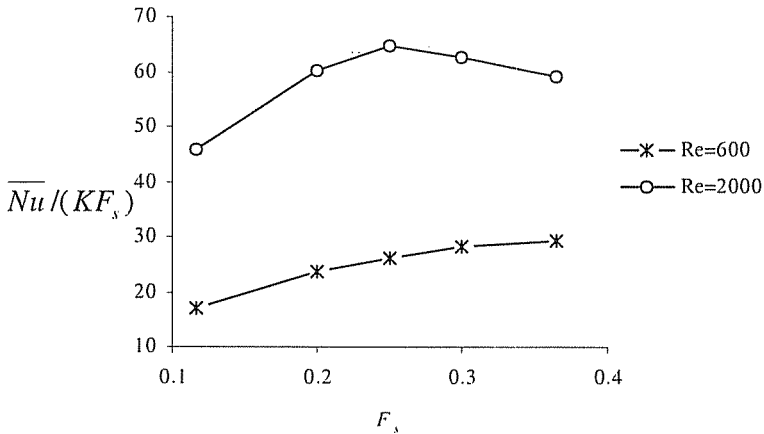
that is, the heat transfer per unit length of the tube and per unit pressure drop, since this will take into account both compactness and pumping requirements for the heat exchanger. In Eq. (5)  $\overline{Nu}$  is the overall Nusselt number and the authors define it as follows:

$$\overline{Nu} = Re Pr \frac{W F_s}{A_f / d^2 + \pi F_s} \overline{T}_{exit} \quad (6)$$

where  $A_f / d^2$  is the nondimensional fin surface,  $\pi F_s$  is the nondimensional tube surface,  $W F_s$  is the nondimensional flow area and  $\overline{T}_{exit}$  is the average temperature at the exit section. Figure 7 illustrates  $\overline{Nu} / (K F_s)$  as a function of fin spacing,  $F_s$ , for  $Re = 600$  and  $Re = 2000$ . It is clearly seen from Fig. 7 that as the fin spacing is increased,  $\overline{Nu} / (K F_s)$  increases and much higher  $\overline{Nu} / (K F_s)$  values are obtained for  $Re = 2000$  compared to those for  $Re = 600$ . This is due to the fact that heat transfer rate increases and pressure decreases with the increase in the Reynolds number and the most significant effect



is due to the developing boundary layers in front of the tube which lead to the larger mixing flow conditions at higher Reynolds number. For  $Re = 600$  and  $Re = 2000$ , the value of  $\overline{Nu}/(K.F_s)$  increases sharply with  $F_s$  in the  $0.116 \leq F_s \leq 0.20$  range where the portion of the tube in the flow passage is very small and the fin surface has a primary importance in the calculation of  $\overline{Nu}/(K.F_s)$ . In the  $0.20 \leq F_s \leq 0.25$  range, there is a slower increase in  $\overline{Nu}/(K.F_s)$  for  $Re = 600$  and  $Re = 2000$ . But after a certain value of fin spacing, ( $F_s > 0.25$  for  $Re = 2000$ ),  $\overline{Nu}/(K.F_s)$  values start to decrease with  $F_s$  and the combined effect of tube and fin surfaces on the calculated value of  $\overline{Nu}/(K.F_s)$  is observed. It is important to indicate here that for small fin spacing values,  $\overline{Nu}/(K.F_s)$  increases while for larger fin spacing values, it decreases. Thus there is an optimum fin spacing range corresponding to the maximum  $\overline{Nu}/(K.F_s)$ . This optimum range cannot be seen clearly for  $Re = 600$ . Then the optimum value of  $F_s$  for the present study can be considered to be in the  $0.20 \leq F_s \leq 0.30$  range for the present Reynolds numbers.



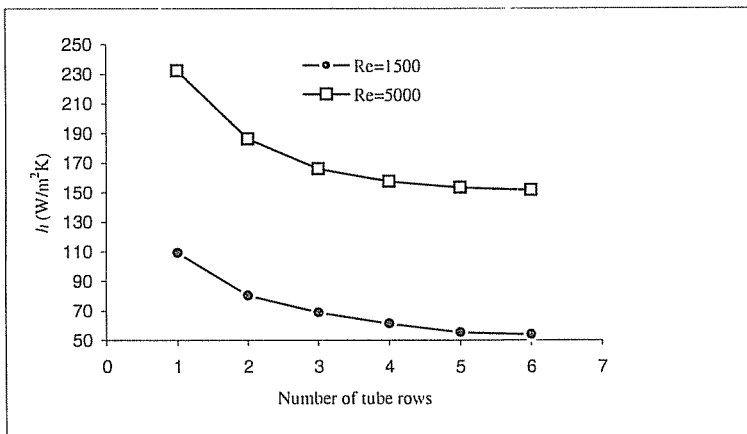
**Figure 7.**  $\overline{Nu}/(K.F_s)$  as a function of  $F_s$  for  $Re = 600$  and  $Re = 2000$  for the single cylinder configuration

Therefore, in the present study, it is decided to select an optimum fin spacing value regarding both heat transfer and pressure drop data. The optimum fin spacing should correspond to minimum pressure drop and maximum heat transfer data. Considering Figs. 5 and 6, the optimum fin spacing range may be selected as  $F_s \geq 0.20$  where the heat transfer coefficient reaches its highest value and the pressure drop decreases in this range of fin spacing. However, these two figures are not sufficient to optimize the geometry of heat exchangers. But Fig. 7 presents the optimum value for the fin spacing in the present study and it is selected as  $F_s = 0.233$  for the investigated Reynolds numbers and fin spacing values. This selected fin spacing value also corresponds to the

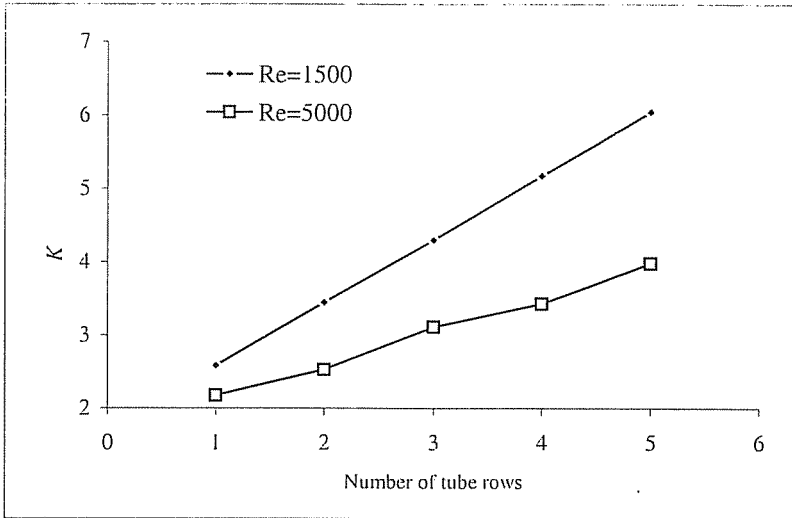
commercial heat exchangers used in the industry which is  $0.128 \leq F_v \leq 0.240$  as stated by (16).

### 3.2. Effect of Number of Tube Rows

The effect of tube row numbers on the heat transfer performance of the heat exchanger for the selected optimum fin spacing value of  $F_s = 0.233$  is investigated for  $Re = 1500$  and  $Re = 5000$  (Fig. 8). It is clearly seen from Fig. 8 that the heat transfer coefficient increases with an increase in the Reynolds number and decreases as the tube row number is increased. Higher heat transfer coefficients are obtained for the smaller number of tube rows due to the fact that when the number of tube row is low, a longer boundary layer developing from the beginning of the fin surface may result in better heat transfer performance. In addition, a large amount of ineffective area that does not take part in the transfer of heat may occur on the fin surface in the case of higher tube row numbers. One can also easily see from Fig. 8 that the effect of tube row number on the heat transfer coefficient becomes comparatively small as the tube row number is greater than 4. Moreover, the fact that heat exchanger pressure drop is highly increased by increasing the number of tube rows, as shown in Fig. 9, should also be taken into consideration. For this reasons, 4 cylinder configuration could be regarded as an optimum multi-row fin and tube heat exchanger.



**Figure 8.** Average heat transfer coefficient on the fin surface as a function of number of tube rows for  $F_s = 0.233$ ,  $Re=1500$  and  $Re=5000$ , inlined arrangement



**Figure 9.** Pressure drop between inlet and outlet sections of the heat exchanger as a function of number of tube rows  $F_s = 0.233$ ,  $Re=1500$  and  $Re=5000$ , inlined arrangement

### 3.3. Effect of Cylinder Layout (Inlined- Staggered)

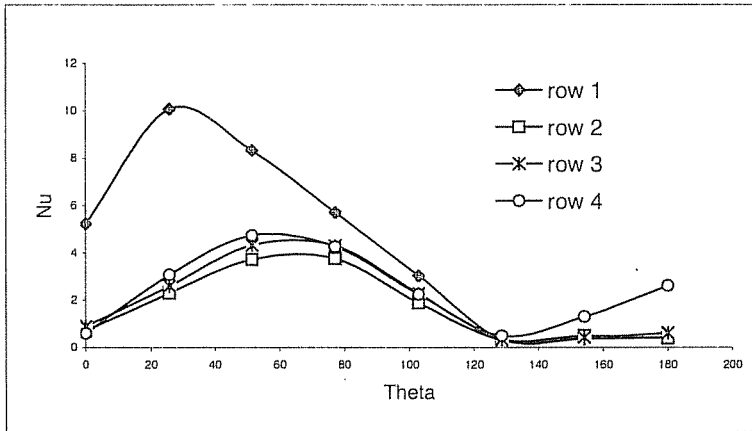
In the present day heat exchanger machines, generally inlined and staggered cylinder layouts are used. Both layouts have different features in terms of flow dynamics in the heat exchanger passage. The inlined layouts are preferred because they prevent dust and fouling in the heat exchanger flow passages. On the other hand, the staggered layouts are able to increase the turbulence and the heat transfer coefficient, and can serve more compact structure compared to the inlined layouts.

The variations of the local Nusselt number,  $Nu$  as a function of the angle  $\theta$  around the tube surface from the 1st to the 4th cylinder at  $Z = 0.20$  for both inlined and staggered layouts are shown in Fig. 10a and 10b, respectively. The numerical calculations are carried out for  $F_s = 0.233$  and  $Re_s = 600$ . The local heat transfer coefficient,  $h$  can be expressed in the non-dimensional form by the local Nusselt number defined as follows:

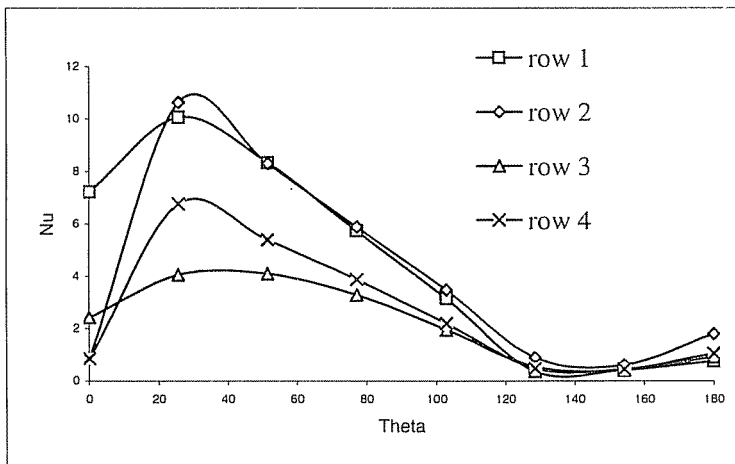
$$Nu = \frac{hs}{k} \tag{7}$$

It is seen in Fig. 10a that, for the inlined layout, the local Nusselt number has a maximum value at  $\theta = 26^\circ$  for the 1st cylinder, while for cylinders 2 to 4 the maximum  $Nu$  occurs at about  $\theta = 52^\circ$ . On the other hand, for the staggered layout, the maximum  $Nu$  occurs at  $30^\circ$  for the 2nd cylinder and its location corresponds to that for the 1st cylinder as seen in Fig. 10b. It is also found that the peak value obtained for the

staggered layout is higher than that for the inlined layout. Based on Figs. 10a and b, it can be said that the maximum value of  $Nu$  may correspond to the location of horseshoe vortex system occurs in front of the tube. In the wake of the tube, the local Nusselt number becomes much smaller due to dead flow zone caused by the recirculation region, which indicates poor heat transfer in that region.



(a)



(b)

**Figure 10.** The variations of the local Nusselt number,  $Nu$  around the tube surface at  $Z=0.20$ , for  $F_s = 0.233$  and  $Re_s = 600$  for the 4 cylinder configuration; a) Inlined layout; b) Staggered layout

### 3.4. Effect of Fin Configuration (Plain, Wavy)

In order to obtain optimum heat exchanger geometry, the present study has been further extended to investigate effect of fin configuration. In the plate fin and tube heat exchangers various fin configurations such as wavy, louver, convex louver, slit, etc. are used in order to get higher heat transfer performance. Among them, wavy fin surface can lengthen the air flow inside the heat exchanger passage and cause better air flow mixing and thus increased heat transfer performance is expected. In order to investigate the effect of fin configuration on the heat transfer performance, simulation results obtained for four cylinders, staggered/inlined layouts, wavy and plain fin configurations are compared with each other (Table 1). From the Table 1 it is clearly seen that higher heat transfer performance is obtained for staggered tube layout and wavy fin configuration.

**Table 1.** Comparison of heat transfer coefficients obtained for four cylinder, plain, wavy, inlined and staggered layouts

Cylinder Layout and Fin Configuration	$h(w/m^2K)$
Inlined layout - Plain fin configuration	61.44
Staggered layout- Plain fin configuration	80.72
Staggered layout- Wavy fin configuration	81.80

## 4. CONCLUSIONS

In the present study optimum geometrical parameters of a compact heat exchanger are investigated in terms of heat transfer and pressure drop performance of the test heat exchanger. The optimum value for the fin spacing is selected as  $F_s = 0.233$  for the present Reynolds numbers and fin spacing values. It is shown that the effect of tube row number on the heat transfer coefficient becomes comparatively small as the tube row number is greater than 4. Moreover, heat exchanger pressure drop is highly increased by increasing the number of tube rows. Therefore, four tube layout could be regarded as an optimum multi-row plate fin and tube heat exchanger. It is also found that the peak value of the Nusselt number obtained for the staggered layout is higher than that for the inlined layout. In addition, higher heat transfer performance is obtained for the staggered tube layout and wavy fin configuration. The results of the present numerical study is validated against experimental data and captured convenient results.

## 5. REFERENCES

1. Kakac, S., Liu, H., "Heat Exchangers, Selection, Rating, and Thermal Design", CRC Press, 432 p. 1997.
2. Seshimo, Y., Fujii, M., "An Experimental Study on the Performance of Plate fin and Tube Heat Exchangers at Low Reynolds Numbers", ASME/JSME Thermal Engineering Proceedings, (4): 449-454, 1991.
3. Jang, J.Y., Wu, M.C., Chang, W.J., "Numerical and Experimental Studies of Three-Dimensional Plate Fin and Tube Heat Exchangers", International Journal of Heat and Mass Transfer, 39(14): 3057-3066, 1996.

4. Goldstein, L.G., Sparrow, E.M., "Experiments on the Transfer Characteristics of a Corrugated Fin and Tube Heat Exchanger Configuration", *J. Heat Transfer, Trans ASME*, February: 26-32, 1976.
5. Madi, M.A., Johns, R.A., Heikal, M.R., "Performance Characteristics Correlation for Round Tube and Plate Finned Heat Exchangers", *Int. J. Refrigeration*, 21(7):507-517, 1998.
6. Wang, C.C., Tsai, Y.M., Lu, D.C., "Comprehensive Study of Convex-Louver and Wavy Fin- and Tube Heat Exchangers", *Journal of Thermophysics and Heat transfer*, 12(3): 423-430, 1998.
7. Kuppan, T., "Heat Exchanger Design Handbook, Marcell Dekker", Inc., Basel, ISBN: 0-8247-9787-6, 1119 p, New York, 2000.
8. Saboya, F.E.M., Sparrow, E.M., "Local and Average Transfer Coefficients for One Row Plate Fin and Tube Heat Exchanger Configurations", *J. Heat Transfer, Trans. ASME*, August: 265-27., 1974.
9. Kim, J.Y., Song, T.H., "Microscopic Phenomena and Macroscopic Evaluation of Heat Transfer From Plate Fins/Circular tube Assembly Using Naphthalene Sublimation Technique", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45: 3397-3404, 2002.
10. Wang, C.C., Fu, W.L., Chang, C.T., "Heat Transfer and Friction Characteristics of Typical Wavy Fin- and- tube Heat Exchangers", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 14: 174-186, 1997.
11. Wang, C.C., Tsai, Y.M., Lu, D.C., "Comprehensive Study of Convex-Louver and Wavy Fin- and Tube Heat Exchangers", *Journal of Thermophysics and Heat transfer*, 12(3): 423-430, 1998.
12. Wang, C.C., Chang, J.Y., Chiou, N.F., "Effects of Waffle Height on the Air Side Performance of Wavy fin- and- Tube Heat Exchangers", *Heat Transfer Engineering*, 20(3): 45-56, 1999.
13. Yan, W.M., Sheen, P.J., "Heat Transfer and Friction Characteristics of Fin and Tube Heat Exchangers", *Int. J. Heat Mass Transfer*, 43: 1651-1659, 2000.
14. Lozza, G., Merlo, U., "An Experimental Investigation of Heat Transfer and Friction Losses of Interrupted and Wavy Fins for Fin-and-Tube Heat Exchangers", *Int. J. Refrigeration*, 24: 409-416, 2001.
15. Tsai, S.F., Sheu, T.W.H., "Some Physical Insights into a Two- Row Finned Tube Heat Transfer", *Computers and Fluids*, 27(1): 29-46, 1998.
16. Mendez, R.R., Sen, M., Yang, K.T., McClain, R., "Effect of Fin Spacing on Convection in a Plate Fin and Tube Heat Exchanger", *Int. J. Heat Mass Transfer*, 43: 39-51, 2000.
17. Wung, T.S., Chen, C.J., "Finite Analytic Solution of Convective Heat Transfer for Tube Arrays in Crossflow: Part I- Flow Field Analysis", *Journal of Heat Transfer*, August, 111: 633-640, 1989.
18. Kundu, D., Skeikh, A.H., Lou, D.Y.S., "Heat Transfer Predictions in Cross Flow Over Cylinders Between Two Parallel Plates", *Numerical Heat Transfer, Part A*, 19: 361-377, 1991a.
19. Kundu, D., Skeikh, A.H., Lou, D.Y.S., "Pressure and Heat Transfer in Crossflow Over Cylinders Between Two Parallel Plates", *Numerical Heat Transfer, Part A*, 19: 345-360, 1991b.

DETERMINATION OF OPTIMUM GEOMETRICAL PARAMETERS OF COMPACT  
HEAT EXCHANGERS USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

20. Barsamian, H.R., Hassan, Y.A., "Large Eddy Simulation of Turbulent Crossflow in tube Bundles", *Nuclear Engineering and Design*, 172:103-122, 1997.
21. Shah, R.K., Heikal, M.R., Thonon, B., "Advances in Numerical Analysis of Fluid Flow, Heat Transfer, and Flow Friction Characteristics of Compact Heat Exchanger Surfaces", *Proceedings. Int. Symposium on Fluid Flow and Heat Transfer*, 68-87, Ankara, Turkey, 1997.
22. Rocha, L.A.O., Saboya, F.E.M., Vargas, J.V.C., "A Comparative Study of Elliptical and Circular Sections in One- and Two- Row Tubes and Plate Fin Heat Exchanger", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 18: 247-252, 1997.





**ANALYSIS OF INTERCITY TRANSPORT MODE CHOICE  
FROM BANJARMASIN CITY: DISAGGREGATE LOGIT MODEL****Ir. Achmad KARNO and Iphan F. RADAM***Lambung Mangkurat Univ., Civil Engineering Department, Banjarmasin, Indonesia***Muhammet Vefa AKPINAR***(Corresponding author)**M.K.U., Civil Engineering Department, Antakya, Hatay/Türkiye***Murat ÖRNEK***Ç.U., Civil Engineering Department, Adana/Türkiye*

**ABSTRACT :** *In recent years, Banjarmasin city activities have increased in all areas especially in transportation field. There is a demand on observation mode choice behaviour according to chosen route used by the city passengers. In this research, disaggregate logit model was utilized to find the optimum transportation mode which described intercity transport departing from downtown city. Observation parameters such as travel time, cost, gender/sex, occupation, and income were considered in defining the best transportation mode. Highway, sea, river, and air transportation mode routes were also included in the model. The survey data was obtained in six locations as the gateway for outgoing traffic from Banjarmasin. By using the model it was possible to describe the influence of each parameters and make decisions for future modes. The found modes were used as input data in developing transportation system for long distances.*

**Keywords:** *Disaggregate Logit Model, Mode, Choice, Intercity Transportation.*

**BANJARMASIN ŞEHRİNDEN DİĞER ŞEHİRLERE OLAN ULAŞIM  
SEÇENEKLERİNİN ANALİZİ: AYRISIK LOGİT MODEL**

**ÖZET :** *Son yıllarda Banjarmasin şehrinde her alanda, özellikle de ulaşım alanındaki aktiviteler oldukça artmıştır. Şehirdeki yolcular tarafından kullanılan seçilmiş güzergaha göre ulaşım türü tercihi davranışının gözlemlenmesine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada ayrışık logit model, şehir merkezinden diğer yerleşim birimlerine*

olan en uygun şehirlerarası ulaşım türünü bulmak için kullanılmıştır. Ulaşım süresi, ulaşım harcamaları, cinsiyet farklılıkları, meslek grupları ve yolcu gelirleri gibi gözlem parametreleri ulaşım şeklinin tanımlanmasında kullanılmıştır. Karayolu, deniz, nehir ve hava taşımacılığı da geliştirilen bu modele dahil edilmiştir. Araştırma verileri, Banjarmasin şehrinde çıkan trafiğin çıkış noktası olarak altı adet yerleşim yerinde elde edilmiştir. Bu model kullanılarak her bir parametrenin etkisinin belirlenmesi ve gelecekteki ulaşım türleri için karar verilmesi mümkün olmuştur. Bulunan bu ulaşım türleri uzun mesafeler için ulaşım sistemi geliştirilmesinde girdi verileri olarak kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ayrışık Logit Model, Ulaşım Türü, Seçenek, Şehirlerarası Ulaşım

## 1. INTRODUCTION

Banjarmasin as Capital City of South Kalimantan has a population around half million 500.000 with land of 72 kilometre square. City activities have increased with increasing transportation modes. But the city terminal and transportation modes still need improved service. An additional facility for developed system of transportation is considered. There is a demand on observation of mode choice behaviour according to chosen route used by the passengers in the city.

This research discusses the behaviour of mode choice for long distance travelling in Banjarmasin. The information is particularly important for future planning transportation systems.

Limitation cases in this research were as follows:

- 1) The research occurs in Banjarmasin city and has 6 "in-out" gateway locations for long distance travelling:
  - a) Bus terminal (*Terminal bus KM. 6*)
  - b) Port (*Pelabuhan Trisakti*)
  - c) Airport (*Bandar Udara Syamsudin Noor*)
  - d) Speed Boat / River Bus Pier. (*Dermaga Jalan Pos, Banjar Raya, and Ujung Murung*)
- 2) The transportation mode for long distance travelling was favourite of the following public transports:
  - a) Bus
  - b) Ship, Speed Ferry, Speed Boat, River Bus
  - c) Airplane
- 3) The travelling choice can be in all routes.

## 2. RESEARCH METHODOLOGY

### 2.1. Model Method

Disaggregate Logit Model was chosen for this case based on several survey results on household and individual data in the city. The model was utilized to find the mode choice for long distance travelling in Banjarmasin. The chosen model in this research can be described as a utility function [1].

$$U(C, tr, cs, in, sx, oc)_i = C_i + x_1 \cdot tr + x_5 \cdot cs/in + x_6 \cdot sx + x_{14} \cdot oc \quad (1)$$

Where:

$U_i$ : Utility Functions of mode choice

$C$  : Constant

$X_{(1,5,6,14)}$  : Parameter Estimate

$tr,cs,in,sx,oc$  : Parameter Site (travel time, cost, income, sex, and occupation)

In general, the probability of choosing alternative mode is;

$$Pr(i) = \frac{\exp(V_i)}{\sum_{j=1}^J \exp(V_j)} \quad (2)$$

Where:

$i$  : Mode ( $i = 1, \dots, J$ )

$Pr(i)$  : Probability that an Individual Chooses Alternative  $i$

$V_i$  : Deterministic Component of the Utilities of Alternative  $i$

TSP program (*Time Series Processor*) version 4.4 [2] was used to utilize and simplify the parameters. TSP program is one of application program that uses the computer to analyze great amount of data.

Economic-social estimation planning was needed by the transportation sector. Therefore, economic-social parameters were needed. For chosen mode with multinomial variable  $X$ , TSP programs have several commands like maximum likelihood command and logit command.

In this study, since each observation had different number of choice sets, logit command was used to solve the problem. The easiest way to set up the model was utilize “*conditional logit*” with one line of data per choice. “*Case ID*” variable was used to show which choices belonged to the same choice set.

## 2.2. Data Collection

Simple random sampling was used in data collection. Therefore, each element of the samples had the same chance to be chosen. The data used in this research was divided into two groups:

- 1) Primer Data: Primer data was obtained from onsite measurement and direct observation and was performed in two ways:
  - a. Interview Guide  
Face to face interview with respondent to answer the questions that were already prepared.
  - b. Questioner  
Questioner list was prepared for the respondent to fill the answers according to the following modes:
    - a) Distance
    - b) Travel time
    - c) Travel cost
    - d) Income

- e) Sex/gender
  - f) Age
  - g) Occupation
  - h) Type of transportation mode
- 2) Secondary Data: The secondary data was collected from Banjarmasin State and included the followings:
- a) The number of passengers for each transportation mode.
  - b) The general condition of terminal or departure place.
  - c) The total number of citizens of Banjarmasin.
  - d) The transportation route of each mode.

The statistics data showed that passengers travelling long distance used the following terminal/modes:

1. Airport 17.32 %,
2. Port 33.09 % (for ship 21.86 % and Speed Ferry 11.23 %),
3. Bus Terminal 29.75 %,
4. Pier 19.83 % (for Speed Boat 13.14 % and River Bus 6.69 %).

Procedure of data collection from the survey were as follows:

- I. Pilot survey and secondary data was collected from Bureau of Statistics.
- II. Fixed amount of sample were obtained for each mode and destination when collecting data by interview. Amount of sample distribution had the same percentage with statistics data.

Table 1 shows the chosen route which served each mode or combination of modes. Collection of data presented the long distance travelling passenger population departing from the city centre. Chosen respondents were adults who had income without consideration of their education level.

Table 2 shows the distribution sample to each research location from 837 respondents. From Figure 1, in general, it can be said that travel cost increases with increasing travel time. Table 3. Sample Distribution by Destination and Mode

**Table 1.** Percentage of Data of Travelling to Destination

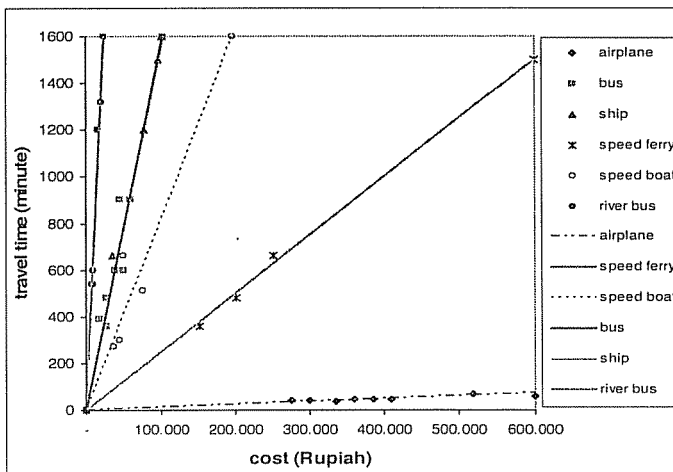
No.	Travelling	Percentage (%)
1.	Banjarmasin – Samarinda	10.04
2.	Banjarmasin – Balikpapan	11.71
3.	Banjarmasin – Palangkaraya	16.01
4.	Banjarmasin – Sampit	3.46
5.	Banjarmasin – Muara Teweh	9.32
6.	Banjarmasin – Buntok	5.62
7.	Banjarmasin – Puruk Cahu	2.87
8.	Banjarmasin – Surabaya	32.49
9.	Banjarmasin – Semarang	8.48
TOTAL		100

**Table 2.** The Amount of Sample Distribution

No.	Location	Mode	Data Distribution	
			Sample	Percentage (%)
1.	Syamsudin Noor Airport	Airplane	145	17.32
2.	Trisakti Passenger Port	Ship	183	21.86
		Speed Ferry	94	11.23
3.	KM. 6 Bus Terminal	Bus	249	29.75
4.	Speed Boat / River Bus Pier	Speed Boat	110	13.14
		River Bus	56	6.69
Total			837	100

**Table 3.** Sample Distribution by Destination and Mode

No	Destination	Mode						Sample
		Airplane	Bus	Ship	Speed Ferry	Speed Boat	River Bus	
1.	Samarinda	20	65	-	-	-	-	85
2.	Balikpapan	10	61	16	13	-	-	100
3.	Palangkaraya	10	56	-	-	44	24	134
4.	Sampit	10	-	-	-	17	8	35
5.	Muara Teweh	10	37	-	-	20	8	75
6.	Buntok	-	30	-	-	12	8	50
7.	Puruk Cahu	-	-	-	-	17	8	25
8.	Surabaya	65	-	139	64	-	-	268
9.	Semarang	20	-	28	17	-	-	65
Total Sample		145	249	183	94	110	56	837



**Figure 1.** Relationship Between Cost and Travel Time

### 3. ANALYSIS AND RESULTS

#### 3.1. Estimation Results

Logit method was used in estimation of coefficient parameters. The following parameters had effects on selecting the modes.

- 1) Travel Time: travel time by each mode (minute)
- 2) Travel Cost: fare by each mode (rupiah)
- 3) Income: income from each sample (rupiah)
- 4) Sex: man = 1 and women = 0
- 5) Occupation: employed = 1, non employed = 0
- 6) Mode choice

“*trial & error*” command was used in the TSP program to derive the best model. The following rules were followed to find the best model:

1. T-statistics getting bigger than 1 and less than -1, that means the result was suitable to the expectations.
2. The algebra sign obtained from variable estimation is negative, which means the model was suitable with the logic criteria.

Table 4 shows the best estimation results in this research.

**Table 4.** Estimation Results

Variable	Estimate	t-statistic
travel time	-0.00057	-2.02627
cost / income	-6.22462	-8.52978
sex for Airplane	0.44413	2.22617
occupation for Speed Ferry and Speed Boat	-0.34926	-2.06913
Bus Constant	0.33314	1.78565
Ship Constant	-0.41685	-1.78190
River Bus Constant	-0.41685	-1.78190

Number of observations (sample) = 837  
 Log likelihood value = -829.767  
 $R^2 = 0.38489$  and  $R^2$  corrected = 0.38432  
 Total HIT Ratio = 0.53644  
 Total HIT Ratio of Airplane = 0.32414  
 Total HIT Ratio of Bus = 1.00000  
 Total HIT Ratio of Ship = 0.55191  
 Total HIT Ratio of Speed Ferry = 0.22340  
 Total HIT Ratio of Speed Boat = 0.24545  
 Total HIT Ratio of River Bus = 0.07143

The utility function was specified according to Table 4 and are as follows:

$$\begin{aligned}
 V1 \text{ (Airplane)} &= -0.00057*tr1 - 6.22462*cs1/in1 + 0.44413*sx1 \\
 V2 \text{ (Bus)} &= 0.33314 - 0.00057*tr2 - 6.22462*cs2/in2 \\
 V3 \text{ (Ship)} &= -0.41685 - 0.00057*tr3 - 6.22462*cs3/in3 \\
 V4 \text{ (Speed Ferry)} &= -0.00057*tr4 - 6.22462*cs4/in4 - 0.34926*oc4 \\
 V5 \text{ (Speed Boat)} &= -0.00057*tr5 - 6.22462*cs5/in5 - 0.34926*oc5 \\
 V6 \text{ (River Bus)} &= -0.41685 - 0.00057*tr6 - 6.22462*cs6/in6
 \end{aligned}$$

### 3.2. Estimated Result

By using equation (2) in which the utility function was used as the result of estimation and income values (average Rp. 1.187.500), Table 5 was acquired. Local Government Policy was in favour of using ground mode, especially inexpensive modes (bus). One of solution was to decrease the travel time by bus, which increased the probabilities of choosing the bus (Table 6). Figure 2 shows that increase in the bus speed will increase choosing probabilities of travelling by bus. An increase of the income was an important factor when choosing the modes. Inexpensive modes like bus or ship were preferred by low-incomes (Table 7).

According to Table 7, probabilities of choosing the relatively inexpensive modes (ship and bus) are higher for the low-income individuals than for the high-income ones.

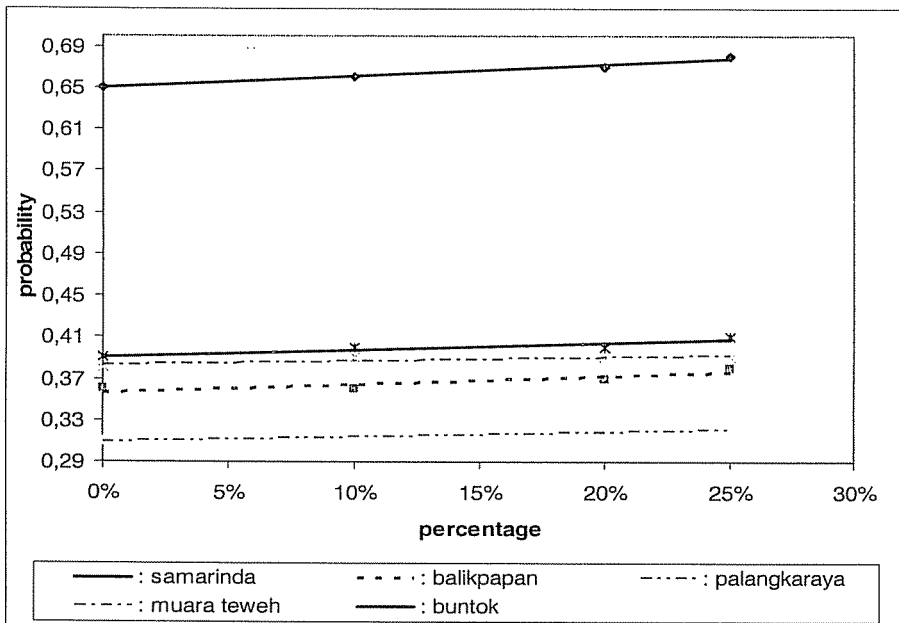
An increase of income will derive higher probabilities of choosing expensive modes (airplane) and the other way for inexpensive modes (bus or ship) as it is shown in Figure3.

**Table 5. Probability Results with Average Income**

Destination	Probability Result (%)								
	Airplane		Bus	Ship	Speed Ferry		Speed Boat		River Bus
	male	female			emp.	non emp.	emp.	non emp.	
Samarinda	21	14	65	-	-	-	-	-	-
Balikpapan	11	07	36	18	12	17	-	-	-
Palangkaraya	10	06	31	-	-	-	16	22	15
Sampit	16	10	-	-	-	-	22	31	20
Muara Teweh	10	7	36	-	-	-	14	20	12
Buntok	-	-	39	-	-	-	18	26	17
Puruk Cahu	-	-	-	-	-	-	32	45	24
Surabaya	18	12	-	23	19	27	-	-	-
Semarang	15	10	-	26	20	29	-	-	-

**Table 6.** Decrease of Travel Time by Bus

No.	Destination	Decreasing of travel time by bus with average income = Rp. 1.187.500,-				Differential Equation (Y)
		0 %	10 %	20 %	25 %	
1.	Samarinda	0.65	0.66	0.67	0.68	$0.1153x + 0.6492$
2.	Balikpapan	0.36	0.36	0.37	0.38	$0.078x + 0.3568$
3.	Palangkaraya	0.31	0.31	0.32	0.32	$0.0475x + 0.3085$
4.	Muara Teweh	0.38	0.39	0.39	0.39	$0.0373x + 0.3824$
5.	Buntok	0.39	0.40	0.40	0.41	$0.0678x + 0.3907$

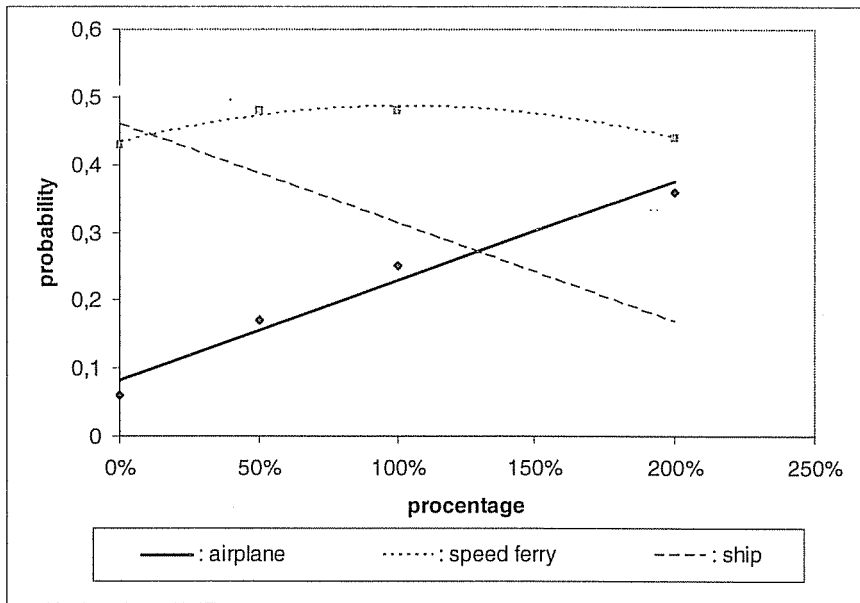


**Figure 2.** Decreasing Travel Time by bus



**Table 7.** The Effect of Increase on Income (Rupiah)

Destination	mode	Increasing of Income (Rupiah)			
		0 %	50 %	100 %	200 %
Surabaya	Airplane	0.06	0.17	0.25	0.36
	Speed ferry	0.43	0.48	0.48	0.44
	Ship	0.51	0.35	0.27	0.20
Semarang	Airplane	0.03	0.11	0.20	0.33
	Speed ferry	0.36	0.48	0.49	0.46
	Ship	0.61	0.41	0.31	0.21



**Figure 3.** Relationship Between Incomes Versus Probability of Chosen Mode (Case Surabaya Destination)

1. From estimation results, formula is suitable to use because of several reasons, such as;
  - a. All ovariables for inexpensive modes have value.
  - b. According to HIT ratio value, all modes in formula have value (no zero).
  - c. According to  $R^2$  value, correlation level is sufficient.
2. Probability for intercity in island transport mode choice are Speed Boat (34% - 76%) and Bus (31% - 65%).
3. A decrease by 1 % in bus travel time increase the probabilities of choosing the bus about 0,0373 - 0,1153.

#### 4. CONCLUSION

In this research, optimum transportation mode which described intercity transport was modelled using disaggregate logit model. Influence of as travel time, cost, gender/sex, occupation, and income parameters were searched. The selected modes were used as input data in developing transportation system for long distances. The following conclusions can be made:

1. Probability for intercity in island transport mode choice are Speed Boat (34% - 76%) and Bus (31% - 65%).
2. A decrease by 1 % in bus travel time increase the probabilities of choosing the bus about 0,0373 – 0,1153.

#### 5. ACKNOWLEDGEMENTS

The author's wish to thank to HEDS/JICA as promoter, Prof. Dr. Shoji Matsumoto as advisor from Nagaoka University of Technology, Department of Civil & Environmental Engineering, Niigata, JAPAN, Zainal Aqli dan M. Fudholly as Team Leader of Surveyor. Acknowledgement is also made to all of peoples who to support this research.

#### 6. REFERENCES

1. Edwards, J.D., "Transportation – Planning – Handbooks Manual", P T R Prentice-Hall, Inc. A Simon & Schuster Company Anglewood Cliffs, New Jersey, 1992.
2. Bronwyn, H.H., Clint, C., "Time Series Processor", Version 4.4, TSP International, TSP Japan, 1997.

## DENİM KUMAŞLARDA PERFORMANS ANALİZİ I-KUMAŞ MUKAVEMETİ VE AŞINMA DAYANIMI DEĞERLENDİRMESİ

Çiğdem AYYILDIZ ve Erdem KOÇ  
Ç.Ü., Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** *Bu çalışmada denim kumaş kalitesini etkileyen performans özelliklerinden kopma mukavemeti, yırtılma mukavemeti ve aşınma dayanımı incelenmiş ve doku yapısı, hammadde ve atkı ipliği üretim şeklinin söz konusu performans özelliklerine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla farklı özelliklerdeki denim kumaşlara standartlara uygun olarak bu testler uygulanarak, test sonuçları değerlendirilmiştir.*

### A PERFORMANS ANALYSIS ON DENIM FABRICS I-FABRIC STRENGTH AND ABRASION RESISTANCE

**ABSTRACT :** *In this study, tensile strength, tear strength and abrasion resistance were examined as they are important quality parameters for woven fabrics; with the relation to the weaving construction, raw material, and production process of weft yarn; in order to evaluate the denim fabric performances. For this purpose, denim fabrics in different properties were tested according to standards and the obtained results were presented.*

## 1. GİRİŞ

Günümüzde üretilen kumaşların arasında denim kumaş, halk içinde kot kumaşı veya blue-jean olarak bilinen kumaşlar belirgin bir yere sahiptir. İlk olarak 19. yüzyılda Levi Strauss tarafından ağır iş elbisesi olarak dikilen blue-jeanler 50'li yıllarda günlük hayata girmişlerdir (1).

Denimler bugün çok farklı kullanım alanları için çeşitli özelliklerde üretilmektedirler. Denim kumaşının en belirgin özelliği, çözümlü ipliklerinin indigo boyalı, atkı ipliklerinin ise doğal renginde yani beyaz olmasıdır. Klasik denim dokuması 3/1 Z dimi olup, kumaşın yüzünde doku yapısından dolayı çözgü hakim olduğundan mavi renk, tersinde ise atkı hakim olduğundan beyaz renk görünmektedir. Denim kumaşların çözgü iplikleri atkı ipliklerinden daha ince ve daha fazla bükümlüdür. Bu kumaşlarda 1 cm'de 24-27 adet çözgü varken, 15-18 adet atkı ipliği mevcuttur. Aşınma ile oluşan eskimiş görünüm ise denim kumaşların en belirgin bir diğer özelliğidir (2,3).

Günümüzde denim kumaşın birçok çeşidi vardır. 19. yy başlarında daha çok open-end ipliği denim imalatı için kullanılırken zamanla daha yumuşak bir denim kalitesi sağlamak amacıyla çözgü ve atkıda karde ring ipliği bunun yerini almıştır. Denim kumaş için kullanılan hammaddelerin de değişiklik göstermesi ile çeşitli özelliklerde denim kumaş üretilmektedir. Bunların yanı sıra denim kumaş ağırlıkları değiştirilerek de farklı denim kumaşları elde etmek mümkündür. Ayrıca kumaşın doku yapısı değiştirilerek de değişik bir denim kumaş meydana getirilebilir(4).

Denim kumaşlardan kullanım sırasında belli bazı performans özelliklerine sahip olması beklenir. Bunlar atkı eğimi, boyut stabilitesi, kopma mukavemeti, yırtılma mukavemeti, sürtünmeye karşı renk haslığı, elastikiyet gibi özelliklerdir. Bu çalışmada kopma mukavemeti, yırtılma mukavemeti ve aşınma dayanımı incelenmiştir. Bir kumaşın kopma mukavemeti, bu kumaşın çözgü veya atkı doğrultusunda bir yük uygulandığındaki direncidir. Yırtılma mukavemeti, kumaşın birbirine zıt yönde kumaş düzlemine dik doğrultuda çekilmesi ile ölçülür. Aşınma genel anlamı ile sürtünme etkisiyle bir cismin yüzey çıkıntılarının ve pürüzlerinin giderek düzleşmesi veya kalınlığının ya da hacminin azalması olarak tanımlanır. Aşınma dayanımı ise bu sürtünme sonucunda kumaşın ne kadar direnç gösterebileceğini ifade eder (5,6,7). Denim kumaşlarda bu performans özelliklerinin yüksek olması beklenen ve istenen bir durumdur.

Bu çalışmada, farklı özelliklerde seçilen denim kumaşlara kullanım özelliklerini etkileyen performans özelliklerinden kopma mukavemeti, yırtılma mukavemeti ve aşınma dayanımını belirlemek amacıyla testler uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek incelenen denim kumaşlarda doku yapısının, hammaddenin ve atkı ipliği üretim şekline göre yukarıda belirtilen performans özelliklerindeki değişim incelenmiştir.

## 2. PERFORMANS TESTLERİNDE UYGULANAN METODLAR

Dokuma kumaşlar çeşitli şekillerde, kullanılacakları yere uygun olarak üretilirler. Kumaştan beklenen bu kullanım özelliklerinin, istenilen standartlara uygun olup olmadıklarının belirlenmesi gerekir. Bu sebeple, kumaşlara performans analizi yapılır.

Kumaşların performans karakteristiklerini, kullanımda önemli olan mekanik özellikler (Kopma, yırtılma ve aşınmaya karşı direnç, boyutsal kararlılık, elastikiyet vb),

estetik özellikler (Tuşe, buruşmazlık, parlaklık, renk haslığı vb), konforla ilgili fiziksel beklentiler (Hava ve rutubet geçişine izin verme, ısı yalıtkanlık, pürüzsüzlük vb), konfeksiyonda istenen özellikler (Dikilebilme, statik elektriklenmeme vb) oluşturmaktadır.

Denim kumaşlar açısından kumaş performans karakteristiklerinden kullanım sırasında istenen mekanik özellikler önemlidir. Bu özelliklerden kopma mukavemeti, yırtılma mukavemeti, aşınma dayanımı üzerinde durulmuştur (5).

### **2.1. Kopma Mukavemeti**

Kopma mukavemeti testi, kumaşlara atkı ve çözümlü yönünde bir yük uygulandığında bu yüke karşı gösterdikleri direnci ölçmek amacıyla yapılır. Denim kumaşlarda, hem atkı hem de çözümlü yönünde kopma mukavemetlerinin yüksek olması beklenir. Genelde çözümlü yönünde, daha fazla sayıda iplik kullanılmasından ve dokuma işlemi sırasında maruz kalacakları kuvvetlere karşı daha dirençli olmaları için verilen daha fazla bükümden dolayı bu yönde, atkı yönüne göre kopma mukavemeti daha yüksektir (5).

Kopma mukavemetinin tespiti Hounsfield test cihazı kullanılarak yapılabilmektedir. Marks&Spencer test standartlarına göre numune kumaş öncelikle 4 saat kondüsyonlanır. Kondüsyonlanmış numune kumaştan 15x10 cm'lik şablonun 15 cm'lik kısmı çözümlü yönüne gelecek şekilde yerleştirilir. Diagonal olarak (aynı atkı ve çözümlüyü içermeyecek şekilde) 5 adet atkı numunesi ayrılır. Bu numunelerin uzun kenarına paralel 4 cm içeriden düz bir çizgi çizilir. Aynı işlem diğer taraf içinde tekrarlanır. Numune kumaşlar üzerine işaretlenen 4 cm'lik mesafelerden cihaz çenelerine yerleştirilir. Çeneler arası mesafesi 7.5 cm'ye ayarlanır. Aynı işlem çözümlü numunesi için de yapılır. Atkı ve çözümlü yönlü numuneler için bir ortalama değer hesaplanır (8).

### **2.2. Yırtılma Mukavemeti**

Yırtılma mukavemeti testinin amacı, kumaşların atkı ve çözümlü yönünde meydana gelebilecek dik doğrultuda bir kuvvete karşı gösterecekleri direncin ölçümüdür. Bu amaçla hem atkı, hem çözümlü yönüne uygulanır. Kopma mukavemeti testinde olduğu gibi bu testte de test sonuçlarının yüksek olması istenir. Ölçüm değeri ne kadar yüksek olursa, kumaşın yırtılmaya karşı direncinin de yüksek olacağı anlaşılır.

Yırtılma mukavemetlerinin tespiti Elmandorf test cihazı kullanılarak yapılabilir. Marks&Spencer test standartlarına göre numune kumaş öncelikle 4 saat kondüsyonlanır. Numune kumaşın atkı yönünden iplik çekilerek kumaş kenarı düzleştirilir. Bu kenara 8x6.3 cm'lik şablonun 8 cm'lik kısmı çözümlü yönüne gelecek şekilde yerleştirilir ve diagonal olarak 5 adet çözümlü numunesi çizilir. Hazırlanan numunelere ön yırtılma için 2 cm'lik yırtılma çizgisi çekilir. Test cihazında ön yırtılma verilmiş numunenin işlemi gerçekleştirilir. Atkı yönlü numuneler için de aynı işlemler tekrarlanarak ortalama bir değer hesaplanır. Bulunan ortalama değerler 64 ile çarpılıp, 9.81 rakamına bölünerek gram cinsinden yırtılma mukavemeti değerleri elde edilir (8).

### **2.3. Aşınma Dayanımı**

Aşınma dayanımı testi kumaşlara uygulanan sürtünme etkisi sonucunda, kumaş kalınlığının minimuma düştüğü andaki sürtünme miktarının ölçümünü belirlemek amacıyla uygulanır. Test sonucunda aşınma dayanımı yüksek çıkan denim kumaşlarda

sürtünme etkisine karşı daha dayanıklı, aşınma dayanımı düşük çıkan denim kumaşlarda ise daha dayanıksız oldukları ifade edilir.

Aşınma dayanımında Marks&Spencer test standartlarına göre numune kumaş öncelikle 4 saat kondüsyonlanır. Numune kumaştan, eni 65 mm ve boyu 225 mm olan bir parça ayrılır. Elde edilen bu parça ikiye katlanarak 125mm çapındaki yuvarlak kesici aletle numuneler kesilir. Her numune tutucunun dip kısmına, bir test numunesi yerleştirilir. Her numune 38 mm çapındaki polieter köpük yuvarlağıyla kaplanır. Köpüğün tepesine iç metal numune desteği yerleştirilir ve numune tutucunun dip ve üstüne montaj edilir. Temel plakanın her biri üzerine 150 mm çapında keçe olan yeni yün kumaş yerleştirilir. Gerilme ağırlığı kullanılarak bunlar plaka üzerinde sıkıştırılır. Üst plakaya hazırlanan numune tutucular yerleştirilir. Numune kumaş yüzeyi ile keçe yüzey temas halindedir. Her numune tutucunun metal milleri üzerine 395 g ağırlık konulur. Numunelerde 3 tel kopuncaya kadar makine çalıştırılır ve kopuş anındaki tur sayısı kaydedilir. Bu da kumaşlar için aşınma dirençlerini ifade eder (8).

### 3. DENEYSSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR

#### 3.1. Numune Kumaşların Fiziksel Özellikleri

Bu çalışmada kullanılmak amacıyla bir denim kumaş üreten işletmeden 5 farklı tipte denim kumaş örnekleri elde edilmiştir. Çizelge-1-5’de söz konusu kumaşların fiziksel özellikleri verilmektedir. Bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde anlatımı kolaylaştırmak için test edilecek kumaşlar 1’den 5’e kadar numaralanmıştır. Buna göre 1: 3/1 Z dimi, 2: 3/1 Z kırık dimi, 3: 3/1 Z lycralı dimi, 4: 3/1 Z atkıda open-end dimi, 5: 3/1 Z kırık lycralı dimiyi ifade etmektedir. Çizelge-1’de 3/1 Z dimi dokulu denim kumaşın fiziksel özellikleri görülmektedir. Buna göre bu kumaş %100 pamuktan oluşmaktadır. Atkı iplik numarası 8.2 Ne, çözgü iplik numarası ise 8 Ne’dir (9).

Çizelge-1. Bir (1) nolu (3/1 Z Dimi dokulu) Denim Mamul Kumaş Özellikleri

Mamul Kumaş Özellikleri			
		Birim	Değer
<b>Kumaş Kompozisyonu</b>		%	%100 Pamuk
<b>İplik Numarası</b>	<b>Çözgü</b>	Ne	8
	<b>Atkı</b>		8.2
<b>Tezgah Tipi</b>		-	Sulzer P7100 91 Model
<b>Mamul Bez Eni</b>		cm	150 ( $\pm$ 2 tolerans)
<b>Çözgü Sıklığı</b>		Tel/cm	26.48
<b>Atkı Sıklığı</b>		Tel/cm	21.40
<b>Çözgü İpliği Ağırlığı</b>		gr/m	270
<b>Atkı İpliği Ağırlığı</b>		gr/m	93.43
<b>Bez Ağırlığı</b>		gr/m	363.65
<b>Bez Ağırlığı</b>		gr/m <sup>2</sup>	410
<b>Kesilebilir En</b>		cm	149

Çizelge-2'de 3/1 Z kırık dimi doku yapısına sahip denim kumaşın fiziksel özellikleri özetlenmiştir. Bu kumaşın çizelge-1'deki kumaştan tek farkı doku yapısı olup diğer bütün özellikleri aynıdır.

**Çizelge-2. İki (2) nolu (3/1 Z Kırık Dimi dokulu) Denim Mamul Kumaş Özellikleri**

<b>Mamul Kumaş Özellikleri</b>			
		<b>Birim</b>	<b>Değer</b>
<b>Kumaş Kompozisyonu</b>		%	%100 Pamuk
<b>İplik Numarası</b>	<b>Çözüğü</b>	Ne	8
	<b>Atkı</b>		8.2
<b>Tezgah Tipi</b>		-	Sulzer P7100 91 Model
<b>Mamul Bez Eni</b>		cm	150 ( $\pm 2$ tolerans)
<b>Çözüğü Sıklığı</b>		Tel/cm	26.48
<b>Atkı Sıklığı</b>		Tel/cm	19.50
<b>Çözüğü İpliği Ağırlığı</b>		gr/m	395
<b>Atkı İpliği Ağırlığı</b>		gr/m	232.50
<b>Bez Ağırlığı</b>		gr/m	627.50
<b>Bez Ağırlığı</b>		gr/m <sup>2</sup>	418.30
<b>Kesilebilir En</b>		cm	149

Çizelge-3'de 3/1 Z dimi dokulu lycralı denim kumaşın fiziksel özellikleri görülmektedir. Buna göre bu kumaşın %83.5'i pamuk, %15'i poliamid ve %1.5'i de lycradan oluşmaktadır. Atkı iplik numarası 11.5 Ne, çözüğü iplik numarası ise 8 Ne'dir. Çizelge-1'deki 1 nolu kumaştan tek farkı yapısında lycra bulunmasıdır.

**Çizelge-3. Üç (3) nolu (3/1 Z Dimi dokulu) Lycralı Denim Mamul Kumaş Özellikleri**

<b>Mamul Kumaş Özellikleri</b>			
		<b>Birim</b>	<b>Değer</b>
<b>Kumaş Kompozisyonu</b>		%	%83.5 Pamuk+%15 Poliamid+%1.5 Lycra
<b>İplik Numarası</b>	<b>Çözüğü</b>	Ne	8
	<b>Atkı</b>		11.5
<b>Tezgah Tipi</b>		-	Sulzer P7100 91 Model
<b>Mamul Bez Eni</b>		cm	143 ( $\pm 2$ tolerans)
<b>Çözüğü Sıklığı</b>		Tel/cm	30.20
<b>Atkı Sıklığı</b>		Tel/cm	20.70
<b>Çözüğü İpliği Ağırlığı</b>		gr/m	350
<b>Atkı İpliği Ağırlığı</b>		gr/m	201.70
<b>Bez Ağırlığı</b>		gr/m	551.70
<b>Bez Ağırlığı</b>		gr/m <sup>2</sup>	385.80
<b>Kesilebilir En</b>		cm	140

Çizelge-4'de bazı özellikleri verilen denim kumaş, %100 pamuktan oluşmaktadır. Atkı ipliği numarası 8.2 Ne, çözgü ipliği numarası 8.3 Ne'dir. Diğer kumaşlardan, atkıda open-end ipliği, çözgüde ise ring ipliği kullanılmış olması ile ayrılmaktadır.

**Çizelge-4.** Dört (4) nolu (3/1 Z Dimi dokulu) Atkıda Open-End Denim Mamul Kumaş Özellikleri

Mamul Kumaş Özellikleri			
		Birim	Değer
Kumaş Kompozisyonu		%	%100 Pamuk
İplik Numarası	Çözgü	Ne	8.3 (Ring)
	Atkı		8.2 (Open-End)
Tezgah Tipi		-	Sulzer P7100 91 Model
Mamul Bez Eni		cm	149 ( $\pm 2$ tolerans)
Çözgü Sıklığı		Tel/cm	25
Atkı Sıklığı		Tel/cm	20
Çözgü İpliği Ağırlığı		gr/m	386.60
Atkı İpliği Ağırlığı		gr/m	238.40
Bez Ağırlığı		gr/m	625.00
Bez Ağırlığı		gr/m <sup>2</sup>	419.50
Kesilebilir En		cm	148

Çizelge-5'de mamul kumaş fiziksel özellikleri verilen denim kumaşın %83.5'i pamuk, %15'i poliamid, %1.5'i ise lycradan oluşmaktadır. Bu özelliğiyle çizelge-3'deki denim kumaşla benzer özellik göstermekte olup, çizelge-2'deki denim kumaşla da farklı özellik göstermektedir. Çizelge-1 ve 3'deki denim kumaşlarla farklı doku yapısına sahip olurken, çizelge-2'de bahsedilen denim kumaşla aynı özelliği göstermektedir.

**Çizelge-5.** Beş (5) nolu (3/1 Z Kırık Dimi dokulu) Lycralı Denim Mamul Kumaş Özellikleri

Mamul Kumaş Özellikleri			
		Birim	Değer
Kumaş Kompozisyonu		%	%83.5 Pamuk+%15 Poliamid+%1.5 Lycra
İplik Numarası	Çözgü	Ne	8
	Atkı		12
Tezgah Tipi		-	Sulzer P7100 91 Model
Mamul Bez Eni		cm	143 ( $\pm 2$ tolerans)
Çözgü Sıklığı		Tel/cm	30.20
Atkı Sıklığı		Tel/cm	20.70
Çözgü İpliği Ağırlığı		gr/m	350
Atkı İpliği Ağırlığı		gr/m	201.70
Bez Ağırlığı		gr/m	551.70
Bez Ağırlığı		gr/m <sup>2</sup>	385.80
Kesilebilir En		cm	140



### 3.2. Yürütülen Deneyler ve Test Sonuçları

Bu çalışmada denim kumaşların performans özelliklerini etkileyen kopma mukavemeti, yırtılma dayanımı, aşınma dayanımı gibi parametrelerin tespit edilmesi amaçlandığından, numune denim kumaşlara bölüm 2’de verilen çeşitli yöntemlerle standartlara uygun olarak uygulanan bu testlerin sonuçları her bir numune kumaş için çizelge-6-10’da verilmiştir.

Numune kumaşlara 1’den 5’e kadar numara verilmiştir. Çizelgelerden de görüldüğü gibi bu kumaşlara uygulanan testlerin adı düşey sırada yer almaktadır. Ayrıca çizelgede görülen Ç:çözgü, A:atknın kısaltmasını ifade etmektedir. Aşınma dayanımı test sonuçlarında, daha sade bir görünüm için 1000 sayısına bölüm sonucu elde edilen değerler verilmiştir. Yatay sırada ise numune kumaşlara uygulanmış 1’den 9’a kadar olan test sayısı görülmektedir. Her bir test için aynı kumaşın aynı topları kullanıldığı gibi farklı topları da kullanılmıştır. Bu da çizelgelerdeki bazı deneylerin 9 ayrı test sonucundaki dalgalanmaların sebebi olabilmektedir. Bu amaçla çizelgelerin en son sütununda, her bir deney için tekrar edilen 9 testin ortalama değerleri verilmektedir. Değerlendirmeler bu ortalama değerlere göre yapılmıştır.

**Çizelge-6. Bir (1) Numaralı Kumaşın Test Sonuçları; (3/1 Z Dimi, %100 Pamuk)**

Yapılan Testler	Test Sayısı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ort.	
Mukavemet	Kopma (kg)	Ç	82.3	79.4	77.7	83.3	82.1	80.1	78.5	79.3	79.2	80.2
		A	70.4	67.8	68.6	66.6	69.5	71.1	70.3	67.5	70.2	69
	Yırtılma (kg)	Ç	5.4	5.8	6.1	5.8	5.8	5.5	5.2	5.2	5.2	5.5
		A	4.8	5.8	4.8	5.2	4.9	4.8	5.7	5.6	4.8	5.2
Aşınma Dayanımı(1000) (tur)		400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	

**Çizelge-7. İki (2) Numaralı Kumaşın Test Sonuçları ;(3/1 Z Kırık Dimi, %83.5 pamuk+%15 poliamid+%1.5 lycra)**

Yapılan Testler	Test Sayısı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ort.	
Mukavemet	Kopma (kg)	Ç	85.7	71.9	72	92.3	79.9	78.2	79.2	80.9	80.9	80.9
		A	66.1	62.7	68.1	74	62.7	66.1	65.8	66.6	66.6	66.6
	Yırtılma (kg)	Ç	6.5	5.4	5.6	6.5	5.2	5.8	5.2	5.8	5.8	5.8
		A	5.5	5.1	4.8	5.8	4.6	5.2	4.7	5.1	5.1	5.1
Aşınma Dayanımı(1000) (tur)		350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	

**Çizelge-8. Üç (3) Numaralı Kumaşın Test Sonuçları; (3/1 Z Kırık Dimi, %83.5 pamuk+%15 poliamid+%1.5 lycra)**

Yapılan Testler	Test Sayısı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ort.	
Mukavemet	Kopma (kg)	Ç	75	77.9	78	77	76.2	75.3	74.3	74.9	75	75.9
		A	67	70.6	68.2	66.3	67.1	70.2	69	69.2	66.9	68.2
	Yırtılma (kg)	Ç	5.4	5.3	5.2	5.4	5.3	5.2	5.4	5.4	5.3	5.3
		A	5.1	5.4	5.2	5.3	5.1	5.4	5.3	5.3	5.2	5.3
Aşınma Dayanımı(1000) (tur)		350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	

**Çizelge-9.** Dört (4) Numaralı Kumaşın Test Sonuçları; (3/1 Z Dimi, %100 Pamuk, Atkıda Open-end İpliği)

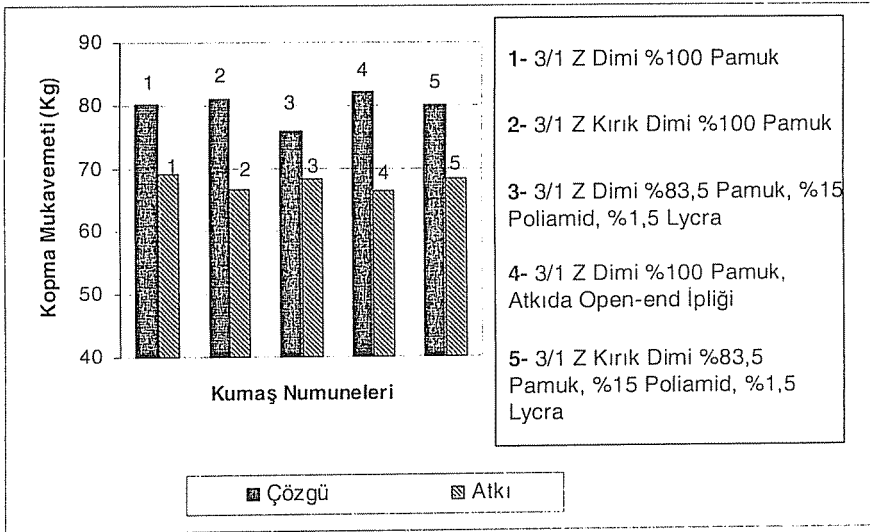
Yapılan Testler	Test Sayısı		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ort.
Mukavemet	Kopma (kg)	Ç	82	82.1	83.5	83.1	81.3	82.5	83.3	81	81.7	82.2
		A	68.3	67.2	64.2	65.6	64.7	63.9	67.7	68.2	68.5	66.4
	Yırtılma (kg)	Ç	6.2	6.1	6.1	5.8	5.8	5.9	6.1	6.1	6.2	6.0
		A	4.8	4.8	4.9	4.8	5.0	5.1	4.8	4.7	4.8	4.8
Aşınma Dayanımı(1000) (tur)			400	400	400	400	400	400	400	400	400	400

**Çizelge-10.** Beş (5) Numaralı Kumaşın Test Sonuçları; (3/1 Z KırıkDimi, %83.5 pamuk+%15 poliamid+%1.5 lycra)

Yapılan Testler	Test Sayısı		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ort.
Mukavemet	Kopma (kg)	Ç	78	81	79	82	80	77	81	80	82	80
		A	68.9	68.4	68.3	67.2	67.9	68.7	68.2	68.1	68.5	68.2
	Yırtılma (kg)	Ç	6.5	5.8	6.4	6.3	5.9	5.8	5.9	6.4	6.3	6.1
		A	5.8	5.2	5.3	5.3	5.4	5.5	5.7	5.7	5.3	5.5
Aşınma Dayanımı(1000) (tur)			350	350	350	350	350	350	350	350	350	350

### 3.2.1. Kopma Mukavemeti

Burada numune denim kumaşların hem çözgü hem de atkı yönüne standartlara uygun olarak kopma mukavemeti testi uygulanarak elde edilen sonuçlar çizelge-6-10'da her bir kumaş için verilmişti. Şekil-1 numune kumaşların atkı ve çözgü kopma mukavemetleri arasındaki değişimin daha iyi görülmesi için verilmiştir. Şekilde siyah dolgulı sütunlar kumaşların çözgü kopma mukavemetini, taralı sütunlar ise kumaşların atkı kopma mukavemetini ifade etmektedir. Grafiğin sağ tarafında kumaşların teknik özellikleri toplu olarak verilmiştir.



**Şekil-1.** Doku Yapısı, Hammadde ve Atkı İpliği Üretim Şekline Göre Kopma Mukavemetinin Değerlendirilmesi

Atkı ve çözümlü kopma mukavemetler değerlerinin dar bir aralıkta değişim gösterdiği şekilde görülmektedir (Atkı kopma mukavemeti:66.6-69; Çözümlü kopma mukavemeti: 75.9-82.2). Ayrıca çözümlü kopma mukavemeti değerlerinin, atkı kopma mukavemeti değerlerinden daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Burada 3 nolu kumaş en az, 4 nolu kumaş ise en fazla çözümlü kopma mukavemeti değerini alırken; 2 nolu kumaş en az, 1 nolu kumaş ise en fazla atkı kopma mukavemeti değerini almıştır. Kopma mukavemetinin doku yapısı, hammadde ve atkı ipliği üretim şekline göre değerlendirilmesi aşağıda verilmektedir.

**Doku Yapısına Göre Değerlendirme:** Hammaddeleri ve atkı ipliği üretim şekilleri aynı, doku yapıları farklı olan 1, 2 ve 3, 5 nolu kumaş kombinasyonları incelenmiştir. 1 ve 2 nolu kumaşlar kendi aralarında incelendiğinde çözümlü kopma mukavemeti aynı, atkı kopma mukavemetinde ise 2 nolu (3/1 Z kırık dimi dokulu) kumaşın daha düşük bir değere sahip olduğu görülmektedir. Aynı şekilde 3 ve 5 nolu kumaşlar için, atkı kopma mukavemetleri aynı, çözümlü kopma mukavemetlerinde ise 5 nolu (3/1 Z kırık dimi dokulu) kumaşın daha yüksek bir değer aldığı dikkat çekmektedir. 1 ve 2 nolu kumaşlarda görülen kopma mukavemeti davranışının 3 ve 5 nolu kumaşlar için de görülmesi beklenirken bu durum görülmemektedir. Yani doku yapısının tek başına kopma mukavemetine doğrudan bir etkisi olduğu söylenemez.

**Hammaddeye Göre Değerlendirme:** Bu amaçla hammaddeleri farklı, doku yapıları ve atkı ipliği üretim şekilleri aynı olan 1, 3 ve 2, 5 nolu kumaşlar incelenmiştir. 1 ve 3 nolu kumaşlarda atkı kopma mukavemeti 3 nolu lycralı kumaşa 1 nolu lycrasız kumaşa göre daha düşüktür. 2 ve 5 nolu kumaşlarda ise 2 nolu lycrasız kumaşın atkı kopma mukavemeti 5 nolu lycralı kumaşınkine göre daha düşüktür. 1 ve 3 nolu kumaşlarda beklenen atkı kopma mukavemeti davranışı 3 ve 5 nolu kumaşlarda görülmemektedir. Doku yapısının atkı kopma mukavemetine etkisinde olduğu gibi hammaddenin de tek başına bir etkisi yoktur.

Doku yapısı ve hammaddenin birlikte etkisi düşünüldüğünde, 3/1 Z dimi dokulu kumaşların yapısına lycra eklendiğinde atkı kopma mukavemetinin düştüğü, 3/1 Z kırık dimi örgülü kumaşlarda ise yükseldiği görülmektedir. Sonuç olarak, lycralı kumaşlarda 3/1 Z kırık dimi yapısının kullanılması ve lycrasız kumaşlarda ise 3/1 Z dimi yapısının kullanılması atkı kopma mukavemetini yükseltebilir. Bunun nedeni, normal dimi dokusuna göre daha az sıkı yapıda olan kırık dimi dokulu kumaşa lycra eklendiğinde kumaş belli bir gerilim altında tutulduğunda kumaşın daha fazla esnemeye imkanı olduğu için, kopmaya göstereceği direnç süresi de artacak; dolayısıyla daha fazla bir yük altında kopacaktır. Böylece, lycranın eklendiği atkı yönünde kopma mukavemeti yükselmiş olacaktır. Bu tür kumaş kombinasyonlarının kullanılması atkı kopma mukavemetinin yüksek olması açısından önemli olabilir.

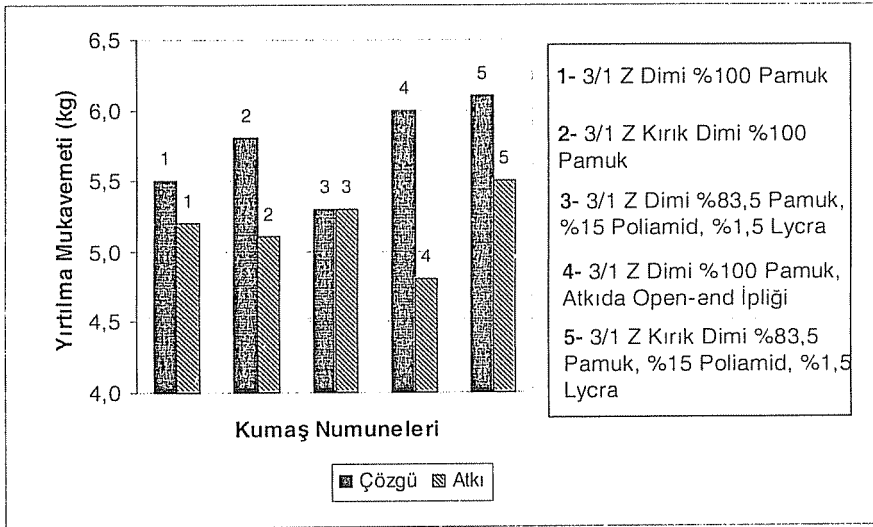
Çözümlü yönünde herhangi bir hammadde değişikliği olmadığından hammaddenin çözümlü kopma mukavemetine olan etkisi hakkında bir yorum yapılmamıştır.

**Atkı İpliği Üretim Şekline Göre Değerlendirme:** Atkı ipliği üretim şekilleri farklı, hammaddeleri ve doku yapıları aynı olan 1 ve 4 nolu kumaşlar incelendiğinde atkıda open-end ipliği kullanılan 4 nolu kumaşın atkı kopma mukavemetinin, atkıda ring ipliği

kullanılan 1 nolu kumaşınkine göre daha az olduğu görülmektedir. Atkıda open-end ipliği kullanımının atkı kopma mukavemetini azaltacağı söylenebilir. Bunun nedeni open-end ipliklerinin ring ipliklerine göre daha az mukavemete sahip olması olabilir. Çözgüde atkı ipliği üretim şekli değişikliği olmadığından çözgü kopma mukavemeti için herhangi bir yorum yapılmamıştır.

### 3.2.2. Yırtılma Mukavemeti

Numune kumaşlara kopma mukavemeti testinde olduğu gibi hem çözgü yönlü hem de atkı yönlü yırtılma mukavemeti testi uygulanarak elde edilen sonuçlar çizelge-6-10'da verilmişti. Atkı ve çözgü yırtılma mukavemeti değerlerinin değişimlerinin daha açık bir şekilde görülmesi için Şekil-2 oluşturulmuştur. Şekilde siyah dolgululu sütunlar çözgü yönlü yırtılma mukavemetini, taralı sütunlar ise atkı yönlü yırtılma mukavemetini ifade etmektedir. Şeklin sağ tarafında incelenen numune kumaşların özellikleri görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi 5 nolu kumaşın hem atkı hem de çözgü yırtılma mukavemeti diğer kumaşlara göre daha yüksektir. 3 nolu kumaş çözgü yönünde en az yırtılma mukavemetine sahipken, 4 nolu kumaş ise atkı yönünde en az yırtılma mukavemetine sahiptir. Diğer kumaşların yırtılma mukavemetleri, bu değerler arasında değişim göstermektedir.



Şekil-2. Doku Yapısı, Hammadde ve Atkı İpliği Üretim Şekline Göre Yırtılma Mukavemetinin Değerlendirilmesi

Yırtılma mukavemetinin doku yapısına, hammaddeye ve atkı ipliği üretim şekline göre değerlendirilmesi aşağıda verilmiştir.

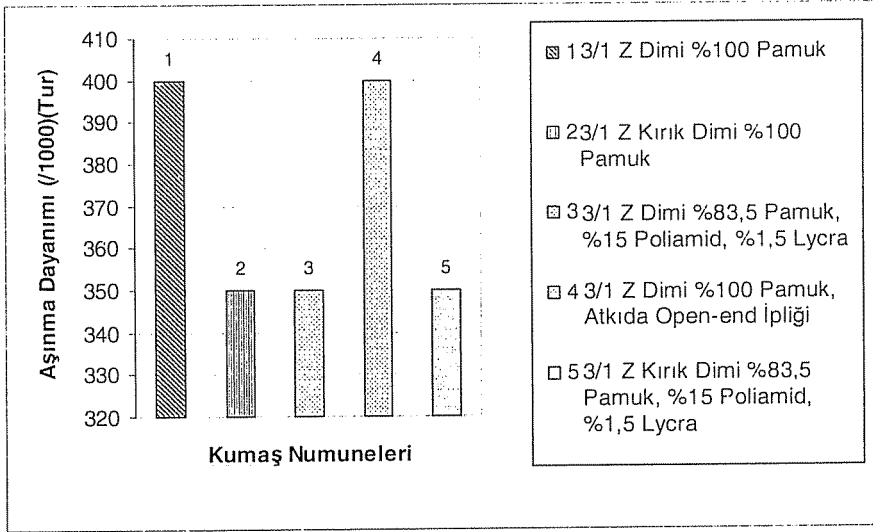
**Doku Yapısına Göre Değerlendirme:** Bu amaçla doku yapıları farklı, hammaddeleri ve atkı ipliği üretim şekli aynı olan 1, 2 ve 3. 5 nolu kumaşlar incelenmiştir. 1 ve 2 nolu kumaş kombinasyonunda çözgüde 2 nolu 3/1 Z kırık dimi kumaşın yırtılma mukavemeti, 1 nolu 3/1 Z dimi kumaşa göre daha yüksek iken, atkıda yırtılma mukavemeti daha düşük çıkmıştır. 3 ve 5 nolu kumaşlarda ise hem çözgüde hem de atkıda 5 nolu 3/1 Z kırık dimi kumaşın yırtılma mukavemeti 3 nolu 3/1 Z dimi kumaşa göre daha yüksektir. Buna göre 3/1 Z kırık dimi dokulu kumaşların çözgü yırtılma mukavemetini yükselttiği söylenebilir. Kırık dimi dokuların normal dimi dokulara göre daha az sıkı yapıda olmalarından dolayı kırık dimi kumaşlarda doku yapısı, bu kumaşların bir yük karşısında esnemelerine olanak sağlayabilir. Bundan dolayı kırık dimi doku yapısına sahip kumaşların yırtılmaya karşı daha dirençli olabileceği söylenebilir. Atkı yırtılma mukavemeti için doku yapısının etkisi hakkında bir ilişki bulunamamıştır.

**Hammaddeye Göre Değerlendirme:** Doku yapıları ve atkı ipliği üretim şekilleri aynı, hammaddeleri farklı olan 1, 3 ve 2, 5 nolu kumaşlar ele alınmıştır. 1 ve 3 nolu kumaşlarda çözgüde 1 nolu (3/1 Z dimi, lycrasız) kumaşın yırtılma mukavemeti daha yüksek, atkıda ise 3 nolu (3/1 Z dimi lycralı) kumaşın yırtılma mukavemeti daha yüksektir. Buna göre 3/1 Z dimi dokulu kumaşlara lycra eklendiğinde çözgü yırtılma mukavemeti düşerken, atkı yırtılma mukavemeti yükselmekte; 3/1 Z kırık dimi kumaşlara lycra eklendiğinde ise hem atkı hem de çözgü yırtılma mukavemetinin yükseldiği söylenebilir. Buradan lycralı kumaşlarda 3/1 Z kırık dimi dokusunun kullanımı hem çözgü yırtılma mukavemetini hem de atkı yırtılma mukavemetini arttırdığı sonucu çıkarılabilir. Lycranın kumaşa esneklik sağlamasından dolayı kullanıldığı kumaşların yırtılma mukavemetini arttırabileceği söylenebilir.

**Atkı İpliği Üretim Şekline Göre Değerlendirme:** Atkı ipliği üretim şekilleri farklı, hammadde ve dokuları aynı olan 1 ve 4 nolu kumaşlar incelendiğinde atkıda open-end ipliği kullanılan 4 nolu kumaşın atkı yırtılma mukavemeti, atkıda ring ipliği kullanılan 1 nolu kumaşa göre daha düşüktür. Buna göre atkıda ring ipliği kullanılan bir kumaşın atkı yırtılma mukavemetinin daha yüksek olacağı söylenebilir. Bunun nedeni, ring ipliklerinin open-end ipliklere göre daha fazla mukavemetli olması olabilir. Çözgü yönünde herhangi bir atkı ipliği üretim şekli değişikliği olmadığından çözgü yırtılma mukavemeti için bir yorum yapılmamıştır.

### **3.2.3. Aşınma Dayanımı**

Numune denim kumaşlara aşınma dayanımı testi uygulanarak deney sonuçları çizelge-6-10'da özetlenmektedir. Kumaşların aşınma dayanımı değişimlerinin daha iyi anlaşılması açısından Şekil-3 verilmiştir. Şeklin sağ tarafında numune kumaşların teknik özellikleri görülmektedir.



Şekil-3. Doku Yapısı, Hammadde ve Atkı İpliği Üretim Şekline Göre Aşınma Dayanımının Değerlendirilmesi

Şekil-3'de 1 ve 4 nolu kumaşların en yüksek, 2, 3 ve 5 nolu kumaşların ise en düşük aşınma dayanımına sahip oldukları görülmektedir. Diğer parametrelerde olduğu gibi aşınma dayanımı parametresinde de doku yapısı, hammadde ve atkı ipliği üretim şekli farklılığı önemli rol oynamaktadır. Bu faktörlere göre aşınma dayanımının değerlendirilmesi aşağıda incelenmiştir.

**Doku Yapısına Göre Değerlendirme:** Bu amaçla hammaddeleri ve atkı ipliği üretim şekli aynı, doku yapıları farklı olan 1, 2 ve 3, 5 nolu kumaşlar incelenmiştir. 1 ve 2 nolu kumaşlar kendi aralarında incelendiğinde aşınma dayanımı değeri 3/1 Z dimi dokulu 1 nolu kumaşta, 3/1 Z kırık dimi dokulu 2 nolu kumaşa göre daha fazladır. 3 ve 5 nolu kumaşlar kendi aralarında incelendiğinde ise her iki kumaşında aynı aşınma dayanımı değerine sahip olduğu görülmektedir. Burada 1 ve 2 nolu kumaşlar kendi aralarında göstermiş oldukları tutum 3 ve 5 nolu kumaşlarda (5 nolu kumaşın 3 nolu kumaşa göre daha az bir aşınma dayanımına sahip olması durumu) görülmemektedir. Bu nedenle doku yapısının aşınma dayanımını doğrudan etkileyecek bir parametre olmadığı söylenebilmektedir.

**Hammaddeye Göre Değerlendirme:** Burada doku yapıları ve atkı ipliği üretim şekli aynı, hammaddeleri farklı olan 1, 3 ve 2, 5 nolu kumaşlar incelenmiştir. 1 ve 3 nolu kumaşlarda 1 nolu %100 pamuklu kumaşın 3 nolu lycralı kumaşa göre daha fazla aşınma dayanımı olduğu görülmektedir. 2 ve 5 nolu kumaşlarda ise aşınma dayanımının aynı olduğu görülmektedir. 1 ve 3 nolu kumaşlarda olduğu gibi 2 ve 5 nolu kumaşlarda aynı ilişki görülmemiştir. Bundan dolayı, hammaddenin de aşınma dayanımına doğrudan bir etkisi olmadığı söylenebilir.

Doku yapısı ve hammadde birlikte değerlendirildiğinde, 3/1 Z dimi dokulu %100 pamuklu kumaşlarda aşınma dayanımının daha yüksek, lycralı kumaşlarda ise örgü farkı olmaksızın aşınma dayanımının daha düşük olacağı söylenebilir. Hammaddesi pamuk olan kumaşlarda, pamuğun mukavemetinin yüksek olmasından dolayı aşınma dayanımı daha yüksektir. Bununla birlikte 3/1 Z dimi doku yapısının da daha sıkı yapıya sahip olması kumaşın aşınma dayanımını daha da arttırmış olabilir. Kumaşlarda lycra kullanımı da aşınma dayanımını azaltacağı söylenebilir.

**Atkı İpliği Üretim Şekline Göre Değerlendirme:** Hammaddeleri ve doku yapıları aynı olan, atkı ipliği üretim şekli farklı olan 1 ve 4 nolu kumaşlar incelendiğinde her iki kumaşın da aşınma dayanımı değerlerinin aynı olduğu görülmektedir. Buradan atkı ipliği üretim şekli farklılığının aşınma dayanımına herhangi bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

#### **4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ**

Çalışma kapsamında seçilmiş denim kumaş numunelerine standartlara uygun olarak yapılan kopma mukavemeti, yırtılma mukavemeti ve aşınma dayanımı testleri sonucunda bu performans özelliklerinin doku yapısı, hammadde ve atkı ipliği üretim şekline göre değişimleri aşağıda özetlenmektedir.

1. Doku yapısının ve hammaddenin tek başına kopma mukavemeti değerinde bir değişime uğrattığı görülmemiştir. Birlikte düşünüldüklerinde, 3/1 Z dimi kumaşların yapısına lycra eklendiğinde atkı kopma mukavemetinin düştüğü, 3/1 Z kırık dimi örgülü kumaşlarda ise yükseldiği görülmüştür.
2. 3/1 Z kırık dimi dokusuna sahip kumaşların çözgü yırtılma mukavemetinin yükseldiği görülmüştür.
3. Lycralı kumaşlarda 3/1 Z kırık dimi doku yapısının kullanımı hem çözgü yırtılma mukavemetini hem de atkı yırtılma mukavemetini arttırdığı görülmüştür.
4. Atkıda ring ipliği kullanılan bir kumaşın atkı yırtılma mukavemetinin daha yüksek olacağı düşünülmektedir.
5. İncelenen kumaşlarda kırık dimi dokusuna sahip lycralı kumaşların daha fazla esnediği görülmüştür.
6. Numune kumaşlarda doku yapısının aşınma dayanımını doğrudan etkileyecek bir parametre olmadığı görülmüştür.
7. Hammaddenin de aşınma dayanımında doğrudan bir değişime neden olmayacağı söylenebilir. Doku yapısı ve hammadde birlikte değerlendirildiğinde, 3/1 Z dimi dokusuna sahip %100 pamuklu kumaşlarda aşınma dayanımının daha yüksek, lycralı kumaşlarda ise hem 3/1 Z dimi dokularda hem de 3/1 Z kırık dimi dokularda aşınma dayanımının daha düşük olabileceği söylenebilir.
8. Atkı ipliği üretim şekli farklılığının numune kumaşların aşınma dayanımında herhangi bir değişime neden olmadığı söylenebilir.

#### **5. KAYNAKLAR**

1. Nef, U., "Denim Türü Kumaşlar İçin Mekikçikli Dokuma Makineleri", *Melliand Türkiye Özel Sayısı*, 36-37, 1996.

2. Bali,Y., "Güncelliğini Kaybetmeyen Moda-Denim", *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, Sayı 3, 180-183, 1998.
3. Akçakoca,P., "Denim Kumaşlar ve İndigo Boyamacılığı", *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, Sayı 2, 136-143, 1999.
4. Karal,Ö., "Denim Kumaşlarda Yıkamanın Dikiş ve Kumaş Üzerindeki Etkisi", *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 1996.*
5. Taylor,A.M., "Tekstil Teknolojisi", *Şan Ofset, İstanbul, 368 s., 1999.*
6. Başer,G., "Dokuma Tekniği ve Sanatı", *TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası Yayınları, Cilt 1, Yayın No: 2, 255 s., İzmir, 1998.*
7. Sülar,V., Okur,A., "Kumaşlarda Aşınma ve Eskime", *Tekstil Maraton Dergisi*, Sayı 4, 28-40, 2001.
8. BOSSA -4 Denim&Spor Giyim San. ve Tic. AŞ, *Teknik Doküman, Adana, 2004.*
9. Ayyıldız,Ç., "Denim Kumaş Üretim Prosesi ve Kumaş Kalite Parametreleri", *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 2004.*



**DENİM KUMAŞLARDA PERFORMANS ANALİZİ  
II- ELASTİKİYET(ESNEME), SÜRTÜNME HASLIĞI VE DİĞER  
PARAMETRELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Erdem KOÇ ve Çiğdem AYYILDIZ**

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

**ÖZET :** *Bu çalışmada, denim kumaşlar için önemli kalite parametrelerinden olan atkı kayması, çözgü ve atkı çekmesi, elastikiyet (esneme), sürtünme haslığı ve atkı eğimi incelenmiş ve bu parametrelere doku yapısı, hammadde ve atkı ipliği üretim şeklinin etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla farklı özelliklerdeki denim kumaşlara standartlara uygun olarak bu testler uygulanarak, test sonuçları değerlendirilmiştir.*

**PERFORMANS ANALYSIS ON DENIM FABRICS  
II- DETERMINATION OF ELONGATION (STRETCHING),  
RUBBING FASTNESS AND THE OTHER PARAMETERS**

**ABSTRACT :** *In this study, weft movement, warp and weft shrink, elongation (stretching), rubbing fastness, weft skew were examined as they are important quality parameters for denim fabrics. The aim of this study was to evaluate the effects of weaving construction, raw material, and production process of weft yarn on the parameters given above. For this purpose, denim fabrics in different types were tested according to standards and the obtained results were presented.*

## 1. GİRİŞ

Günümüzde üretilen denim kumaşlar belirgin bir yere sahiptir. 19. yüzyılın başlarında ağır iş elbisesi olarak dikilen denim kumaşlar 50'li yıllarda günlük hayatta yerlerini almıştır. Denim kumaşın çözgü ipliklerinin indigo boyalı, atkı ipliklerinin ise beyaz olması en çok dikkat çeken özelliğidir. Denim kumaşlar genelde dimi doku yapısına sahiptir. Kumaşın yüzünde doku yapısından dolayı çözgü hakim olduğundan mavi tersinde ise atkı hakim olduğundan beyaz renk görünmektedir. Denim kumaşların çözgü iplikleri atkı ipliklerinden daha ince ve daha fazla bükümlüdür. Bu kumaşlarda çözgü iplik sıklığı atkı iplik sıklığından daha fazladır (çözgüde 1 cm'de 24-27 adet, atkıda 15-18 adet) (1-3).

Denim kumaşlardan kullanım sırasında istenen performans özellikleri atkı eğimi, boyut stabilitesi, kopma mukavemeti, yırtılma mukavemeti, sürtünmeye karşı renk haslığı, elastikiyet, atkı kayması gibi özelliklerdir. Bu çalışmada atkı kayması, çözgü ve atkı çekmesi, elastikiyet, sürtünme haslığı ve atkı eğimi incelenmiştir. Atkı kayması testi dimi dokulu kumaşlara, konfeksiyona girmeden önce mamul kumaş halindeyken uygulanır. Bu test, konfeksiyon işlemlerinden sonra dikilmiş kumaşta (pantolon ve ceketlerin kollarında) paça dönmesi olup olmayacağını belirlemek amacıyla yapılır. Bir kumaşın boyutsal kararlılığının olmaması, kumaşın bir ya da her iki yönde de çekmesi veya genişlemesi anlamına gelir. Kumaşlara uygulanan yıkama işlemi sonrasında, kumaşın boyutu atkı ya da çözgü yönünde çekme ya da gevşeme şeklinde bir değişim gösterebilir. Bu değişimin mümkün olduğunca az olması istenir (4).

Kumaşların elastikiyet özelliği de bir giysinin rahatlığını, vücuda oturmasını ve kullanımdaki görünümünü önemli ölçüde etkiler. Bilinen ipliklerden yapılan dokuma ve örgü kumaşların esnemesi ve geri toplaması sınırlıdır. Ancak tekstüre ipliklerin, elastan filamentlerin yapıya dahil edilmesi veya terbiye işlemlerinin uygulanmasıyla değişik derecelerde esneme ve geri toplanması olan kumaşlar elde etmek mümkündür (5). Sürtünme haslığı, bir kumaşın temas halinde olduğu bir kumaşa sürtünme sonucunda rengini transfer etmeye karşı gösterdiği direnç olarak ifade edilmektedir. Sürtünme direnci materyalin cinsine ve uygulanan bitim işlemleri gibi birtakım özelliklere göre değişiklik göstermektedir. Atkının kumaş oluşum sırasında kumaş enine mümkün olduğunca paralel olması istenir. Bu amaçla atkı eğiminin kumaş dokunduktan sonra ölçülmesi önemlidir. Atkı eğimi testinin amacı, mamul halde kumaşa verilen yırtılma sonucu atkının çizilen düz bir çizgiden ne kadar saptığı ile yıkama sonrasında aynı işlemin uygulanarak elde edilen sonuçların karşılaştırılıp atkı kaymasında olduğu gibi kumaşta paça dönmesi olup olmayacağını belirlemektir.

Bu çalışmada, denim kumaşlardan kullanım sırasında beklenen atkı kayması, çözgü ve atkı çekmesi, elastikiyet, sürtünme haslığı ve atkı eğimi davranışları değerlendirilmiş ve değişik özelliklere sahip 5 ayrı kumaşa uygulanmıştır. Söz konusu performans özellikleri için elde edilen test sonuçlarının doku yapısı, hammadde ve atkı ipliği üretim şekline göre değişimi irdelenmiştir.

## 2. PERFORMANS TESTLERİNDE UYGULANAN METODLAR

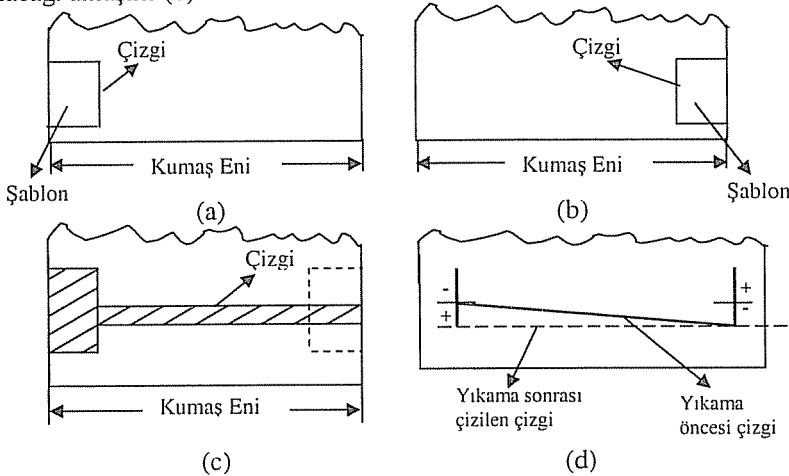
Denim kumaşlar açısından kumaş performans özelliklerinden kullanım sırasında istenen mekanik özellikler önemlidir. Bu özelliklerden atkı kayması, çözgü ve atkı

çekmesi, atkı eğimi, elastikiyet, sürtünme haslığı için test metodları aşağıda verilmektedir.

### 2.1. Atkı Kayması

Atkı kayması testi dimi dokulu kumaşlara, konfeksiyona girmeden önce mamul kumaş halindeyken uygulanır. Bu test, konfeksiyon işlemlerinden sonra dikilmiş kumaşta (pantolon ve ceketlerin kollarında) paça dönmesi olup olmayacağını belirlemek amacıyla yapılır.

Atkı kayması tayini Levi's standartlarına göre yapılabilir. Buna göre numune kumaşın ters yüzü dışa gelecek şekilde serilir. Kumaşın sol kenarına şablonun (20x60) 60 cm'lik kısmı çözgü boyunca olacak şekilde yerleştirilir ve şablonun etrafı çizilir (Şekil-1.a). Aynı işlem kumaşın sağ tarafı için de tekrarlanır (Şekil-1.b). Kumaş üzerine şablonla çizilen çizgilere dik gelecek şekilde T cetveli konur ve düz bir çizgi çizilir (şekil-1.c). İşaretlenmiş numune yıkamaya alınır. Yıkama işlemi bittikten sonra kumaş dinlendirilir. Yıkama öncesinde şablon konularak işaretlenen dikey çizgilere T cetveli dik gelecek şekilde 2. çizginin yatay olarak çizimi yapılır. Atkının yıkama öncesi çizilen çizgiden ne kadar kaydığı tespit edilir. Yıkama öncesi ve yıkama sonrası çizgi arasında kalan mesafe ölçülerek ve numune kumaş enine bölünerek %atkı kayması değeri hesaplanır. Deney sırasında numune kumaş üzerinde yıkama öncesi T cetveli ile çizilen doğru referans nokta olarak belirlenir. Bu doğrunun sağ üstü ve sol altı pozitif, sağ altı ve sol üstü negatif olarak değerlendirilir (şekil-1.d). Atkı referans noktadan (+) yöne doğru kaymış ise kumaşta paça dönmesinin sola doğru, (-) yöne kaymış ise sağa doğru olacağı anlaşılır (6).



**Şekil-1.** Atkı Kayması Testi İçin Numune Kumaş Hazırlanışı

### 2.2. Çözgü ve Atkı Çekmesi

Bu testin amacı, kumaşta yıkama işlemi sonrasında meydana gelen boyut değişiminin ölçülmesidir. Bu değişimin kumaşlarda mümkün olduğunca az olması istenir.

Bu çalışmada numune kumaşların yıkama sonrası atkı ve çözgü çekmesi Levi's test standartlarına göre tespit edilmiştir. Test kondüsyonlanmış kumaşa uygulanır. Kumaş

kırıksız bir şekilde masaya serilir. Kumaşın kenar-orta kenarına gelecek şekilde ve kenardan 25 cm içeri girilerek 3 işaret, çözgü boyunca sanfor cetveli ile konur. Aynı işlem atkı yönü için de yapılır. Elde edilen numune, çamaşır makinesinde 60 °C'de 3 defa yıkanır. Her yıkamadan sonra da kurutulur. Yıkama ve kurutma işlemleri biten kumaşlar en az 1.5 saat dinlendirme sehparlarında dinlendirilir. Yıkama öncesinde çözgü ve atkı boyunca atılan işaretler her yıkama sonrasında sanfor cetveli ile ölçülür. 3 yıkama sonrasında çözgü ve atkı için elde edilen bu 3 değerın ortalaması alınır. Ölçüm sonucu ile test öncesi sonucun farkı alınıp test öncesindeki değere bölünerek % çekme miktarı hesaplanır (6).

### 2.3. Elastikiyet

Elastikiyet (esneme) testi tüm kumaş çeşitlerine uygulanır. Ancak bu çalışmada denim kumaşların lycralı olanlarına uygulanmıştır. Buradaki amaç, kumaşın belli bir ağırlık etkisinde belli bir süreden sonra ne kadar uzadığı ve uzamadan sonra ne dereceye kadar geri dönebileceğinin ölçülmesidir. Ölçüm sonucunda elastikiyet değerinin %18'den büyük olması istenir. Esneme değeri büyüdükçe, kumaşın test sonrasında eski haline dönme yeteneği daha fazla olacaktır. Bu değer küçüldükçe kumaşın test sonrasında eski haline dönmesi daha az olacaktır (6).

Bu çalışmada numunelere Levi's test standardı uygulanarak elastikiyet (esnemeleri) belirlenmiştir. Buna göre numune kumaş öncelikle 4 saat kondüsyonlanır. 55x5 cm'lik şablonun 55 cm'lik kısmı, numune kumaşın çözgü yönüne gelecek şekilde yerleştirilir. 25 cm'lik bölge işaretlenir. Hazırlanan numune, test cihazının çeneleri arasına yerleştirilir. Alt çenede bulunan 2.8 kg'lık ağırlıkla numune yarım saat bekletilir. Daha sonra 2 saat numune kondüsyonlanır. Test öncesi çizilen 25 cm'lik bölge uzunluğu test sonrasında tekrar ölçülür. Testten önceki ölçüm değeriyle testten sonraki ölçüm değeri farkı alınıp test öncesi değere bölünerek %elastikiyet(esneme) miktarı hesaplanır (6).

### 2.4. Sürtünme Haslığı

Sürtünme haslığı, bir kumaşın temas halinde olduğu bir kumaşa sürtünme sonucunda rengini transfer etmeye karşı gösterdiği direnç olarak ifade edilmektedir. Sürtünme direnci materyalin cinsine ve uygulanan bitim işlemleri gibi birtakım özelliklere göre değişiklik göstermektedir.

Sürtünme haslığı testi, renkli kumaş yüzeyinden diğerine transfer edilen renk miktarını ölçer. Bu durum kumaş ıslakken daha çok artabilir (7,5). Sürtünme haslığı testlerinde, kumaşın materyali boyama miktarı 1'den 5'e kadar derecelendirilerek test numunesi değerlendirilir. Burada test sonucu 5, numune kumaşın sürtünme haslığının en yüksek, 1 ise numune kumaşın sürtünme haslığının en düşük olduğunu ifade etmektedir. Denim kumaşlarda kullanım sırasında indigo boyanın yavaş yavaş giysiden ayrılarak kumaşta eskimiş görüntünün oluşması istendiğinden, sürtünme haslıklarının düşük olması istenir.

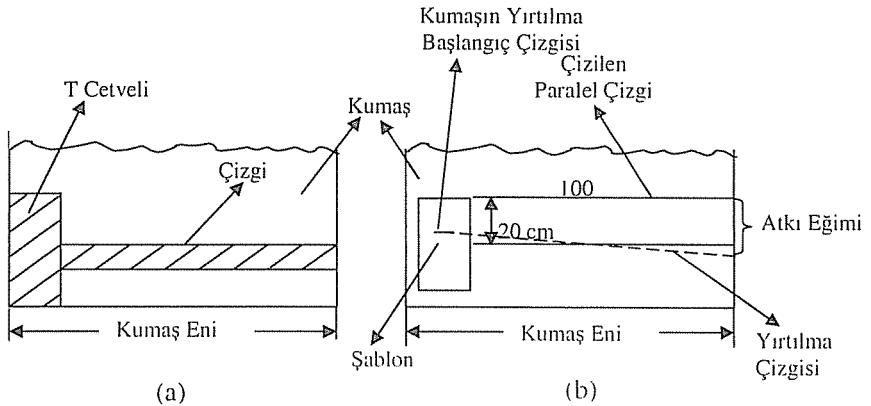
Sürtünme haslığı testi için bu çalışmada Crockermeter test cihazı kullanılmıştır. Marks&Spencer test standartlarına göre numune kumaş laboratuvar koşullarında öncelikle 4 saat dinlendirilir. 250x50 mm'lik şablonun 250 mm'lik kısmı çözgü yönüne gelecek şekilde numune kumaş üzerine yerleştirilir ve bu kısım numune kumaştan ayrılır. Bu şekilde iki örnek hazırlanır. Bunlardan biri yaş, diğeri kuru sürtünme haslığı

tayini için kullanılır. Kuru sürtünme haslık tayini için, sürtünme cihazının başlığına sürtünme bezi, kuru halde klips sayesinde gergin bir şekilde yerleştirilir. Test örneği crockermeter sürtme bölgesine yerleştirilir. Test cihaz başlığı indirilerek sürtme bezinin numune kumaş üzerinde 10 tur atması sağlanır. Sürtme bezi 1'den 5'e kadar belirlenmiş derecelendirmeye göre değerlendirilir. Islak sürtünme haslığı için ise işlemler kuru sürtünme haslığı testi ile aynıdır. Tek fark sürtünme bezi saf su ile ıslatılır. Kuru sürtünme haslık tayini için yapılan işlemler tekrarlanır (6).

## 2.5. Atkı Eğimi

Atkı kayması testinde olduğu gibi, atkı eğimi testi de dimi dokulu kumaşlara uygulanır. Atkının kumaş oluşum sırasında kumaş enine mümkün olduğunca paralel olması istenir. Bu amaçla atkı eğiminin kumaş dokunduktan sonra ölçülmesi önemlidir. Bu testin amacı, mamul halde kumaşa verilen yırtılma sonucu atkının çizilen düz bir çizgiden ne kadar saptığı ile yıkama sonrasında aynı işlemin uygulanarak elde edilen sonuçların karşılaştırılıp atkı kaymasında olduğu gibi kumaşta paça dönmesi olup olmayacağını belirlemektir.

Atkı eğimi tayini Levi's standartlarına göre yapılabilir. Buna göre, kumaşın ters yüzü üste gelecek şekilde serilir. Kumaş eni içten içe ölçülür. Kumaş Z dimi ise sol başa, S dimi ise sağ başa T cetveli konur. T cetveli kumaşın iç kenarına dik gelecek şekilde yerleştirilir. En boyunca ( T cetveli boyunca) tükenmez kalem ile düz bir çizgi çizilir (şekil-2.a). Sanfor kalemi ile çizginin üzerinden tekrar geçilir. Atkı eğimi ölçümü için sanfor kalemi ile çizilen çizginin 20 cm üzerine paralel olarak 100 cm çizgi çizilir. Bu çizgiye dik gelecek şekilde şablon (20x60) yerleştirilip şablonun üzerinde bulunan delikten yırtılma çizgisi çizilir ve sanfor kalemi ile tekrar üzerinden çizim yapılır (şekil-2.b). Daha sonra atkı eğimi için kumaş yırtılma çizgisinden kumaş yırtılmaya başlanır. Kumaş, kumaş eninden az olacak kadar yırtılır. Yırtılma sonucunda 100 cm'lik çizilen çizgi ile kumaşın yırtılan ucunun geldiği nokta arası cetvelle ölçülür. Bulunan değer kumaş enine bölünür ve 100 ile çarpılarak % atkı eğimi değeri bulunur. Aynı işlem yıkanmış kumaş için de tekrarlanır. Mamul kumaş atkı eğimi ile yıkama sonrası atkı eğimi arasındaki fark %3'ü geçmemelidir. %3'ü geçtiği durumlarda kumaşta paça dönmesi riski artar (6).



Şekil-2. Atkı Eğimi Testi İçin Numune Kumaş Hazırlanışı

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR

#### 3.1. Numune Kumaşların Fiziksel Özellikleri

Bu çalışmada kullanılmak amacıyla bir denim kumaş üreten işletmeden 5 farklı tipe denim kumaş örnekleri elde edilmiştir. Çizelge-1'de söz konusu kumaşların fiziksel özellikleri verilmektedir. Bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde anlatımı kolaylaştırmak için test edilecek kumaşlar 1'den 5'e kadar numaralanmıştır. Buna göre 1: 3/1 Z dimi, 2: 3/1 Z kırık dimi, 3: 3/1 Z lycralı dimi, 4: 3/1 Z atkıda open-end dimi, 5: 3/1 Z kırık lycralı dimiyi ifade etmektedir. Çizelge-1'de 1 nolu 3/1 Z dimi dokulu denim kumaşın %100 pamuktan oluştuğu görülmektedir. Atkı iplik numarası 8.2 Ne, çözgü iplik numarası ise 8 Ne'dir. 2 nolu denim kumaşın fiziksel özelliklerine bakıldığında 1 nolu denim kumaştan tek farkının doku yapısı olduğu, diğer bütün özelliklerinin ise aynı olduğu görülmektedir. 3 nolu kumaş ise 1 nolu kumaşla kumaş kompozisyonu dışında aynı özellikleri göstermektedir. Buna göre bu kumaşın %83.5'i pamuk, %15'i poliamid ve %1.5'i de lycradan oluşmaktadır. 4 nolu kumaşın da 1 nolu kumaş ile aynı özelliklerde olduğu çizelgede görülmektedir. 4 nolu kumaş 1 nolu kumaştan atkıda open-end ipliği, çözgüde ise ring ipliği kullanılmış olması ile ayrılmaktadır. 5 nolu kumaşın ise 3 nolu kumaş ile aynı özelliklerde olduğu sadece doku yapılarının farklı olduğu görülmektedir (8).

Çizelge-1. Numune Denim Kumaşların Fiziksel Özellikleri

		Mamul Kumaş Özellikleri				
Numune Kumaş Numarası		1	2	3	4	5
Doku Yapısı		3/1 Z Dimi	3/1 Z Kırık Dimi	3/1 Z Dimi	3/1 Z Dimi	3/1 Z Kırık Dimi
Kumaş Kompozisyonu (%)		%100 Pamuk	%100 Pamuk	%83.5 Pamuk+ %15 Poliamid+ %1.5 Lycra	%100 Pamuk	%83.5 Pamuk+ %15 Poliamid+ %1.5 Lycra
İplik Numarası	Çözgü (Ne)	8	8	8	8.3 (Ring)	8
	Atkı (Ne)	8.2	8.2	11.5	8.2 (Open-End)	12
Tezgah Tipi		Sulzer P7100 91 Model	Sulzer P7100 91 Model	Sulzer P7100 91 Model	Sulzer P7100 91 Model	Sulzer P7100 91 Model
Mamul Bez Eni (cm)		150 (±2 tolerans)	150 (±2 tolerans)	143 (±2 tolerans)	149 (±2 tolerans)	143 (±2 tolerans)
Çözgü Sıklığı (tel/cm)		26.48	26.48	30.20	25	30.20
Atkı Sıklığı (tel/cm)		21.40	19.50	20.70	20	20.70
Çözgü İpliği Ağırlığı (g/m)		270	395	350	386.60	350
Atkı İpliği Ağırlığı (g/m)		93.43	232.50	201.70	238.40	201.70
Bez Ağırlığı (g/m)		363.65	627.50	551.70	625.00	551.70
Bez Ağırlığı (g/m <sup>2</sup> )		410	418.30	385.80	419.50	385.80
Kesilebilir En (cm)		149	149	140	148	140

### 3.2. Yürütülen Deneyler ve Test Sonuçları

Bu çalışmada denim kumaşların performans özelliklerini etkileyen atkı kayması, çözgü ve atkı çekmesi, elastikiyet, sürtünme haslığı ve atkı eğimi gibi parametrelerin tespit edilmesi amaçlandığından, numune denim kumaşlara yukarıda verilen çeşitli yöntemlerle standartlara uygun olarak uygulanan bu testlerin sonuçları her bir numune kumaş için Çizelge-2’de verilmiştir. Bu sonuçlar her bir test için yapılan 9 ayrı deney sonucunun ortalamalarını ifade etmektedir.

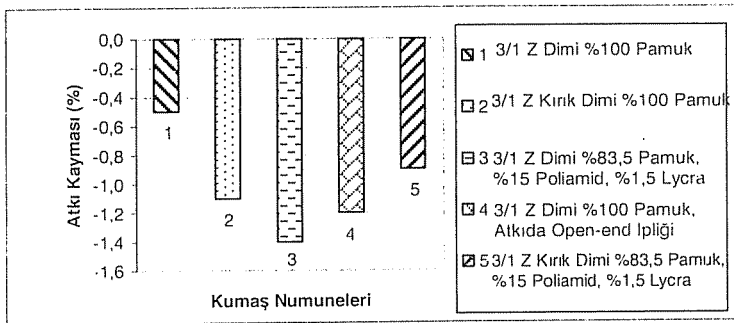
Çizelgede görüldüğü gibi kumaşlara uygulanan testler dikey sırada, kumaş numuneleri ise yatay sırada yer almaktadır.

**Çizelge-2. Numune Denim Kumaşlara Uygulanan Test Sonuçlarının Ortalaması**

Yapılan Testler	Kumaş No	1	2	3	4	5
Atkı Kayması (%)		-0.5	-1.1	-1.4	-1.2	-0.9
Çözgü ve Atkı Çekmesi	Ç (%)	-2.4	-1.7	-2.7	-1.8	-1.2
	A (%)	-3.6	-3.9	-3.6	-3.8	-3.5
Mamul Atkı Eğimi (%)		5.5	0.7	6.8	5.07	6.6
Yıkama Sonrası Atkı Eğimi (%)		4.7	0.6	6.4	5.04	6.2
Fark (Mamul Atkı Eğimi - Yıkama Sonrası Atkı Eğimi Farkı) (%)		0.8	0.1	0.4	0.03	0.4
Elastikiyet (%)		-	-	21.2	-	21.9
Sürtünme Haslığı	Kuru	3	4	4	4	4
	Yağ	2	2	3	3	3

#### 3.2.1. Atkı Kayması

Burada numune denim kumaşlara standartlara uygun olarak atkı kayması testi uygulanarak elde edilen sonuçlar çizelge-2’de her bir kumaş için verilmiştir. Çizelgede yapılan testler sonucunda elde edilen % atkı kayması ortalama değerlerinin negatif (-) olduğu görülmektedir. Bu durumda kumaşta paça dönmesinin sağ yönlü olacağı anlamına gelmektedir. Başka bir ifadeyle kumaş referans noktasının aşağısına doğru dönme veya kayma var olduğu söylenir. Bu paça simetrisini bozmaktadır. Şekil-3 numune kumaşların atkı kaymasının doku yapısı, hammadde ve atkı ipliği üretim şekline göre değişiminin daha iyi görülmesi için verilmiştir. Grafiğin sağ tarafında kumaşların teknik özellikleri toplu olarak verilmiştir.



**Şekil-3. Seçilmiş Denim Kumaşlarda Atkı Kayması Değerlendirilmesi**

Şekil-3'de görüldüğü gibi 3 nolu kumaş %1.4'le en fazla atkı kayması değerine sahiptir. 1 nolu kumaş ise %0.5'le en az atkı kayması değerini almıştır. 2, 4 ve 5 nolu kumaşların atkı kayması değeri ise 1 ve 3 nolu kumaşların atkı kayması değerlerinin arasında yer aldığı görülmektedir.

Doku yapısının, hammaddenin ve atkı ipliğinin üretim şekline göre atkı kayması değişimi aşağıda incelenmiştir.

**Doku Yapısına Göre Değerlendirme:** Burada: çizelge-1'de özellikleri verilen doku yapıları farklı, hammaddeleri ve atkı ipliği üretim şekli aynı olan 1, 2 ve 3, 5 nolu kumaşlar incelenmiştir. Doku yapısının etkisinin söylenebilmesi için 1,2 ve 3,5 nolu kumaşlar kendi aralarında incelendiğinde atkı kayması davranışlarının aynı olması (ya normal dimi örgülerde atkı kayması daha az, ya da kırık dimi örgülerde atkı kayması daha az) beklenmiştir. 1 ve 2 nolu kumaşlar kendi arasında incelendiğinde, atkı kayması değeri 2 nolu kumaşta, 1 nolu kumaşa göre daha fazladır. 3 ve 5 nolu kumaşlar da kendi arasında incelendiğinde 3 nolu kumaşın 5 nolu kumaşa göre atkı kayması değerinin fazla olduğu görülmektedir. Dolayısıyla 1,2 ve 3,5 nolu kumaşlarda benzer atkı kayması davranışı görülmediğinden doku yapısının atkı kaymasını doğrudan etkileyecek bir parametre olmadığı söylenebilir.

**Hammaddeye Göre Değerlendirme:** Doku yapıları ve atkı ipliği üretim şekilleri aynı, hammaddeleri farklı olan 1, 3 ve 2, 5 nolu kumaşlar incelenmiştir. 1 ve 3 nolu kumaşlar kendi aralarında değerlendirildiğinde yapısında lycra bulunan 3 nolu kumaşın atkı kayması değeri, yapısında lycra bulunmayan 1 nolu kumaşa göre daha fazla olduğu görülmüştür. 2 ve 5 nolu kumaşlarda ise yapısında lycra bulunmayan 2 nolu kumaşın atkı kayması değeri, yapısında lycra bulunan 5 nolu kumaşa göre daha fazladır. Doku yapısının atkı kaymasına etkisinde olduğu gibi, hammaddenin de atkı kaymasına doğrudan bir etkisi olmadığı söylenebilir. Kumaşların yapısına lycra eklendiğinde kırık dimi örgülü kumaşların atkı kayması değeri azalırken, normal dimi örgülü kumaşlarda ise atkı kayması değerinde bir yükselme olduğu söylenebilir. Bu durum lycranın, kumaşlarda 3/1 Z kırık dimi örgüsü ile birlikte kullanılmasının atkı kayması değerini azalttığı şeklinde düşünmeye sevk etmektedir.

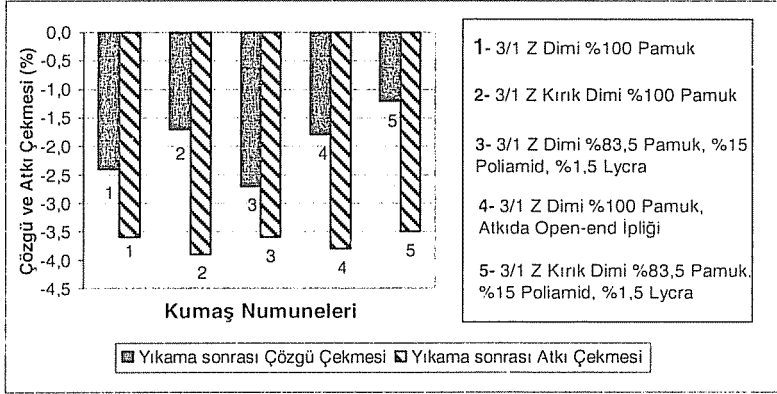
**Atkı İpliği Üretim Şekline Göre Değerlendirme:** Hammaddeleri % 100 pamuk ve doku yapıları 3/1 Z dimi olan 1 nolu kumaşta atkıda ring ipliği, 4 nolu kumaşta ise atkıda open-end ipliği kullanılarak atkı ipliği üretim şekli farklılaşan 1 ve 4 nolu kumaşlar incelendiğinde atkı kayması değerinin atkı ipliği olarak open-end ipliği kullanılan 4 nolu kumaşta atkıda ring ipliği kullanılan 1 nolu kumaşa göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durumun 4 nolu kumaşın atkı ipliğinde open-end ipliği kullanımından kaynaklandığı söylenebilir. Diğer bir deyişle, atkı ipliğinde ring ipliği kullanılan denim kumaşlarda atkı kayması değeri azaltılabilir. Ring iplikleri, open-end ipliklere oranla tüylülükleri fazladır. Atkı ipliğinin merkezinden çıkan tüyler, diğer atkı ipliğinin merkezinden çıkan tüylere takılıp birbirinin hareketini engelleyerek atkı kaymasının da daha az olmasını sağlayabilirler.

### 3.2.2. Çözgü ve Atkı Çekmesi

Numune kumaşlara hem çözgü hem de atkı çekmesi testi uygulanarak elde edilen sonuçlar Çizelge-2'de verilmiştir. Atkı kayması testinde olduğu gibi numune kumaşların atkı ve çözgü çekmesi değerlerinin de doku yapısı, hammadde ve atkı ipliği



üretim şekline göre değişimlerinin daha açık bir şekilde görülmesi için şekil-4 oluşturulmuştur.



Şekil-4. Seçilmiş Denim Kumaşlarda Çözgü ve Atkı Çekmesi Değişimi

Şekil-4'de atkı yönünde %-3.5 değerle 5 nolu kumaş en az atkı çekmesine. %-3.9 ile de 2 nolu kumaş en fazla atkı çekmesine sahip olduğu görülmektedir. Çözgü yönünde ise yine 5 nolu kumaşın %-1.2 en az çözgü çekmesi değerine, 3 nolu kumaşın ise %-2.7 ile en fazla çözgü çekmesine sahiptir. Diğer numune kumaşların atkı ve çözgü çekmesi ortalama değerleri bu kumaşlar arasında yer almaktadır.

Atkı kaymasında olduğu gibi, çözgü ve atkı çekmesi değerlerinin de atkı ipliği üretim şekli, hammadde ve doku yapısı faktörlerine göre değişimi aşağıda verilmektedir.

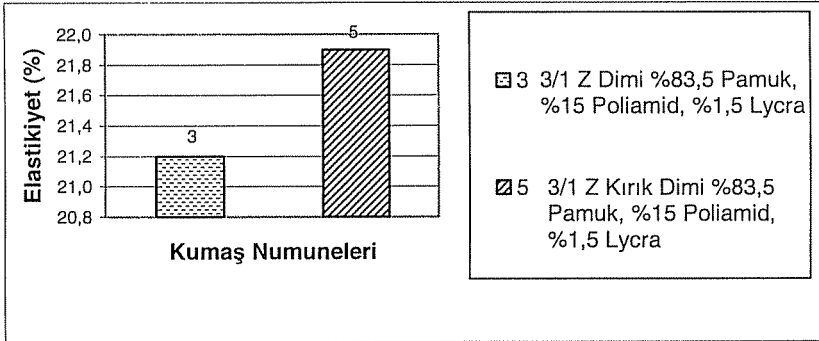
**Doku Yapısına Göre Değerlendirme:** Bu amaçla doku yapıları farklı, hammaddeleri ve atkı ipliği üretim şekli aynı olan 1, 2 ve 3, 5 nolu kumaşlar incelenmiştir. 1 ve 2 nolu kumaşlar kendi arasında incelendiğinde 1 nolu kumaşın atkı çekmesi, 2 nolu kumaşa göre daha az; çözgü çekmesi ise daha yüksektir. 3 ve 5 nolu kumaşlarda ise atkı çekmesinin hemen hemen aynı olduğu, çözgü çekmesinin ise 3 nolu kumaşa daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu kombinasyonlardan, kırık dimi doku yapısının kumaşların çözgü çekmesini azalttığı, atkı çekmesini ise yükselttiği söylenebilir. Bunun nedeni, kırık dimi dokularda çözgü atlamalarının daha fazla olmasıdır. Yıkama sonrası ipliklerde bir şişme durumu söz konusu olduğu için çözgü iplikleri daha az atkı ipliği arasında kaldığından daha az bir çekme göstereceklerdir. Atkı yönünde ise normal dimi dokulu kumaşlarda çekme, kırık dimi dokulu kumaşlara göre daha az olacaktır. Burada da normal dimi dokularda atkı iplikleri çözgü iplikleri arasında fazla bulunmadığından, yıkama sonrası atkı ipliği fazla bir çözgü ve atkı ipliği şişmesine maruz kalmayacaktır. Bu nedenle atkı çekmesi daha az olabilir.

**Hammaddeye Göre Değerlendirme:** Kumaşların aynı doku yapısı, farklı hammaddeden oluşma durumları incelendiğinde 1, 3 ve 2, 5 nolu kumaş kombinasyonları dikkate alınmıştır. Burada 1 ve 3 nolu kumaşlar için atkı çekmesinin sabit olduğu görülmektedir. 2 ve 5 nolu kumaşlarda ise atkı çekmesinin 5 nolu kumaşta (lycralı kumaş) daha az olduğu görülmektedir. Lycranın nem çekme özelliğinin düşük olmasından dolayı kumaşların atkı yönünde kullanılmasında atkı çekmesini azalttığı söylenebilir. Çözgü yönünde lycra kullanılmadığı için lycranın çözgü çekmesine nasıl bir etkisi olduğu hakkında bir yorum getirilememiştir.

**Atkı İpliği Üretim Şekline Göre Değerlendirme:** Hammaddeleri ve doku yapıları aynı, farklı atkı ipliği üretim şekline sahip 1 ve 4 nolu kumaşlar incelendiğinde atkıda open-end ipliği kullanılan 4 nolu kumaşın, atkıda ring ipliği kullanılan 1 nolu kumaşa göre atkı çekmesi daha yüksektir. Atkıda open-end ipliği kullanımının atkı çekmesini yükselteceği söylenebilir. Open-end ipliği kullanımının atkı çekmesini neden yükselttiği hakkında bir yorum getirilememiştir. Kumaş çözgü yönünde atkı ipliği üretim şekli farklılığı olmadığından çözgü çekmesi hakkında bir yorum yapılmamıştır.

### 3.2.3. Elastikiyet (Esneme)

Numune denim kumaşların lycralı olanlarına elastikiyet (esneme) testi uygulanarak elde edilen sonuçlar Çizelge-2'de özetlenmektedir. Şekil-5'de ise yapısında lycra bulunan kumaşların elastikiyet değerlerinin doku yapısına göre değişimi daha açık görülmektedir. Şekil-5'de görüldüğü gibi 5 nolu kumaşın elastikiyet değeri 3 nolu kumaştan daha yüksektir.



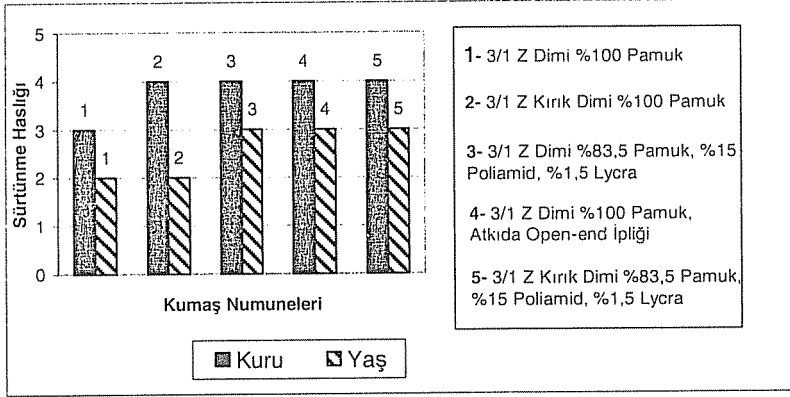
Şekil-5. Doku Yapısına Göre Elastikiyet Değişimi

Burada hammaddeleri ve atkı ipliği üretim şekli aynı olan, farklı doku yapılarına sahip numune kumaşların elastikiyet değerleri bulunduğu için sadece doku yapısının değerlendirilmesi irdelenmiştir ve bu durum aşağıda verilmiştir.

**Doku Yapısına Göre Değerlendirme:** Hammaddeleri %83.5 pamuk, %15 poliamid ve %1.5 lycra ve atkı ipliği olarak ring ipliği kullanılan ve doku yapıları farklı 3 ve 5 nolu kumaşlar incelenmiştir. 3/1 Z kırık dimi dokulu 5 nolu kumaşın 3/1 Z dimi dokulu 3 nolu kumaştan elastikiyet değeri daha fazladır. Buradan kırık dimi doku yapısına sahip lycralı kumaşların daha fazla esneyebileceği söylenebilir. Bunun nedeni, kırık dimi doku yapısının normal dimi dokusuna göre daha az sıkı yapıda olması ve bu durumun esnemeye daha fazla müsaade etmesi olabilir.

### 3.2.4. Sürtünme Haslığı

Burada numune kumaşlara sürtünme haslığı testi uygulanarak elde edilen test sonuçları çizelge-2'de özetlenmektedir. Şekil-6'da numune kumaşların kuru ve yaş sürtünme haslıkları görülmektedir.

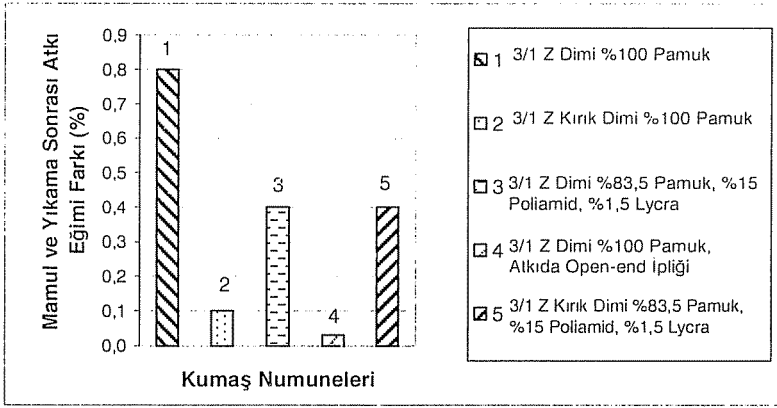


Şekil-6. Numune Denim Kumaşların Sürtünme Haslığı Değişimi

Şekil-6'da 1 nolu kumaşın hem kuru sürtünme haslığının hem de yaş sürtünme haslığının en düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca 2 nolu kumaşın da yaş sürtünme haslığının 1 nolu kumaşla aynı değerde olduğu görülmektedir. Diğer kumaşlar hem yaş hem de kuru sürtünme haslığında yüksek değerlere sahiptir. Şekilde ayrıca numune kumaşların kuru sürtünme haslıkları, yaş sürtünme haslıklarına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Denim kumaşlarda yıkama sonrası boya akmasının istenen bir durum olması nedeniyle, yaş sürtünme haslıklarının düşük çıkması doğal bir durumdur. Kullanım sırasında (kuru haldeki denim kumaş için) kumaşın, diğer tekstil materyallerini boyaması istenmediği için kuru sürtünme haslıklarının da yüksek olması beklenen bir durumdur.

### 3.2.5. Atkı Eğimi

Bitmiş haldeki (mamul) numune kumaşlara ve yıkama işlemi görmüş numune kumaşlara atkı eğimi testi uygulanarak elde edilen sonuçlar çizelge-2'de verilmiştir. Aynı çizelgede atkı eğim sonuçlarının değerlendirmesinde dikkate alınması gereken mamul ile yıkama sonrası atkı eğim farkı da her bir kumaş için verilmiştir. Şekil-7, Çizelge-2'de yer alan mamul ve yıkama sonrası atkı eğim farkları arasındaki değişimin doku yapısı, hammadde ve atkı ipliği üretim şekline göre değerlendirmesinin daha net anlaşılması için verilmiştir.



Şekil-7. Seçilmiş Denim Kumaşlarda Atkı Eğiminin Değerlendirilmesi

Şekil-7'de en az atkı eğim farkına 4 nolu kumaş sahipken, en fazla 1 nolu kumaşın sahip olduğu görülmektedir. Atkı eğiminin hammadde, doku yapısı veya atkı ipliği üretim şeklinin farklılığına göre değişimi aşağıda izah edilmektedir.

**Doku Yapısına Göre Değerlendirme:** Bu amaçla hammaddeleri aynı, doku yapıları farklı 1, 2 ve 3, 5 nolu kumaşlar incelenmiştir. 1 ve 2 nolu kumaşlarda 1 nolu kumaşın atkı eğim farkı 2 nolu kumaşa göre daha fazladır. 3 ve 5 nolu kumaşlarda ise atkı eğim farkı aynıdır. Bu durum dikkate alındığında 3/1 Z kırık dimi yapıları kumaşların atkı eğimlerinin 3/1 Z dimi kumaşlara göre daha düşük veya eşit olacağı söylenebilir. 3/1 Z dimi doku yapısının daha sıkı bir yapıya sahip olmasından dolayı atkı eğim değerinin bu tür kumaşlarda daha az olması beklenirken yukarıda da ifade edildiği gibi kırık dimi dokularda atkı eğim değeri daha az veya eşit çıkmıştır.

**Hammaddeye Göre Değerlendirme:** Hammaddeleri farklı, doku yapıları aynı olan 1, 3 ve 2, 5 nolu kumaş kombinasyonu incelenmiştir. 1 ve 3 nolu kumaşlarda 1 nolu kumaşın atkı eğim farkı, 3 nolu kumaştan daha fazladır. 2 ve 5 nolu kumaşlarda ise, 2 nolu kumaşın atkı eğim farkı, 5 nolu kumaşa göre daha düşüktür. Lycralı kumaşlarda 3/1 Z dimi yapısının kullanılması, lycrasız kumaşlarda ise 3/1 Z kırık dimi yapının kullanılması atkı eğimini azaltabilir. Burada lycranın 3/1 Z dimi kumaşlarda atkı eğimini azaltıcı bir neden olduğu söylenebilir.

**Atkı İpliği Üretim Şekline Göre Değerlendirme:** Aynı hammadde ve doku yapısına sahip, farklı atkı ipliği üretim şekli olan 1 ve 4 nolu kumaşlar incelendiğinde atkıda open-end ipliği kullanılan 4 nolu kumaşın atkı eğim farkı, atkıda ring ipliği kullanılan 1 nolu kumaşa göre daha düşüktür. Buradan atkıda open-end ipliği kullanımının atkı eğimini düşürdüğü söylenebilir. Ring ipliklerinin open-end ipliklere göre daha fazla tüylü olması durumunun, atkısında ring ipliği kullanılan kumaşlarda atkı eğim değerini azaltması beklenirken, yukarıda da ifade edildiği gibi artırmıştır. Bunun nedeni hakkında bir yorum getirilememiştir.

#### 4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Çalışma kapsamında seçilmiş denim kumaş numunelerine standartlara uygun olarak yapılan atkı kayması, çözgü ve atkı çekmesi, elastikiyet, sürtünme haslığı ve atkı eğimi performans testleri sonucunda bu özelliklerin doku yapısı, hammadde ve atkı ipliği üretim şekline göre değişimleri aşağıda verilmektedir.

1. İncelenen kumaşlarda doku yapısının ve hammadde değişikliğinin birlikte değerlendirilmesi sonucu atkı kaymasında bir değişim gözlemlendiği söylenebilir. Bunlar birlikte değerlendirildiğinde, normal dimi doku yapısına sahip (3/1 Z dimi) ve yapısında %100 pamuk bulunduran kumaşların atkı kaymasının, kırık dimi doku yapısına sahip (3/1 Z kırık dimi) ve yapısında %100 pamuk bulunduran kumaşlara göre daha düşük olduğu görülmüştür.
2. Atkı ipliğinde ring ipliği kullanımının denim kumaşlarda atkı kayması değerini azalttığı görülmüştür. Bunun nedeninin atkı ipliği merkezinden çıkan tüylerin diğer atkı ipliğinden çıkan tüylere takılıp birbirinin hareketini engellemesi ihtimali olduğu söylenebilir.
3. Kırık dimi dokusu ile dokunmuş denim kumaşlarda çözgü çekmesinin normal dimi dokusuyla dokunan denim kumaşlara göre daha az olacağı görülmüştür. Atkı yönünde ise bu durum normal dimi dokulu denim kumaşların lehine şeklindedir.
4. Lycranın nem çekme özelliğinin düşük olmasından dolayı kumaşların atkı yönünde kullanılmasında atkı çekmesini azaltabileceği söylenebilir.
5. İncelenen kumaşlarda kırık dimi dokusuna sahip lycralı kumaşların daha fazla esnediği görülmüştür.
6. Numune kumaşların kuru sürtünme haslıklarının, yaş sürtünme haslıklarına göre daha fazla olduğu görülmüştür.
7. Doku yapısının, hammaddenin ve atkı ipliği üretim şeklinin sürtünme haslıklarına bir etkisi olduğu görülmemiştir.
8. Lycralı kumaşlarda 3/1 Z dimi doku yapısına sahip, lycrasız kumaşlarda ise 3/1 Z kırık dimi dokusunun kullanılmasının atkı eğimini azalttığı görülmüştür.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Nef,U., "Denim Türü Kumaşlar İçin Mekikçikli Dokuma Makineleri", *Melliand Türkiye Özel Sayısı*, 36-37, 1996.
2. Bali,Y., "Güncelliğini Kaybetmeyen Moda-Denim-", *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, Sayı 3, 180-183, 1998.
3. Akçakoca,P., "Denim Kumaşlar ve İndigo Boyamacılığı", *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, Sayı 2, 136-143, 1999.
4. Bona,M., "Textile Quality Physical Methods of Product and Process Control", 510 s., Italy, 1994.
5. Taylor,A. M., "Tekstil Teknolojisi", *Şan Ofset*, 368 s., İstanbul, 1999.
6. BOSSA -4 *Denim&Spor Giyim San. ve Tic. AŞ, Teknik Doküman*, Adana, 2004.
7. Zerent,B., "Havlu Üretimi ve Ürün Kalitesine Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı*, Adana, 2002.
8. Ayyıldız,Ç., "Denim Kumaş Üretim Prosesi ve Kumaş Kalite Parametreleri", *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı*, Adana, 2004.



## TÜRK TEKSTİL SANAYİNDE ENERJİ KULLANIMININ GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ

**Emel KAPLAN ve Erdem KOÇ**

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

**ÖZET :** *Tekstil ve konfeksiyon sektörü Türkiye'nin önde gelen sanayi dallarından birisidir. Bu sanayi dalının uluslararası piyasada rekabet edebilmesi için mamul maliyetlerinin düşürülmesi gerekmektedir. Tekstil ve konfeksiyonda maliyete etki eden önemli unsurlardan biri enerji olduğundan, enerji optimum şekilde kullanılmalıdır. Bu nedenle; bu çalışmada Türk tekstil ve konfeksiyon sanayinde enerji kullanım düzeyi araştırılmıştır. Bu amaçla; öncelikle enerji kaynaklarının türleri özetlenmiş, daha sonra Dünya'da ve Türkiye'de kişi başına enerji tüketimi ile sektörel enerji tüketimi hakkında kısa bilgi verilmiştir. Ayrıca seçilmiş bir entegre tekstil işletmesinde enerji kullanımı değerlendirilmiş, bu işletmede en fazla enerji tüketiminin iplik bölümünde olduğu, bunu sırayla terbiye ve dokuma bölümlerinin izlediği tespit edilmiştir.*

## GENERAL UTILIZATION OF ENERGY CONSUMPTION IN TURKISH TEXTILE INDUSTRY

**ABSTRACT :** *Textile and apparel industry is one of the most important industry in Turkey. In order to challenge in international markets the product costs of textile and apparel industry should be decreased. Since energy cost affects primarily the total cost of textile and apparel product, energy should be used in an optimum way. For this reason, in this study; energy consumption of Turkish Textile and Apparel Industry was examined. For this aim; kinds of energy sources were summarized, then individual and sectoral energy consumption of the world and Turkey were explained briefly. Also; energy consumption of selected integrated textile factory was utilized and it was found that largest amount of energy was used for yarn mill and finishing mill.*

## 1. GİRİŞ

Enerji, üretimde kullanılması zorunlu bir üretim faktörü ve toplumların refahının yükselmesi için gerekli bir unsur olarak, ekonomik ve sosyal kalkınmanın temel girdilerinden birisidir. Dünyada sanayileşmenin hızla gelişimi, nüfusun büyük bir artış göstermesi, yeni teknolojinin kullanıma sunduğu makina ve araçların çeşitlenmesi gibi etkenler her geçen gün enerjiye duyulan ihtiyacı arttırmaktadır.

Günlük yaşamda her aşamada kullanım alanı bulan enerji; bilindiği gibi kimyasal, nükleer, mekanik (potansiyel ve kinetik), termal (ısı), jeotermal, hidrolik, güneş, rüzgar, elektrik enerjisi gibi değişik şekillerde bulunabilmekte ve uygun yöntemlerle birbirine dönüştürülebilmektedir. Değişik yöntem ve teknikler kullanılarak ekonomik anlamda enerji elde edilen kaynaklar enerji kaynakları olarak isimlendirilmekte; bunun yanında yanma reaksiyonu ile enerji elde edilen kaynaklar ise yakıt olarak nitelendirilmektedir. Söz konusu kaynaklar değişik şekillerde sınıflandırılabilir. En yaygın olarak yapılan sınıflandırma; enerji kaynaklarının kullanılışlarına ve dönüştürülebilirliklerine göre olanıdır [1, 2].

Kullanılışlarına göre enerji kaynakları **yenilenebilir** ve **yenilenemez** enerji kaynakları olarak ikiye ayrılırken, dönüştürülebilirliklerine göre enerji kaynakları **birincil** ve **ikincil** enerji kaynakları olarak iki başlık altında incelenebilmektedir. Yenilenemez (Tükenir, Konvansiyonel) enerji kaynakları; insanlık için kısa bir gelecekte tükenilebileceği öngörülen, kendini yenileyemeyen enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar kapsamına fosil kaynaklar (kömür, petrol, doğalgaz) ile uranyum ve toryum elementleri girmektedir. Yenilenebilir (Tükenmez, Yeni) Enerji kaynakları; insanlık için oldukça uzun sayılabilecek bir gelecekte tükenmeden kalabilecek, kendisini yenileyebilen kaynakları ifade etmektedir. Bu kaynaklar arasında güneş, jeotermal, hidrolik, biyokütle, rüzgar, dalga ve gelgit sayılabilmektedir [1-3].

Enerjinin herhangi bir değişim ya da dönüşüme uğramamış şekline birincil (primer) enerji denmektedir. Birincil enerji kaynakları; petrol, kömür, doğalgaz, güneş, hidrolik, nükleer, biyokütle, rüzgardır. Birincil enerjinin dönüştürülmesi sonucu elde edilen çeşidi ise ikincil (sekonder) enerji olarak bilinmektedir. Elektrik, benzin, mazot, motorin, kok kömürü, ikincil kömür, petrokok, hava gazı, LPG bu tip enerji kaynakları kapsamına girmektedir [4].

Çağımızda enerji tüketimi, ekonomik ve sosyal kalkınmanın seviyesini gösteren önemli bir ölçü olarak bilinmektedir. Kişi başına (birim) enerji tüketimi ile sağlanan üretim ve kalkınma; toplumların gelişmişlik derecesini belirlemek üzere kullanılan göstergelerden biri olmaktadır [4]. Çizelge 1’de dünyada yaygın olarak kullanım alanı bulan birincil enerji ve elektrik enerjisinin seçilmiş ülkelerdeki kişi başına tüketimi görülmektedir.

Kişi başına tüketilen birincil enerjinin dünya ortalaması 1560 kgpe (Kilogram petrol eşdeğer), elektrik enerjisinin dünya ortalaması 2670 kWh olarak belirtilmektedir. Kişi başına düşen birincil enerji kullanımında önde gelen ülkeler Kanada, ABD, Finlandiya, Belçika gibi genel enerji tüketiminde de söz sahibi olan ülkelerdir. 2003 yılında 1187 kgpe olan Türkiye kişi başına birincil enerji tüketimi, yaklaşık dünya ortalamasının dörtte üçü, AB ortalamasının üçte biri, OECD ortalamasının dörtte biri seviyelerindedir. Aynı yıl Türkiye’nin kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 1994 kWh olmaktadır.



Çizelge 1. Dünya kişi başına enerji tüketimi [5, 6]

Dünya Kişi Başına Enerji Tüketimi (2003)			
Ülkeler	Nüfus (Milyon)	Birincil Enerji (Kgpe/kişi)	Elektrik Enerjisi (kWh/kişi)
Kanada	31	9313	15 584
Finlandiya	5	5558	15 112
ABD	288	7981.2	12 713
Avustralya	20	5898	9980
Japonya	128	3960	7616
Belçika	11	6495	7653
Fransa	60	4354	6930
Almanya	83	4032	6225
İtalya	58	3339	5115
İngiltere	59	3777	5821
Çin	1295	910	1125
Hindistan	1050	330	486
Pakistan	150	299	420
OECD Ülkeleri	1145	4714	8621
AB	380	3950	7255
<b>TÜRKİYE</b>	<b>71</b>	<b>1187</b>	<b>1994</b>
<b>DÜNYA</b>	<b>6243</b>	<b>1560</b>	<b>2670</b>

Enerji aynı zamanda; kaliteli mal ve hizmet üretimini; istenen zamanda ve minimum maliyetle gerçekleştirmeyi amaçlayan işletmeler için maliyete etki eden unsurlardan birisi konumunda bulunmaktadır. Özellikle ülkemiz gibi, enerji birim fiyatının yüksek olduğu ülkelerde enerji maliyetinin toplam ürün maliyetindeki payı yüksek olmaktadır. Doğal kaynaklardan elde ettikleri maddelerin niteliğini ve biçimini değiştirip çeşitli mamuller elde ederek insan ihtiyaçlarını karşılayan sanayi işletmeleri için de enerji, üretimde kullanılan vazgeçilmez bir üretim faktörü olup, mamul maliyetini önemli derecede etkilemektedir. Ekonomik fayda yaratan sanayi işletmeleri ürettikleri mamul cinsine göre adlandırılmakta ve sınıflandırılmaktadır. Bahsedilen sanayi dallarının arasında gıda, içki, tütün, tekstil konfeksiyon, deri, orman ürünleri, kağıt ürünleri, mobilya, kimya, plastik, metal, metal eşya, makina, otomotiv sanayi sayılabilmektedir. Bazı kaynaklarda, sanayi yerine imalat sanayi tanımı da kullanılabilir.

Çeşitli nitelikteki elyafı hammadde olarak kullanan ve üretim aşamalarından geçiren iplik, kumaş, konfeksiyon mamulü gibi ürünler elde eden tekstil ve konfeksiyon sanayi; Türkiye ekonomisine önemli katkılarda bulunan sanayi dallarından biri olarak bilinmektedir. 2003 yılı esas alındığında, 15 milyar doları aşan tekstil ve konfeksiyon ihracatı yapan Türkiye; tekstil ürünleri itibariyle Avrupa'nın en büyük, dünyanın on dördüncü, konfeksiyon ürünlerinde Avrupa'nın ikinci, dünyanın yedinci büyük tedarikçisi durumunda bulunmaktadır [7].

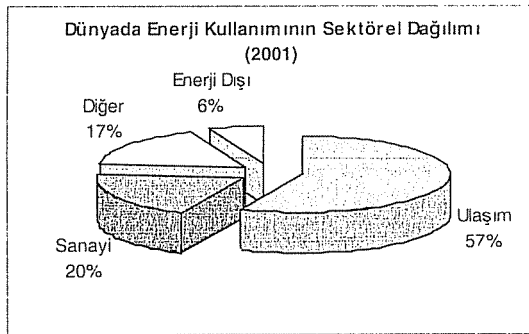
Türkiye ekonomisi için bu ölçüde önemli olan tekstil ve konfeksiyon sanayinde mamul maliyetlerinin kontrol edilmesi ve düşük tutulması, sektörün yurt dışında rekabet şansını arttırmaktadır. Genel olarak; tekstil ve konfeksiyon sanayinde enerji maliyeti toplam iplik maliyetinde %6-14, kumaş maliyetinde %7-15, konfeksiyon mamulü maliyetinde %6-10 arasında değişen oranlarda pay almaktadır. Ülkemizde birim enerji fiyatlarının yüksek olması nedeniyle bu oran yüksek olmaktadır [7].

Gerek mamul maliyetlerinin azaltılması gerekse de enerji kaynaklarının hızla tükenmeye yüz tutması nedeniyle günümüzde enerjinin etkili ve verimli biçimde kullanımı giderek önem kazanmaya başlamıştır. Bu çalışmada; Dünyada ve Türkiye’de genel enerji tüketiminin kullanım alanlarına göre dağılımına yer verilmiş. Türkiye’de faaliyet gösteren çeşitli sanayi dallarının enerji kullanımı kısaca incelemiştir. Ekonomik etkinliği ve sosyal etkileşimi itibarıyla Türkiye’nin önde gelen sanayi dallarından biri olan tekstil ve konfeksiyon sanayinin enerji kullanımı üzerinde durulmuş, bu sanayi dalında kullanılan enerji türleri belirlenmiş, bu sanayi dalının enerji tüketimi elektrik enerjisi, yakıttan elde edilen enerji ve toplam enerji olmak üzere üç başlık altında incelenmiş; seçilmiş bir tekstil işletmesinde kullanılan toplam enerji ve elektrik enerjisinin işletmede alt bölümlere göre dağılımı değerlendirilmiştir.

## 2. SEKTÖREL ENERJİ KULLANIMI

İnsanların ihtiyaçlarının karşılanmasında ve gelişmenin sağlıklı olarak sürdürülmesinde gerekli olan enerji, özellikle binalar-konutlar ve sanayi, ulaştırma, tarım gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Burada, Dünya ve Türkiye’de enerji tüketiminin sektörel olarak dağılımı özetlenecektir.

2003 yılında 9741.1 MTEP (Milyon Ton Eşdeğer Petrol) olan dünya toplam birincil enerji tüketiminin %57’sinin ulaşım, %20’sinin sanayi sektöründe kullanım alanı bulunduğu Şekil 1’den görülmektedir. Ulaşım sektörünün enerji tüketiminin büyüklüğü, çağımızda ulaşım araçlarının çeşitliliğinin ve sayısının artmasına bağlanabilmektedir. Şekilde; diğerleri olarak ifade edilen ticaret, tarım sektörleri ve bina-konutlar toplam tüketimde %17’lik paya sahip olmaktadır. Ayrıca dünya birincil enerji kullanımından %6 oranında pay alan enerji dışı sektörler ise; enerji kaynaklarının enerji üretimi haricinde kullanıldığı alanları belirtmektedir.



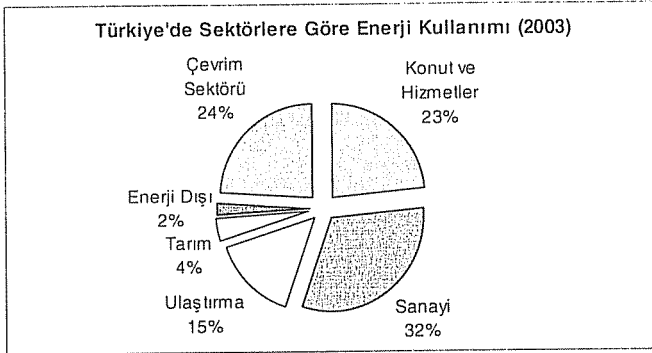
Şekil 1. Dünyada enerji kullanımının sektörel dağılımı [8]

Çizelge 2’de 2003 yılı sonu esas alınarak Türkiye’nin genel enerji tüketiminin sektörlerle göre dağılımı verilmektedir. Söz konusu yıl için Türkiye’de yaklaşık 84 005 BTEP enerji tüketimi gerçekleşmekte, sanayi sektörü 26 927 BTEP enerji tüketimi ile en fazla enerji tüketen sektör olmaktadır. Çizelgede belirtilen çevrim sektörü: birincil enerji kaynaklarının ikincil enerji kaynaklarına dönüştürüldüğü; elektrik santralleri, petrol rafinerileri, kok ve hava gazı fabrikaları gibi kuruluşları kapsamaktadır.

Çizelge 2. Türkiye’de sektörel enerji tüketimi [9, 10]

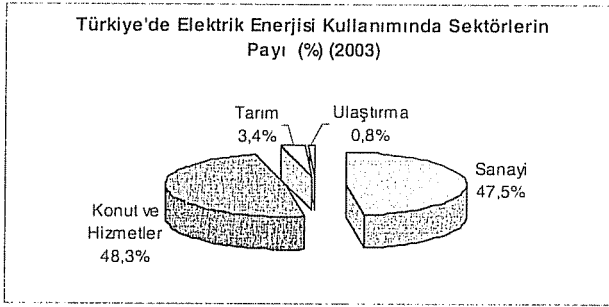
Genel Enerji Tüketiminin Türkiye’de Sektörlere Dağılımı (2003)	
Sektörler	Enerji Tüketimi (BTEP)
Sanayi	26 927
Konut ve Hizmet	19 527
Ulaşım	12 396
Tarım	3 087
Enerji Dışı	2 098
Çevrim Sektörü	19 971
TOPLAM	84 005

Türkiye’de sektörler göre enerji dağılımı (%) ise Şekil 2’de görülmektedir. Ülkemizde toplam enerji tüketiminde; %32’lik kullanım oranı ile sanayi sektörü en büyük payı almakta, bu sektörü, sırayla çevrim sektörü (%23.8), konut ile hizmet (%23.3) ve ulaştırma (%14.8) sektörleri takip etmektedir.



Şekil 2. Türkiye’de genel enerji kullanımının sektörel dağılımı [9, 10]

Taşınma, başka enerji biçimlerine dönüştürme kolaylığı nedeniyle gerek dünyada gerekse Türkiye’de en fazla kullanım alanı bulan enerji türlerinden biri de elektrik enerjisidir. Türkiye’nin toplam elektrik enerjisi tüketimi 2003 yılı için 108 326 GWh (Giga watt saat:  $10^9$  kWh) olmakta, en fazla elektrik enerjisi tüketiminin gerçekleştiği konut ve hizmet sektörü; toplam elektrik enerjisi tüketiminde %48.3 oranında pay almakta, bu sektörü sırayla sanayi (%47.5) ile tarım (%3.4) sektörleri takip etmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Türkiye'de elektrik enerjisi kullanımının sektörel dağılımı [9, 10]

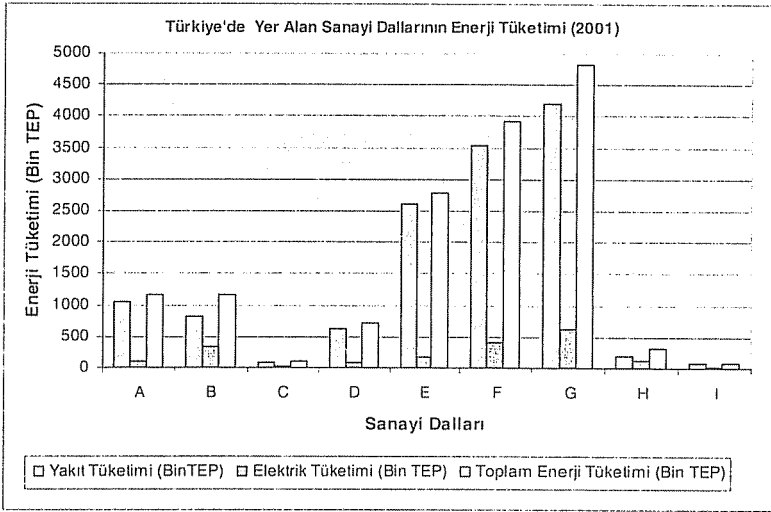
### 3. TÜRKİYE'DE SANAYİDE ENERJİ KULLANIMI

Enerji, bütün sanayi dallarında üretimi gerçekleştirebilmek için gerek duyulan önemli bir üretim faktördür. Şekil 4'te Türkiye'de sanayide yer alan sanayi dallarının enerji tüketimleri 2001 yılı için değerlendirilmektedir. Şekilde; 500 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) ve daha fazla enerji tüketen işletmeler dikkate alınmaktadır. Türkiye'de bu nitelikte olan 1138 işyeri bulunmaktadır; bunlardan 229'u gıda ve içki, 242'si tekstil, konfeksiyon ve deri, 241'i taş ve toprak, 139'u kimya ve petrol sanayinde hizmet vermektedir. Şekilde sanayi dallarının enerji tüketimi; elektrik enerjisi, yakıttan elde edilen enerji ve bunların toplamı olarak üç grupta incelenmektedir. Burada:

- A : Gıda İçki ve Tütün Sanayi
- B : Tekstil, Konfeksiyon ve Deri Sanayi
- C : Orman Ürünleri ve Mobilya Sanayi
- D : Kağıt Ürünleri ve Basım Sanayi
- E : Kimya, Petrol, Kömür, Kauçuk ve Plastik Ürünleri Sanayi
- F : Taş ve Toprağa Dayalı Sanayi
- G : Metal Ana Sanayi
- H : Metal Eşya, Makine Teçhizat, Ulaştırma Aracı, Ölçme Aletleri Sanayi
- I : Diğer

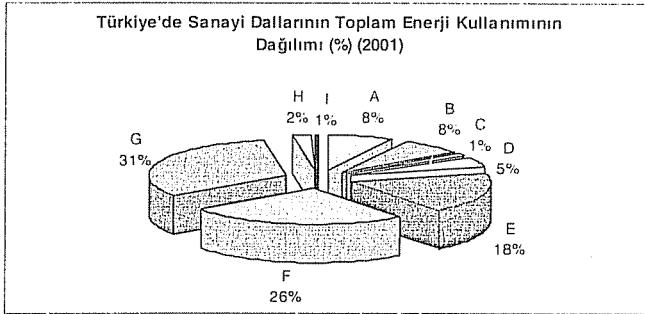
olarak tanımlanmaktadır.

2001 yılında, şekilde yer alan sanayi dallarının toplam enerji tüketimi yaklaşık 15 MTEP olarak gerçekleşmekte, bunun 1.165 MTEP'i tekstil-konfeksiyon ve deri sanayi tarafından tüketilmektedir. Bu sanayi dalı; metal ana sanayi, taş ve toprağa dayalı sanayi, kimya, petrol, kömür, kauçuk ve plastik ürünleri sanayinden sonra en fazla enerji tüketen dördüncü sanayi dalı olmaktadır. Sanayi dallarında; 2001 yılındaki elektrik tüketimi esas alındığında ise; tekstil-konfeksiyon ve deri sanayi en fazla elektrik enerjisi tüketen üçüncü sanayi dalı olarak dikkat çekmektedir.



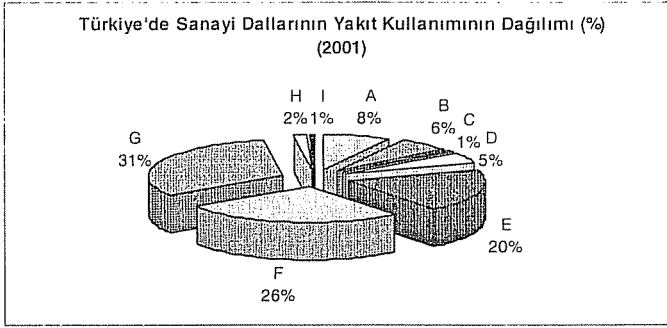
Şekil 4. Türkiye'de faaliyet gösteren sanayi dallarının enerji tüketimi [11]

Şekil 4'te yer alan sanayi dallarının kullandığı toplam enerji, yakıttan elde edilen enerji ve elektrik enerjisinin dağılımı sırayla Şekil 5, 6 ve 7'de verilmekte. Şekillerdeki harfler yukarıda tanımlanmaktadır. Şekil 5'te Türk sanayisinin toplam enerji tüketiminde; sanayi dallarının aldıkları paylar (%) verilmektedir. Tüketilen toplam enerji miktarında en büyük payı %31 ile metal sanayi alırken, tekstil-konfeksiyon ve deri sanayi bu değerlendirmede %8 oranında pay almaktadır.

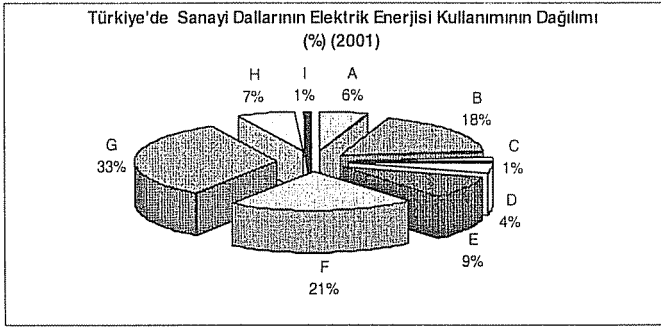


Şekil 5. Türkiye'de toplam enerji kullanımının sanayi dallarına göre dağılımı [11]

Şekil 6'da, Türk sanayisinde üretimde kullanılan ısı enerjisini elde etmek için gerekli olan yakıt kullanımının sanayi dallarına göre dağılımı; 2001 yılı için ele alınmaktadır. Yakıt kullanımında da en büyük payı beklediği gibi; metal ana sanayi almaktadır. Tekstil-konfeksiyon ve deri sanayi ise, 2001 yılı için sanayide meydana gelen 13.22 MTEP toplam yakıt tüketiminden % 6 oranında pay almaktadır. Aynı yıl Türk sanayisinin toplam elektrik enerjisi kullanımı 1885.3 BTEP olmakta, tekstil-konfeksiyon ve deri sanayi, bu kullanımdan %18 pay alarak en çok elektrik tüketen üçüncü sanayi dalı olarak göze çarpmaktadır (Şekil 7).



**Şekil 6.** Türkiye'de sanayi dallarının yakıt kullanımının dağılımı [11]



**Şekil 7.** Türkiye'de sanayi dallarının elektrik enerjisi kullanımının dağılımı [11]

Türkiye'de tekstil ve konfeksiyon sanayi; diğer sanayi dalları ile birlikte değerlendirildiğinde orta düzeyde enerji tüketen bir sanayi dalı olmasına rağmen; ülkemizdeki enerji birim fiyatlarının yüksek olması, bu sanayi dalı için mamul maliyetinde enerji maliyetinin büyük oranda pay almasına neden olmaktadır. Söz konusu sanayide rekabet durumunda bulunan ülkelerle rekabet edebilmek için maliyetleri düşürme açısından tekstil ve konfeksiyon endüstrisinde enerji kullanımını azaltıcı tedbirler alınması, bu tedbirlerin belirlenebilmesi için enerji kullanımının irdelenmesi gerekmektedir.

### 3. TÜRK TEKSTİL SANAYİNDE ENERJİ KULLANIMI

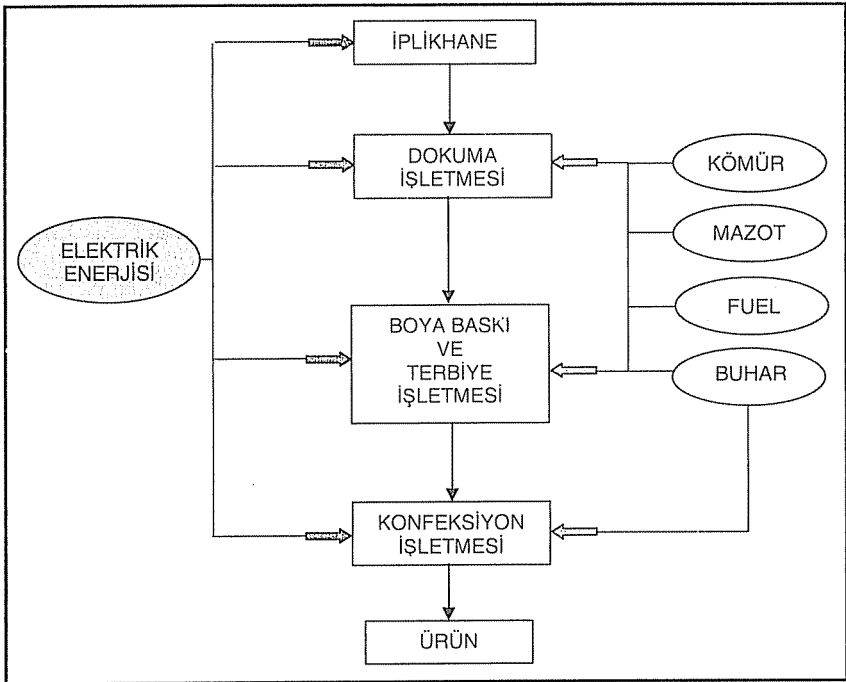
#### 3.1. Tekstil Üretim Aşamalarında Enerji Kullanımı

Tekstil ve konfeksiyon sanayi; Türkiye için gerek üretim ve istihdam, gerekse dış ticaret açısından önemli sanayi dallarından biri konumunda bulunmaktadır. Bu sanayi dalı, hammadde olarak elyafı kullanmakta, çeşitli üretim aşamaları ile iplik, kumaş, konfeksiyon mamulü elde etmektedir. Bütün sanayi dallarında olduğu gibi; tekstil ve konfeksiyon sanayisinde de üretim için kullanılması zorunlu girdilerden biri enerji olmaktadır.

Tekstil ve konfeksiyon sanayinde gerek makinaların çalıştırılması ve işlemlerin yürütülmesi, gerekse üretimin gerçekleştirileceği ortamın iklimlendirilmesi ve aydınlatılması için çeşitli enerji türlerine gerek duyulmaktadır. Ortamın aydınlatılması

ve makinelerin çalıştırılması için elektrik enerjisi kullanılırken; proseslerin yürütülmesi için ısı enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Üretim yapılacağı ortamın iklimlendirilmesi ise; hem elektrik hem de ısı enerjisi kullanılarak sağlanabilmektedir.

Şekil 8’de tekstil ve konfeksiyon sanayinde; üretim aşamalarında yalnızca üretim için kullanılan enerji türleri ve kaynakları görülmektedir. Tekstil ve konfeksiyon üretiminin her aşamasında makinelerin çalıştırılması için elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Dokuma, terbiye ve konfeksiyon aşamalarında ise; üretim için ayrıca ısı enerjisine de ihtiyaç duyulduğu şekilden görülmektedir. Dokuma işletmesinde; dokuma işlemine geçilmeden önce uygulanan haşılama, terbiye işlemleri ve konfeksiyon işletmesindeki ütüleme aşaması ısı enerjisi gerektiren işlemlerdir. Dokumada ve terbiyede kullanılan ısı enerjisi; yaygın olarak kömür, mazot, fuel-oil ve buhardan elde edilirken; konfeksiyonda ütüleme için kullanılan enerji doğrudan buhardan ya da elektrik enerjisi kullanılarak elde edilmektedir.



Şekil 8. Tekstil ve konfeksiyon işletmelerinde üretim basamaklarında kullanılan enerji türleri ve kaynakları [12]

Tekstil işletmelerinde; üretilen mamulün birim miktarı için gerekli olan enerji (özellik enerji) miktarı; mamul yapısına ve üretimde kullanılan basamaklara ve makinelere göre değişeceğinden, üretimin gerçekleştirildiği alt bölümlerde farklılık göstermektedir. Tekstil işletmelerinin üretim basamaklarında üretilen birim mamul miktarı için tüketilen enerji miktarı hakkında fikir vermesi bakımından Çizelge 3 verilmektedir. Çizelgede; tüketilen enerji elektrik ve ısı enerjisi olarak ayrı ayrı incelenmekte; üretimin yapıldığı

koşulları ayarlamak amacıyla kullanılan klimalardaki enerji tüketimleri de irdelenmektedir. Tekstil işletmelerinde mamul kumaş üretimi için toplam 7.3-14.1 kWh/kg elektrik enerjisi tüketilirken, 31.2-107.5 MJ/kg arasında değişen ısı enerjisi kullanılmaktadır. İplik bölümü için 1 kg iplik üretimi söz konusu olduğunda; 2.7-4 kWh elektrik enerjisi kullanılmakta, kullanılan elektrik enerjisinin % 15-20'si klimalar için harcanmaktadır. İplik üretimi için 1.1-4.7 MJ/kg ısı enerjisi harcanmakta; bunun % 100'ü ortamı iklimlendiren klimalar için tüketilmektedir.

**Çizelge 3.** Tekstil işletmelerindeki özgül enerji tüketiminin bölümlere göre dağılımı [13]

Mamul Türleri	Elektrik Enerjisi Tüketimi		Isı Enerjisi Tüketimi	
	Mamul Üretimi İçin Toplam Elektrik E. (KWh/kg)	Üretimde Kullanılan Klimalar İçin (%)	Mamul Üretimi İçin Toplam Isı E. (MJ/kg)	Üretimde Kullanılan Klimalar İçin (%)
İplik	2.7-4	15-20	1.1-4.7	100
Dokuma Kumaş	2.1-5.6	20-25	8.3-17	45-55
Örme Kumaş	1-1.5	25-30	1.8-5.8	100
Terbiye Görmüş Kumaş	3	-	20-80	-
<b>Toplam</b>	<b>7.3-14.1</b>	<b>-</b>	<b>31.2-107.5</b>	<b>-</b>

Çizelge genel olarak değerlendirildiğinde; birim üretim başına en fazla elektrik enerjisi kullanımının iplik ve dokuma bölümlerinde olduğu görülmektedir. Bunun nedeni; iplik işletmesinde üretim için kullanılan motor, makina vb. fazla olması ve dokuma makinalarının yüksek miktarlarda enerji tüketiminin olmasıdır. En fazla ısı tüketiminin ise; dokuma ve terbiye bölümlerinde olduğu dikkat çekmektedir. Terbiye bölümünde; mamullere uygulanan işlemler kapalı makineler içinde, her bir işlem için, o işleme has koşullarda gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle; prosesler için yoğun şekilde ısı enerjisine gerek duyulmakta, üretim için klimalara ihtiyaç bulunmamaktadır. Çizelgeden; örme bölümünde kullanılan ısı enerjisinin tamamının, dokuma bölümündeki ısı enerjisinin % 45-55'inin klimalar için harcadığı görülmektedir. Dokuma bölümünde kullanılan ısı enerjisinin bir kısmı ise; haşılama tüketilmektedir.

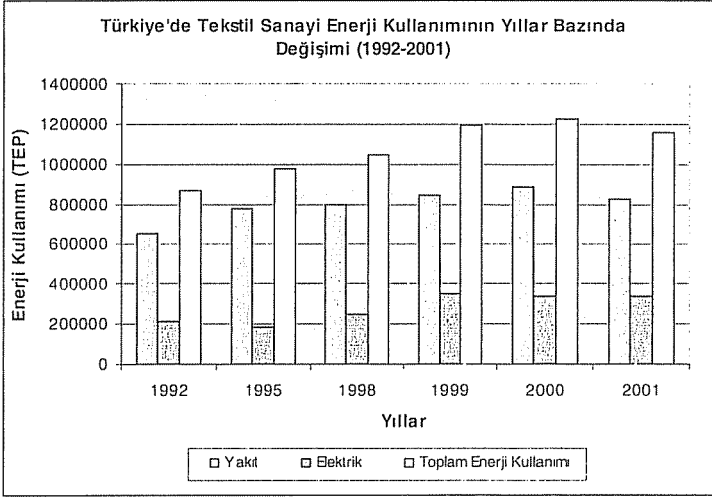
Tekstilde üretim sırasında tüketilen enerji; kullanılan hammaddeden üretilen ürüne, işletme şartlarından yerleşim planına, kullanılan makinalardan, iş akışına kadar her türlü parametreden etkilenmektedir. Ayrıca çalışan personelin eğitim seviyesi, sorumluluk bilinci ve işletme yönetimi de tüketilen enerji miktarını etkileyen parametreler arasında sayılabilmektedir.

### 3.2. Türk Tekstil Sanayinde Enerji Kullanımı

Şekil 9'da Türkiye'de tekstil – konfeksiyon ve deri sanayinde yer alan 500 TEP ve daha fazla enerji tüketen işletmelerin yıllar bazında enerji kullanımının değişimi görülmektedir. Söz konusu sanayinin enerji kullanımı her yıl için yakıttan elde edilen enerji, elektrik enerjisi ve toplam enerji olarak üç farklı sütunda ve farklı renkte



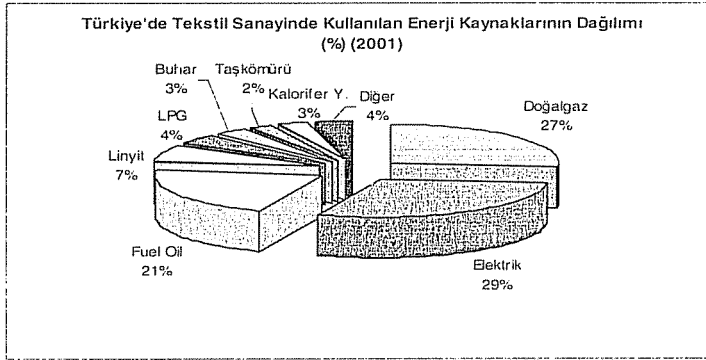
gösterilmektedir. 1992 yılında; 865,799 Bin TEP olan toplam enerji tüketimi 2000 yılına kadar yıllar bazında artış göstermekte, 2001 yılında ise bir önceki yıla göre azalma göstermektedir. Aynı durum yakıttan elde edilen enerji için de söz konusu olmaktadır. 2001 yılında; Türkiye'deki tekstil-konfeksiyon ve deri sanayinin toplam enerji tüketimi 1165,27 Bin TEP, yakıttan elde edilen enerji tüketimi 826,267 BTEP ve elektrik enerjisi tüketimi 339 BTEP olmaktadır.



**Şekil 9.** Türkiye'de tekstil-konfeksiyon ve deri sanayinde enerji kullanımının yıllar bazında değişimi [11]

Tekstil ve konfeksiyon işletmelerinde enerji tüketim düzeyi ve enerji maliyeti; kullanılan enerji kaynağına göre de farklılık göstermektedir. Tek bir kaynak kullanılarak enerji eldesi, enerji maliyetini arttırdığı için fazla tercih edilmemektedir. Örneğin; yalnızca petrol ürünlerinin ısı enerjisi için kullanılması ile enerji maliyeti artmaktadır. Bu nedenle söz konusu işletmelerde her türlü enerji kaynağı belli oranlarda kullanılarak enerji tüketimi ve maliyeti optimum tutulmaya çalışılmaktadır.

Şekil 10'da tekstil-konfeksiyon ve deri sanayinde kullanılan enerji kaynaklarının, 2001 yılı için bu sanayinin toplam enerji tüketiminde aldıkları paylar incelenmektedir. Türkiye'de tekstil-konfeksiyon ve deri sanayinde en fazla tüketilen enerji kaynakları; doğal gaz (%27) ve fuel-oil (%21) olmaktadır. Elektrik enerjisi kullanımı ise; toplam enerji kullanımında % 29 oranında yer almaktadır. Bu enerji kaynaklarının yanı sıra; linyit, taş kömürü, LPG ve buhar, ısı enerjisi üretmek için kullanılan diğer enerji kaynakları olmaktadır.



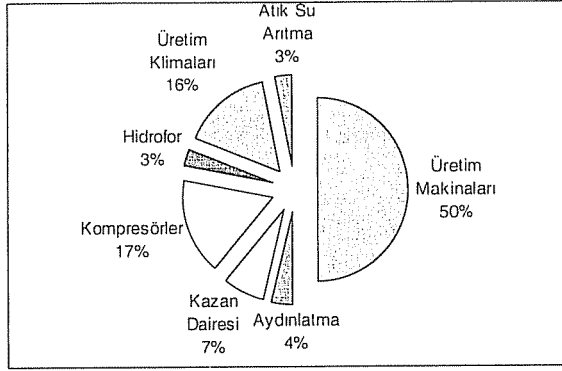
**Şekil 10.** Türkiye'de tekstil sanayinde kullanılan enerji kaynaklarının dağılımı [11]

Tekstil işletmelerinde tüketilen toplam enerji miktarı, üretimin gerçekleştirildiği bölümlerin tükettiği enerji miktarları toplanarak elde edilmektedir. İplik, dokuma, terbiye bölümlerini içeren, seçilmiş entegre bir tekstil işletmesinde; enerji kullanımının bölümlere göre dağılımı hakkında fikir vermesi açısından Çizelge 4 verilmektedir. Bu işletmede aylık ortalama toplam enerji kullanımı 1558 TEP olarak gerçekleşmekte. aylık toplam enerji tüketiminde en büyük payı %37 ile iplik işletmesi almakta; bu bölümü %33'lük payı ile terbiye dairesi izlemektedir. Dokuma bölümünün dokuma hazırlık ile birlikte enerji tüketim oranı; toplam enerjinin % 15'i kadar olmaktadır. Bu bölümlerin haricinde buhar oluşumu, kızgın yağ oluşumu için kazan dairesinde toplam enerjinin %5'i, su tasfiyesi için %3'ü kullanılmaktadır. Çevre aydınlatma ve bürolarda kullanılan enerji miktarları ise; kullanılan toplam enerjinin % 1'i kadar olmaktadır.

**Çizelge 4.** Seçilmiş entegre bir tekstil işletmesinde: üretim bölümlerine göre enerji dağılımı (%) [7]

İşletmenin Bölümleri	Enerji Dağılımı (%)
İplik İşletmesi	37
İplik Boyama Bölümü	6
Dokuma İhzar Bölümü	2
Dokuma İşletmesi	13
Boya-Baskı ve Terbiye İşletmesi	33
Buhar-Kızgın Yağ Kazanı Isıtma	5
Su Tasfiyesi	3
Çevre Aydınlatma	0.6
Bürolar	0.4
TOPLAM	100

Aynı işletme için; aylık ortalama 5 milyon kWh (434 TEP) elektrik enerjisi tüketimi söz konusu olmakta; kullanılan elektrik enerjisinin işletmede kullanım yerlerine göre dağılımı ise Şekil 11'de görülmektedir. Tüketilen enerjinin % 50'si üretimi gerçekleştiren makinaların çalıştırılması için kullanılırken, % 16'sı üretimin gerçekleştirildiği ortamın iklimlendirilmesi için klimalarda kullanılmaktadır.



**Şekil 11.** Seçilmiş entegre bir tekstil işletmesinde; elektrik enerjisi tüketiminin dağılımı (%) [7]

İşletmede; iplik bölümünde harman-hallaç hattında hammaddenin taşınması, diğer makinelerin çalıştırılması, ortamın fanlarla temizlenmesi, dokuma makinelerinde hava jetli makinelerde kullanılması amacıyla basınçlı havaya ihtiyaç bulunmaktadır. Söz konusu işletmede basınçlı havanın elde edilmesi için kompresörler tarafından elektrik enerjisinin % 17'si kullanılmaktadır. İşletmede ihtiyaç duyulan ısının elde edilmesi için kazan dairesinde % 7'lik, ihtiyaç duyulan suyun taşınması için hidroforda % 3'lük elektrik enerjisi tüketimi söz konusu olmaktadır.

#### 4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada; Dünya ve Türkiye'de enerji kullanım alanları değerlendirilmiş, Türkiye'nin önemli sanayi dallarından biri olan tekstil ve konfeksiyon sanayinin enerji kullanımı ele alınmıştır. Bu amaçla, ülkemiz sanayinde bulunan sanayi dallarının enerji tüketimleri karşılaştırılarak tekstil ve konfeksiyon sanayinin enerji tüketimi üzerinde durulmuştur. Çalışma kapsamında; tekstil ve konfeksiyon sektöründe kullanılan enerji türleri ve bu türlerin her aşamada kullanım miktarları incelenmiştir. Tekstil ve konfeksiyon sanayinde makinelerin çalıştırılması, ortamın aydınlatılması için yaygın elektrik, proseslerin yürütülmesi için ısı enerjisi, ortamın iklimlendirilmesi için yaygın olarak ısı ve elektrik enerjilerinin birlikte kullanıldığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda aşağıdaki önemli noktalar belirlenmiştir.

1. Dünyada 2003 yılında tüketilen 9741.1 MTEP (Milyon Ton Eşdeğer Petrol) birincil enerjinin %57'sinin ulaşım, %20'sinin sanayi sektöründe kullanılmaktadır.
2. Türkiye'de 2003 yılı sonu itibariyle yaklaşık 84 MTEP enerji tüketimi gerçekleşmekte, toplam enerji kullanımında %23.8'lik kullanım oranı ile sanayi sektörü en büyük payı almaktadır.
3. Türkiye'de 2003 yılı sonu itibariyle 108 326 GWh elektrik enerjisi tüketimi gerçekleşmekte, toplam enerji kullanımında %48.3'lük kullanım oranı ile konut ve hizmet sektörü en büyük payı almaktadır.

4. Türkiye sanayisinde yer alan, 500 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) ve daha fazla enerji tüketen sanayi dallarının enerji tüketimleri 2001 yılı için 15 MTEP olarak gerçekleşmekte, tekstil konfeksiyon ve deri sanayi bu kullanımda % 7,7 oranında pay almaktadır.
5. Türkiye’de sanayide yer alan sanayi dallarının yakıt kullanımında en büyük payı metal sanayi almakta, tekstil-konfeksiyon ve deri sanayi ise, söz konusu yıl için toplam 13.22 MTEP toplam yakıt tüketiminden % 6.3 oranında pay almaktadır.
6. Aynı yıl imalat sanayinin toplam elektrik enerjisi kullanımı 1885.3 BTEP olurken tekstil-konfeksiyon ve deri sanayi bu kullanımda % 18 pay olarak en çok elektrik tüketen üçüncü sanayi dalı konumunda bulunmaktadır.
7. Türkiye’deki tekstil-konfeksiyon ve deri sanayinin toplam enerji tüketimi 1.165 MTEP, yakıttan elde edilen enerji tüketimi 826.267 BTEP ve elektrik enerjisi tüketimi 339 BTEP olmaktadır. En fazla tüketilen yakıtlar doğal gaz (%27) ve fuel-oil (%21) olmakta, elektrik enerjisi kullanımı ise; toplam enerji kullanımında % 29 oranında yer almaktadır.
8. Tekstil ve konfeksiyon sanayinde makinaların çalıştırılması, ortamın aydınlatılması için elektrik enerjisi kullanılırken, proseslerin gerçekleştirilmesi için ısı enerjisi kullanılmaktadır.
9. Söz konusu işletmelerde ayrıca ortamın iklimlendirilmesi için belirli oranda ısı enerjisinden yararlanılırken, belirli oranda da elektrik enerjisi tüketilmektedir. Bu işletmelerin üretim bölümlerinden iplik, dokuma ve örme aşamalarında yoğun şekilde iklimlendirmeye ihtiyaç duyulurken, terbiye aşamasında makinaların kapalı olmasından dolayı iklimlendirmeye gerek duyulmamaktadır.
10. Kullanılan özgül enerji değerlendirildiğinde; 1kg iplik üretimi için 2.7-4 kWh, 1kg kumaş dokumak için 2.1-5.6 kWh, örmek için 1-1.5 kWh elektrik enerjisi kullanılırken, 1kg kumaş terbiyesi için ortalama 3 kWh elektrik enerjisi, 20-80MJ ısı enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır.
11. Seçilmiş entegre bir tekstil işletmesinde toplam enerji tüketimi değerlendirildiğinde; en fazla tüketimin iplik bölümünde olduğu, iplik aşamasını sırayla boya-baskı ve terbiye bölümü ile dokuma bölümü izlemektedir.
12. Seçilmiş işletmenin toplam elektrik enerjisi tüketimi ele alındığında; en fazla elektrik enerjisi tüketimi, üretimi gerçekleştiren makinalar (%50) tarafından gerçekleştirilmekte, bunu basınçlı hava üreten kompresörler (%17) ve üretim klimaları (%16) takip etmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Doğanay,H., “*Ekonomik Coğrafya 2 : Enerji Kaynakları*”, Şafak Yayınevi, 576s., Erzurum, 1998.
2. İnan.,D., “*Geçmişten Bugüne Enerji Kullanımı*”, Temiz Enerji Vakfı Yayınları, No 1, 20s., Ankara, 2001.
3. Kılıç,A.M., “*Türkiye ve Enerji Gerçeği*”, 2003 Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Makina Mühendisleri Odası Yayınları, Yayın No 330, 361-368, Kayseri, 2003.
4. Kaygusuz,K. ve Sarı,A., “*Türkiye’nin Mevcut Enerji Durumu, Sürdürülebilir Kalkınma ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları*”, 2003 Yeni ve Yenilenebilir Enerji

*Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Makina Mühendisleri Odası Yayınları, Yayın No 330, 347-356, Kayseri, 2003.*

5. [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov)

6. [www.bp.com](http://www.bp.com)

7. Kaplan,E., “Tekstil Sektöründe Maliyet Unsurları-Enerji Maliyetlerinin Genel Değerlendirilmesi”, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 2004.

8. Karaosmanoğlu,F., “Enerjinin Önemi, Sınıflandırılması ile Kaynak İhtiyaç Dengesi ve Gelecekteki Enerji Kaynakları, Dünya ve Türkiye’deki Enerji ve Su Kaynaklarının Ulusal ve Uluslararası Güvenliğe Etkileri”, Harp Akademileri Basımevi, İstanbul, 2004.

9. Altaş,M., Özkan,H.F. ve Çelebi,E., “Enerji İstatistikleri”, Türkiye 9. Enerji Kongresi, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 263s., İstanbul, 2002.

10. [www.dektmk.org.tr](http://www.dektmk.org.tr)

11. \_\_\_\_\_, “İmalat Sanayiinde Enerji Tüketimi (500 Ton Eşdeğer Petrol ve Daha Fazla Enerji Tüketen İşyerleri) 1999-2001”, Devlet İstatistik Enstitüsü Yayınları, Yayın No 2916, Ankara, 2004.

12. [www.climatechangeindia.com](http://www.climatechangeindia.com)

13. Özgür,D., Temir,G. ve Turna,T., “Entegre Tekstil Prosesleri İçin Uygun Bileşik Elektrik ve Isı Sistemlerinin Belirlenmesi-1”, Termodinamik Dergisi, Sayı 123, 107-110, 2002.



## İNDİRGEN YIKAMA İLE YAPILAN BOYARMADDE SÖKÜM İŞLEMİNİN DOKUMA KUMAŞIN YUMUŞAKLIK ve BONCUKLAŞMA (PİLLİNG) ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

**Onur BALCI ve R.Tuğrul OĞULATA**  
Ç.Ü., Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** İndirgen yıkama kullanılarak yapılan boyarmadde söküm işlemi, hatalı olarak üretilmiş olan tekstil materyallerine düzeltme amacıyla yüksek sıcaklıkta kimyasal yoğun olarak uygulanan bir yaş işlemdir. Bu nedenle bu işlemin kumaşın yapısal özellikleri üzerinde olumlu veya olumsuz bir etki oluşturması mümkündür. Bu çalışmada, oluşabilecek bu etkilerin tespiti için numune kumaşlara geri dönme açısı (yumuşaklık) ve boncuklaşma (pilling) testleri uygulanmıştır. Numune olarak Polyester-Viskon-Elastan ve Panuk-Elastan karışımı dokuma kumaşlar seçilmiştir. Böylece bu kumaşların tutum, yüzey dayanımı ve elyaf yapısındaki değişimler ortaya konmaya çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İndirgen Yıkama, Boyarmadde Sökümü, Geri Dönme Açısı, Boncuklaşma (Pilling)

### EFFECT OF DYESTUFF REMOVING PROCESS MADE WITH REDUCTIVE WASHING ON SOFTNESS AND PILLING PROPERTIES OF WOVEN FABRIC

**ABSTRACT :** Dyestuff removing process made with reductive washing is a wet finishing process which is processed at high temperature and intense chemical conditions for reproduction of defected textile materials. Hence, this process can cause some positive or negative effects on the structural properties of fabric. In this study, crease recovery test and pilling physical tests have been applied to sample fabrics in order to determine these effects. For sampling, Polyester-Cotton-Elastane and Cotton-Elastane blended woven fabrics have been examined. Thus, it has been tried to expose changes at softness, surface resistance and fibre structure of fabrics.

**Key Words:** Reductive Washing, Dyestuff Removing, Crease Recovery, Pilling

## 1. GİRİŞ

Tekstil terbiyesinde oluşan çok çeşitli hatalara karşı, hatalı mamulün cinsine, hatanın olduğu işleme ve hatanın cinsine göre birçok düzeltme yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin arasında uygulamaya açısından en zor fakat uygulama sıklığı bakımından en çok kullanılan yöntem olarak kumaş üzerindeki hatanın ortadan kaldırılması için uygulanan boyarmadde söküm işlemi gösterilebilmektedir (1, 2).

Boyarmadde söküm işlemi fiziksel etkileşmenin çok olduğu makinelerde (jet boyama makinesi gibi) yoğun kimyasal kullanılarak yüksek sıcaklıkta uygulanmaktadır. Bu nedenle kumaşın yüzey özelliklerinde çeşitli değişimlere neden olma riski yüksektir. Bu çalışmada, bu öngörüler ışığında boya sökümü işleminin kumaş yüzey özellikleri üzerine etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu tespit yapılırken ilk olarak piyasada konvansiyonel olarak kullanılan hidrosülfid (redüktif yıkama maddesi) ile denemeler yapılmış daha sonra, alternatif redüktif yıkama maddeleri ve makine parametreleri kullanılarak deneyler tekrarlanmıştır.

## 2. İNDİRGEN YIKAMA İŞLEMİ İLE YAPILAN BOYARMADDE SÖKÜMÜ VE KUMAŞ YAPISI ÜZERİNE ETKİLERİ

İndirgen yıkama işlemi ile boyarmadde sökümü, hatalı olarak üretilmiş olan renkli ürünlerin üzerinde yer alan hataları temizleyip, renksiz hale getirme metodudur. Sökülmek istenen boyarmadde cinsine göre bu işlem kimyasal veya fizikokimyasal olarak gerçekleşebilmektedir. Örnek olarak selülozik elyafların üzerindeki reaktif boyarmaddenin sökülmesi işlemi kimyasal, polyesterin yapısındaki dispers boyarmaddenin sökülmesi işlemi fizikokimyasal bir reaksiyondur. Söküm işlemi yükseltgen maddeler ile oksidatif, indirgen maddeler ile redüktif olarak uygulanabilmektedir. Bu iki yöntem arasında en yaygın olarak kullanılan indirgen yıkama maddeleriyle uygulanan redüktif yıkama işlemdir. Redüktif (indirgen) yıkama işlemi bazik ortamda gerçekleştirilmektedir. Bunun temel nedeni şu an tekstil terbiye endüstrisinin konvansiyonel olarak kullandığı redüktif yıkama maddelerinin nötr veya asidik ortamda kolay bozunup, kısa sürede etkinliğini kaybetmesi olarak gösterilebilmektedir. Ortamın bazikliğini sağlamak açısından çözeltide kostik (NaOH) çözeltisi kullanılmaktadır (3, 4).

Bu noktada uygulanan bu yaş işlem, kullanılan redüktif yıkama maddesi ve kostik, yüksek uygulama sıcaklığı, meydana gelen makine-mamul ve mamul-mamul sürtünmeleri, kumaş üzerindeki hidrosülfid hava oksijeni ile oksitlenmesi ve uygulanan ard işlemler sebebiyle kumaş yapısı üzerinde etkili olabilmektedir. Bu duruma örnek olarak bazik ortamda ve özellikle kostik içeren çözeltide selüloz elyafının şişmesi gösterilebilmektedir. Bu durumda kumaş gramajından, tutumuna, pilling özelliğine ve aşınma dayanımına kadar birçok özelliği etkilenebilmektedir (5).

Ayrıca kumaş yapısından iyi arıtılmayan indirgen yıkama maddesi de hava oksijeni ile oksitlenerek pilling değerinin düşmesine neden olabilmektedir.

İndirgen yıkamayla boyarmadde sökümü işleminin etkileyebileceği kumaş fizyolojik özelliklerinden birkaçı;

- Kumaş pilling derecesi,
- Kumaş pilling oluşum süresi,
- Geri dönme açısı (kumaşın yumuşaklığı açısından) olarak sıralanabilmektedir.



### 3. MATERYAL VE METOD

Çalışmada iki farklı numune kumaşa üç değişik indirgen yıkama maddesi kullanılarak farklı reçetelerde ve çalışma şartlarında işletme tipi numune jet boyama makinesinde çektirme yöntemine göre altışar deneme uygulanmıştır.

#### 3.1. Materyal

Özelliklerini incelemek üzere Polyester-Viskon-Elastan ve Pamuk-Elastan karışımı, tekstil endüstrisinde son yıllarda geniş kullanım alanı bulan, yapılarında elastan elyaf içeren dokuma kumaşlar seçilmiştir. Çizelge 1’de seçilen kumaşların bazı yapısal özellikleri ve uygulanan terbiye işlemleri verilmektedir.

**Çizelge 1.** Çalışmada kullanılan numune dokuma kumaşların bazı yapısal özellikleri ve uygulanan terbiye işlemleri

	Polyester/Viskon/Elastan		Pamuk/Elastan	
İplik Özellikleri	Atkı	28 / 2 - % 64 / 31 / 5 Pes/ Vis./ Elastan (78 dtex) Ring İpliği	Atkı	% 100 Pamuk Ring İpliği
	Çözgü	28 / 2 - % 64 / 31 / 5 Pes/ Vis./ Elastan (78 dtex) Ring İpliği	Çözgü	%92 / 8 Pamuk / Elastan Ring İpliği
Sıklık (tel/cm)	Atkı	22	Atkı	57
	Çözgü	30	Çözgü	55
Örgü	D 2/1		D 2/2	
Ön Terbiye İşlemleri	— Ham Yıkama — Kurutma — Fikse — Yakma		— Ham Yıkama — Kurutma — Kuru Yakma — Peroksit Kasar — Döndürme — Merserizasyon — Kurutma + Fikse	
Boyama Yöntemi ve Reçetesi	Çektirme Yöntemi – Jet Makinesi (F.O. 1/10) * <b>Polyester Boyanması İçin (Dianix Grubu)</b> - Yellow Brown CC - %0.7 - Rubine CC - %0.44 - Navy CC - %1.1 — Dispergator – 1 gr/l — Kırık Önleyici – 0.6 gr/l  * <b>Viskon Boyanması İçin (Procion Grubu)</b> - Yellow HEXL - %0.78 - Crimpson HEXL - %2.2 - Navy HEXL – 1.85 — Tuz – 65 gr/l — Soda – 20 gr/l — İyon Tutucu – 0.6 gr/l — Kırık Önleyici – 0.6 gr/l		<b>Pad-Batch Boyama – Remazol Grubu</b> - Yellow GR – 4,8 gr/l - Red RB – 5,4 gr/l - Black B – 38 gr/l — İslatıcı – 5 gr/l — Kostik – 38.5 cc/l — Sodyum Silikat – 130 cc/l	

İndirgen yıkama kullanılarak yapılan söküm işleminde indirgeme maddesi olarak üç farklı indirgen (redüktif) yıkama maddesi kullanılmıştır. Bunlardan hidrosülfite tekstil

terbiyesinde konvansiyonel olarak kullanılan bir indirgeyici ajan olup, tioüredioksit kökenli maddeler ise daha yeni bir ürün olarak bilinmektedir. Çizelge 2’de çalışmada kullanılan indirgen yıkama maddelerinin isimleri, kapalı formülleri ve bazı karakteristik özellikleri yer almaktadır.

**Çizelge 2.** Kullanılan redüktif yıkama maddeleri ve bazı özellikleri (6, 7)

Kod	İndirgen Yıkama Maddesi	Kapalı Formülü	Özellikleri
İndirgen A	Tioüredioksit	$CH_4N_2O_2S$	— pH = 4 (%2’lik) — Çözünme Sıcaklığı = 80°C — Stabilitesi = 110°C’nin üzerindeki sıcaklıklarda 1 saat — Toz, anyonik madde — Hidrosülfite göre reçetede 1/3, 1/4 oranında kullanılabilir.
İndirgen B	Hidrosülfite	$Na_2S_2O_4$	— pH = 3 — Çözünme Sıcaklığı = 85°C — Stabilitesi = 80°C’de sıcaklıklarda 30 dakika — Toz, anyonik madde — Havayla kolay oksitlenir.
İndirgen C	Tioüredioksit	$CH_4N_2O_2S$	— pH = 6,5-7,5 — Çözünme Sıcaklığı = 80°C — Stabilitesi = 110°C’nin üzerindeki sıcaklıklarda 1 saat — Toz, anyonik madde — Hidrosülfite göre reçetede 1/3, 1/4 oranında kullanılabilir.

### 3.2. Metot

Çizelge 3’de Polyester-Viskon-Elastan, Çizelge 4’de ise Pamuk-Elastan karışımı numuneye uygulanan denemeler ve uygulama yöntemlerine yer verilmektedir.

**Çizelge 3.** Polyester-Viskon-Elastan karışımı numuneye uygulanan söküm denemeleri

Dene No	Söküm Sayısı	Kullanılan Reçete	Kullanılan Makine Programı	Uygulama Amacı
1	2	10 g/l İndirgen A 10 cc/l Kostik (38 Be°)	Program 1 – 80°C – 30 dk	Aynı Derişimde Farklı İndirgen Yıkama Maddelerin Etkisi
2	2	10 g/l İndirgen B 10 cc/l Kostik (38 Be°)	Program 1 – 80°C – 30 dk	
3	2	10 g/l İndirgen C 10 cc/l Kostik (38 Be°)	Program 1 – 80°C – 30 dk	
4	3	10 g/l İndirgen B 10 cc/l Kostik (38 Be°)	Program 1 – 80°C – 30 dk	Söküm Sayısının Etkisi
5	2	10 g/l İndirgen A 10 cc/l Kostik (38 Be°)	Program 2 – 80°C – 60 dk	Sürenin Etkisi
6	2	5 g/l İndirgen A 5 cc/l Kostik (38 Be°)	Program 3 – 100°C – 60 dk	Reçete-Süre-Sıcaklık Kombinasyonu

*İNDİRGEN YIKAMA İLE YAPILAN BOYARMADDE SÖKÜM İŞLEMİNİN  
DOKUMA KUMAŞIN YUMUŞAKLIK VE PİLLİNG ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ*

Polyester-Viskon-Elastan karışımı kumaş Çizelge 1’de belirtildiği gibi karışım boyama prensibiyle çektirme yöntemine göre boyanmıştır. Bu nedenle söküm işlemi uygulama açısından zorlaşmakta ve bir sefer sökümde istenen renk giderme verimi elde edilememektedir. Bu Polyester-Viskon-Elastan karışımı kumaşlarda boya sökümü işlemi için genel bir problemdir. Bu nedenle bu kumaşa Çizelge 3’de görüldüğü gibi birden fazla söküm uygulanmıştır.

Pamuk-Elastan karışımı numunede bu tür bir problem yaşanmamış ve tek seferde istenen söküm efekti elde edilmiştir (Çizelge 4).

**Çizelge 4.** Pamuk-Elastan karışımı numuneye uygulanan söküm denemeleri

Deney No	Söküm Sayısı	Kullanılan Reçete	Kullanılan Makine Programı	Uygulama Amacı
1	1	10 g/l İndirgen A 10 cc/l Kostik (38 Be°) 0,6 g/l Kırık Önleyici	Program 4 – 85°C – 30 dk	Aynı Derişimde Farklı İndirgen Yıkama Maddelerin Etkisi
2	1	10 g/l İndirgen B 10 cc/l Kostik (38 Be°) 0,6 g/l Kırık Önleyici	Program 4 – 85°C – 30 dk	
3	1	10 g/l İndirgen C 10 cc/l Kostik (38 Be°) 0,6 g/l Kırık Önleyici	Program 4 – 85°C – 30 dk	
4	1	5 g/l İndirgen A 8 cc/l Kostik (38 Be°) 0,6 g/l Kırık Önleyici	Program 5 – 85°C – 30 dk	Derişimin Etkisi
5	1	5 g/l İndirgen A 8 cc/l Kostik (38 Be°) 0,6 g/l Kırık Önleyici	Program 6 – 100°C – 15 dk	Sürenin Etkisi
6	1	5 g/l İndirgen A 8 cc/l Kostik (38 Be°) 0,6 g/l Kırık Önleyici	Program 7 – 100°C – 30 dk	Sıcaklığın Etkisi

Çizelge 5’de yapılan denemeler neticesinde elde edilen numuneler kodlarıyla beraber listelenmiştir. Çalışmada ilk olarak hatalı olarak üretilmiş ve bu hiçbir söküm işlemi görmemiş kumaşlardan referans numuneler (numune 1 ve 2) alınmıştır. Daha sonra A kodu ile gösterilen boyarmadde sökümü işlemi görmüş numuneler ve son olarak ise boyarmadde sökümü olmuş numuneler üzerine elde edilmek istenen renk doğrultusunda hazırlanan düzeltme reçeteleri ile yeniden boyanan B kodlu numuneler alınmıştır.

Çizelge 5. Düzeltme işlemi sonunda elde edilen numuneler ve kodlamaları

Polyester-Viskon-Elastan			Pamuk-Elastan		
Deney No (Çizelge 3)	Boya Sökümü Numune No	Yeniden Boyama Numune No	Deney No (Çizelge 4)	Boya Sökümü Numune No	Yeniden Boyama Numune No
Referans Numune: Numune 1			Referans Numune: Numune 2		
1	A1	B1	1	A1	B1
2	A2	B2	2	A2	B2
3	A3	B3	3	A3	B3
4	A4	B4	4	A4	B4
5	A5	B5	5	A5	B5
6	A6	B6	6	A6	B6

Elde edilen bu numunelere kumaşın yapısal performansını ölçmek amacıyla Çizelge 6'da yer alan testler uygun standartlarda ve cihazlarda yapılmıştır.

Çizelge 6. Numune kumaşlara uygulanan performans testleri (8, 9)

Test No	Test Adı	Test Standardı	Uygulanan Cihaz
1	Geri Dönme Açısı	TS 390	Crease Recovery Test Aparatus
2	Martindale Pilling	ISO 12945-2	Nu Martindale

Geri dönme açısı kumaşın belli bir kuvvet altında belirli bir süre kaldıktan sonra eski durumuna geri dönebilme yeteneğidir. Kumaşın tutumu ile ilgili sayısal bir parametre olarak kabul edilebilmektedir. Geri dönme (kat düzeltme) açısı, uygulanan işlemlerin kumaş genel yapısı üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla uygulanmıştır. Daha açık bir ifadeyle boya sökümü işlemlerinin kumaşın tuşe-tutum gibi fiziksel özelliklerine olan etkisini sayısal olarak ifade edebilmek amacıyla yapılmıştır. Test TS 390 standart alınarak kumaşın atkı ve çözgü yönüne, arka ve ön yüzlerine olmak üzere her bir numune için dört defada gerçekleştirilmiştir.

Kumaş üzerine herhangi bir kuvvet uygulanmaz ise yatayla 180° yapacak şekilde konumlanmaktadır. Ancak bükülme etkisi ile beraber üzerine belirli süre bir yük uygulandığında ise tekrar eski yatay konumuna dönememekte ve yatayla açı yapacak şekilde bulunmaktadır. Kumaşın yatayla yaptığı bu açı, materyalin sayısal olarak derece cinsinden yumuşaklık değerini vermektedir ve bu değer 180°'ye olabildiğince yakın olması istenmektedir.

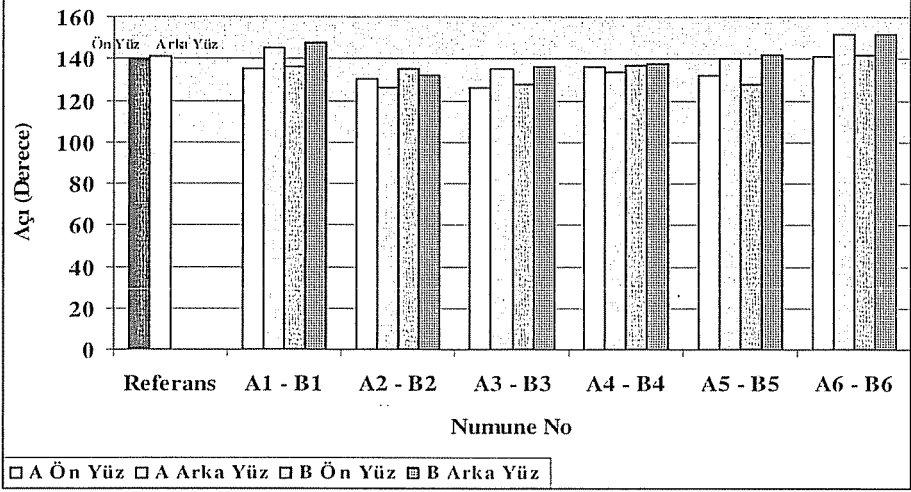
Pilling ise kumaşın yüzey görünümü ve performansı ile ilgili bir kriterdir. Pilling testi sonuçlarının değerlendirilmesi kalitatif esaslara dayanmakta olup çeşitli derecelerde sayısal olarak (1'den 5'e kadar) sonuca ulaşılmaktadır. Her bir kumaş için ikişer deneme yapılmıştır. Pilling testi çeşitli devirlerde ki yüzey görünümü değerlendirmeye dayanmaktadır. Test, makinenin 125.-500.-1000.-2000.-5000.7000. devirlerde durdurulup kumaş yüzeyinin skala vasıtasıyla değerlendirilmesiyle gerçekleştirilmektedir.

#### 4. BULGULAR

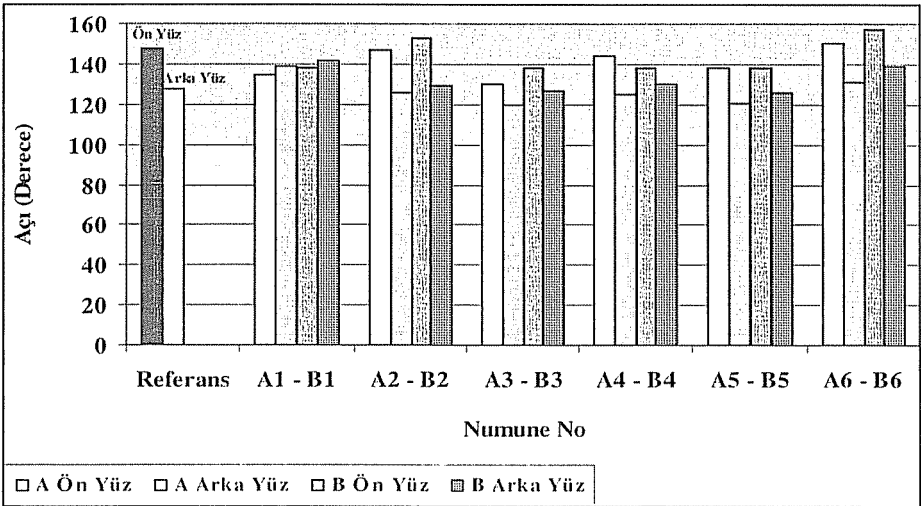
##### 4.1. Geri Dönme Açısı Testi

##### 4.1.1. Polyester-Viskon-Elastan Karışım Numune

Polyester-Viskon-Elastan karışım numunenin çözgü yönü için geri dönme açısı (yumuşaklık) sonuçları Şekil 1’de, atkı yönü için ise Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 1. Polyester-Viskon-Elastan karışım numune kumaş çözgü yönü için geri dönme açısı (yumuşaklık) test sonuçları



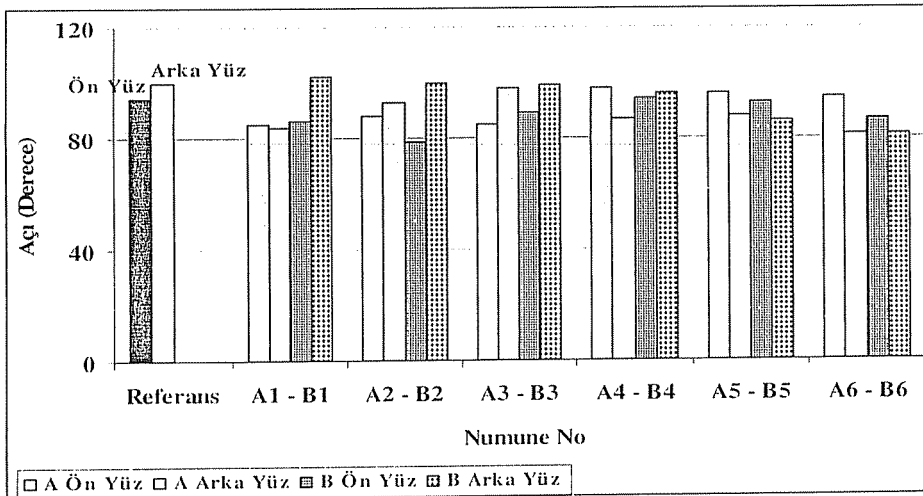
Şekil 2. Polyester-Viskon-Elastan karışım numune kumaş atkı yönü için geri dönme açısı (yumuşaklık) test sonuçları

Şekil 1'de görüldüğü gibi referans kumaşın çözgü yönünde geri dönme açısı değeri arka yüzü için  $141^\circ$ , ön yüzü için  $140^\circ$ 'dir. Yapılan denemeler neticesinde elde edilen numuneler incelendiğinde boya sökümü işleminin kumaş geri dönme açısına, dolayısıyla kumaşın yumuşaklığına, tutumuna etkisi olduğu görülmüştür. Bu etkinin bazı numunelerde olumlu, bazıların da ise olumsuz olduğu tespit edilmiştir.

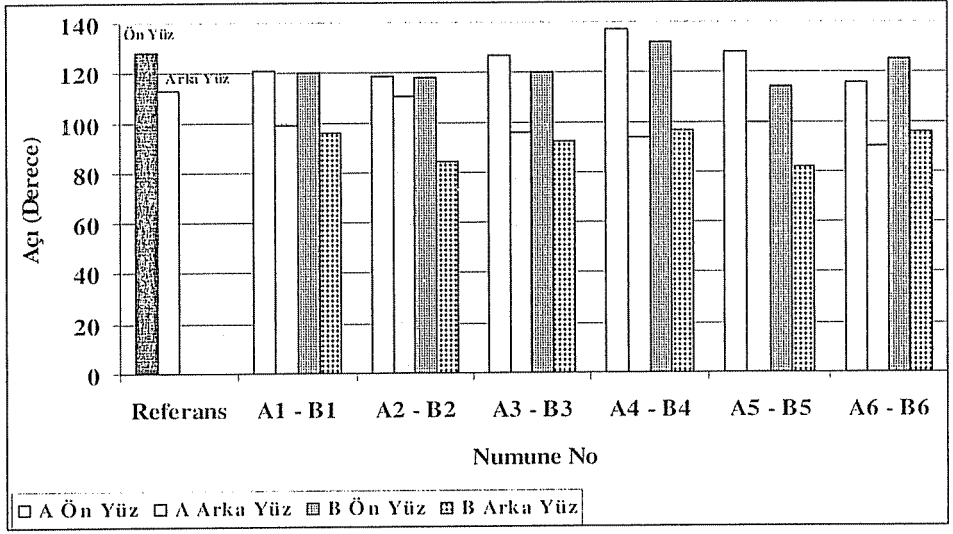
Tüm numunelerin sonuçları incelendiğinde kumaşın arka ve ön yüzü için hem boya sökümü olmuş numunelerde hem de söküm üzerine yeniden boyanan numunelerde deneme 6 ile işlem gören numune A6-B6'nın en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. Bu şekilde bir sonucun ortaya çıkmasındaki en önemli etkenin bu denemede indirgen madde (İndirgen A) ve kostik derişiminin 10 gr/l'ten 5 gr/l'te düşürülmesi gösterilebilmektedir. Ayrıca bu sonuçta indirgen madde cinsinin de etkisi olduğu kanısına varılmıştır. Çünkü tiotüredioksit kökenli İndirgen A ile sökümüne maruz kalan (deneme 1) numune A1-B1 de en iyi geri dönme açısına sahip olan diğer kumaşlar olarak görülmektedir. Ayrıca Şekil 1'den ortaya çıkan diğer önemli bir sonuç ise söküm olmuş A numuneleri üzerine yapılan boyamaların geri dönme açısında olumlu yönde değişimi neden olduğudur. Bunu boyamanın aditif bir işlem olması ve boyama sırasında kullanılan kırık önleyicinin etkisiyle gerçekleştiği düşünülmektedir.

Polyester-Viskon-Elastan karışımı kumaşın atkı yönü için sonuçlar incelendiğinde boya sökümü ve ardına yapılan yeniden boyama işleminin kumaş üzerinde ekili olduğu ve bu etkinin deneme parametrelerine bağlı olarak olumlu veya olumsuz yönde değiştiği tespit edilmiştir. Kumaşın çözgü yönünde olduğu gibi atkı yönünde de İndirgen A ile işlem gören numunelerin daha iyi geri dönme açılarına sahip oldukları tespit edilmiştir. Dolayısıyla çözgü yönü için yapılan benzer yorumlar atkı yönü için de yapılabilmektedir.

Şekil 3'de Pamuk-Elastan karışımı numunenin çözgü yönü, Şekil 4'de ise atkı yönü için geri dönme açısı (yumuşaklık) sonuçları verilmektedir.



Şekil 3. Pamuk-Elastan karışımı numune kumaş çözgü yönü için geri dönme açısı (yumuşaklık) test sonuçları



Şekil 4. Pamuk-Elastan karışımli numune kumaş atkı yönü için geri dönme açısı (yumuşaklık) test sonuçları

Pamuk-Elastan karışımli numune kumaşa bakıldığında, boya sökümü işleminin kumaş geri dönme açısına genel olarak olumsuz bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Pamuk/Elastan karışımli referans numunenin geri dönme açısı değerine bakıldığında, Polyester-Viskon-Elastan karışımli numunedeki kadar yüksek değerler elde edilemediği görülmektedir. Bunun nedeni kumaşların hammadde konstrüksiyonuna bağlanabilmektedir. Polyester ve viskon elyafı kimyasal yapıları gereği pamuk elyafına göre kristalin ve amorf bölgeleri daha düzenli olduğundan geri dönme açısı değerinin daha iyi olabileceği düşünülmektedir.

Bu tespitin yanında bu numune için söylenebilecek bir diğer husus ise, genel olarak kumaşın atkı yönünün çözgü yönüne göre daha iyi geri dönüşüm açısına sahip olduğudur. Bunun nedeni olarak kumaşın atkı yönünde elastan elyaf içermesi gösterilebilmektedir. Elastan elyaf karakteristik özelliği gereği iyi geri dönme özelliğine sahip sentetik bir elyafıdır.

Şekil 3'de görüldüğü gibi kumaşın çözgü yönünde arka yüzün geri dönme açısı değeri, ön yüze göre daha iyidir. Kumaş dimi örgü özelliği göstermektedir. Kumaş çözgü yönünde, ön yüzde çözgü iplikleri arka yüzde ise atkı iplikleri yüzeye hakimdir. Bu nedenle atkı ipliklerinin hakim olduğu arka yüzün geri dönme açısı değeri daha iyidir.

Şekil 3 incelendiğinde çözgü yönünde ön yüzde A4-B4, arka yüzde ise A3-B3 en iyi test sonuçlarını vermektedir. Şekil 4 incelendiğinde ise söküm işlemi gören numuneler arasında atkı yönünde en iyi geri dönme açısı değeri deneme 4 ile işlem gören numune A4-B4 vermektedir. Deneme 4 düşük derişim, sıcaklık ve süre kombinasyonunun beraber uygulandığı bir çalışma olup, işlem parametrelerinin performans üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir. Ayrıca işlem sıcaklığının performans üzerinde negatif etkisi olduğu kanısına varılmıştır.

## 4.2. Boncuklaşma (Pilling) Testi

Boncuklaşma, fiziksel etkiler ile kumaşı oluşturan ipliklerin yapısındaki lifçiklerin kumaş yüzeyine çıkması ve düğümlenmesiyle oluşmaktadır. Boya sökümü esnasında kumaşlar belirli bir sıcaklık ve sürede kimyasal maddeler ile makine içerisinde çeşitli fiziksel etkilere maruz kalmaktadır. Bu nedenle kumaşın yapısında, iplikleri oluşturan liflerin yerleşim düzenlerinde değişiklikler meydana gelme olasılığı bulunmaktadır. Bu değişim de kumaşın boncuklaşma derecesini olumlu veya olumsuz yönde etkilemektedir.

### 4.2.1. Polyester-Viskon-Elastan Karışımı Numune

Çizelge 7'de Polyester-Viskon-Elastan karışımı numune dokuma kumaş için pilling testi sonuçları yer almaktadır. Değerlendirme yapılırken 4 farklı parametre göz önünde bulundurulmaktadır. Bunlar;

1. İlk olarak başlangıçtaki, 125 devir sonundaki, değerler karşılaştırılmaktadır.
2. 7000 devir sonunda testin bitişindeki değerler karşılaştırılmaktadır.
3. Devirler arasındaki değişim farkları değerlendirilmektedir.
4. Başlangıçtaki 125 devir ile bitiş 7000 devirdeki değerler arasındaki değişim belirlenmektedir.

Çizelge 7 incelendiği zaman boya sökümü ve ardına yeniden boyama işleminin kumaşın pilling oluşumuna etkisi olduğu söylenebilmektedir.

Çizelge 7'de görüldüğü gibi 125 devir sonunda boya sökümü denemeleri arasında en iyi sonuç Numune A3 ve Numune A6'da alınmıştır. Makine 7000 devire gelip test bittiğinde referans numunenin pilling değeri 3/4'dür. Tüm numuneler incelendiğinde, pilling dereceleri bakımından en iyi sonucu İndirgen A ile işlem görmüş Numune B6 vermiştir (4 pilling derecesi). Bu veriler ışığında ise en kötü pilling değeri İndirgen B ile söküm olmuş Numune A2'de elde edilmiştir.

Çizelge 7'de belirtildiği gibi bütün numunelerin 7000 devir sonundaki pilling değerleri genel olarak aynıdır. Ancak devir sayısının artmasına bağlı olarak pilling değerindeki değişim aynı olmamıştır. Boya sökümü işlemine maruz kalıp tekrar boyanan numunelerde pilling oluşumu referans numuneye göre daha hızlı olmakla beraber kumaş yüzeyinde pilling daha düşük devirlerde oluşmaya başlamıştır. Bu veri ışığında kumaşın boyarmadde sökümüne bağlı olarak daha hızlı eskime gösterebileceği düşünülebilmektedir.



*İNDİRGEN YIKAMA İLE YAPILAN BOYARMADDE SÖKÜM İŞLEMİNİN  
DOKUMA KUMAŞIN YUMUŞAKLIK VE PİLLİNG ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ*

**Çizelge 7.** Polyester-Viskon-Elastan karışımı numunelerin pilling testi sonuçları

Numune No	Numune	Devir Sayıları [tur]					
		125	500	1000	2000	5000	7000
Referans Numune	1	4/5	4/5	4	4	4	3/4
	2	4/5	4/5	4	4	4	3/4
	Ort.	4/5	4/5	4	4	4	3/4
A1	1	4	4	4	4	3/4	3/4
	2	4	4	4	3/4	3/4	3/4
	Ort.	4	4	4	4	3/4	3/4
A2	1	4	4	3/4	3/4	3/4	3
	2	4	4	4	3/4	3/4	3
	Ort.	4	4	4	3/4	3/4	3
A3	1	4/5	4	4	4	3/4	3
	2	4	4	4	4	3/4	3/4
	Ort.	4/5	4	4	4	3/4	3/4
A4	1	4	4	4	3/4	3/4	3/4
	2	4	4	4	3/4	3/4	3/4
	Ort.	4	4	4	3/4	3/4	3/4
A5	1	4	4	4	3/4	3/4	3/4
	2	4	4	4	3/4	3/4	3/4
	Ort.	4	4	4	3/4	3/4	3/4
A6	1	4/5	4	3/4	3/4	3/4	3/4
	2	4/5	4	3/4	3/4	3/4	3/4
	Ort.	4/5	4	3/4	3/4	3/4	3/4
B1	1	4/5	4/5	4	4	4	3/4
	2	4/5	4/5	4	4	4	3/4
	Ort.	4/5	4/5	4	4	4	3/4
B2	1	4/5	4	4	4	3/4	3/4
	2	4/5	4	4	4	3/4	3/4
	Ort.	4/5	4	4	4	3/4	3/4
B3	1	4/5	4	4	3/4	3/4	3/4
	2	4/5	4	4	4	3/4	3/4
	Ort.	4/5	4	4	4	3/4	3/4
B4	1	4/5	4	4	4	3/4	3/4
	2	4/5	4	4	4	3/4	3/4
	Ort.	4/5	4	4	4	3/4	3/4
B5	1	4/5	4	4	4	3/4	3/4
	2	4/5	4	4	4	3/4	3/4
	Ort.	4/5	4	4	4	3/4	3/4
B6	1	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4
	2	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4
	Ort.	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4

#### 4.2.2. Pamuk-Elastan Karışımı Numune

Pamuk-Elastan karışımı kumaşın pilling testi sonuçları Çizelge 8’de verilmektedir. Polyester-Viskon-Elastan karışımı numunede gözetilen değerlendirme kriterleri bu numune içinde kabul edilmiştir.

Çizelge 8. Pamuk-Elastan karışımli numunelerin pilling testi sonuçları

Numune No	Numune	Devir Sayıları [tur]					
		125	500	1000	2000	5000	7000
Referans Numune	1	3/4	3	3	2/3	2/3	2/3
	2	3/4	3	3	2/3	2/3	2/3
	Ort.	3/4	3	3	2/3	2/3	2/3
A1	1	4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4
	2	4	3/4	3/4	3/4	3	3
	Ort.	4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4
A2	1	4	3/4	3/4	3/4	3	3
	2	4	4	4	3	3	3
	Ort.	4	4	4	3/4	3	3
A3	1	3/4	3/4	3/4	3	3	3
	2	3/4	3/4	3/4	3	3	3
	Ort.	3/4	3/4	3/4	3	3	3
A4	1	3/4	3/4	3	3	3	3
	2	3/4	3/4	3	3	3	3
	Ort.	3/4	3/4	3	3	3	3
A5	1	4/5	4	3/4	3/4	3	3
	2	4	4	3/4	3/4	3	3
	Ort.	4/5	4	3/4	3/4	3	3
A6	1	4/5	4	3/4	3/4	3	3
	2	4	4	3/4	3/4	3	3
	Ort.	4/5	4	3/4	3/4	3	3
B1	1	3/4	3	2/3	2/3	2/3	2/3
	2	3/4	3	2/3	2/3	2/3	2/3
	Ort.	3/4	3	2/3	2/3	2/3	2/3
B2	1	3/4	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3
	2	3/4	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3
	Ort.	3/4	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3
B3	1	3/4	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3
	2	3/4	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3
	Ort.	3/4	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3
B4	1	3	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3
	2	3	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3
	Ort.	3	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3
B5	1	3/4	3	3	2/3	2/3	2/3
	2	3/4	3	3	2/3	2/3	2/3
	Ort.	3/4	3	3	2/3	2/3	2/3
B6	1	3/4	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3
	2	3/4	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3
	Ort.	3/4	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3

Referans kumaşın 125 devir sonraki pilling derecesi 3/4 olarak tespit edilmiştir. Boya sökümü olmuş numunelerden Numune A5 ve A6'nın pilling derecesi 4/5, Numune A1 ve A2'nin 4, Numune A3 ve A4'ün ise 3/4 olarak belirlenmiştir. Yeniden boyanmış numuneler içerisinde ise 125 devirde Numune B4 hariç tümünün pilling derecesi 3/4'dür. Numune B4'ün ise 3'dür. Makine 7000 devire gelip test bittiğinde referans numunenin pilling değeri 2/3'dür. Boya sökümü yapılmış numunelerden Numune A1'in

pling değeri 3/4, diğerlerinin ise 3'dür. Yeniden boyanmış numunelerin tümünün 7000 devirdeki pilling derecesi ise 2/3'dür. Bu bağlamda en optimum netice Numune A1'de elde edilmiştir. Çizelge incelendiği işlem süresi boya sökümü ve ardına yeniden boyama işleminin kumaşın pilling oluşumuna etkisi olduğu söylenebilmektedir.

Çizelge 8'de görüldüğü gibi sıcaklığın pilling derecesi üzerine etkisi olduğu görülmüştür. Numune B6, 500. devirde direkt olarak en kötü değeri olan 2/3'e ulaşmıştır. Daha düşük sıcaklıkta çalışılan Numune B5 ise 2/3 pilling değerine 2000.devirde ulaşmıştır. 7000. devirdeki pilling dereceleri ise eşit olup, bu değer 2/3'dür. Bu sonuçlar incelendiğinde sıcaklık yükseldikçe kumaş yüzeyinde daha kolay pilling oluştuğu yani kumaşın daha kolay yıprandığı söylenebilmektedir.

## **5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ**

Çalışmada hatalı olarak üretilmiş kumaşların düzeltme yöntemlerinden biri olan indirgen (redüktif) yıkama yöntemiyle boyarmadde sökümü işlemine değinilmiş ve bu konu üzerine çeşitli deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalar ile boyarmadde söküm işleminin kumaşın yüzey özelliklerini yansıtan yumuşaklık (geri dönme açısı) ve pilling performansına olan etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Bunun yanında endüstride yaygın olarak kullanılan indirgen maddelerden olan hidrosülfite ve uygulama yöntemine çeşitli alternatifler yaratılmaya çalışılmıştır.

Katlanma açısı testi kumaşın tutumu ve dökümlülüğü hakkında bir yorum yapabilmesi için uygulanmış bir testtir. Bir bakıma yumuşaklığın sayısal ifadesidir. Bu testin sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için bir referans skala bulunmamaktadır. Bu nedenle tüm sonuçlar birbirleriyle kıyaslanarak değerlendirilmektedir.

Polyester-Viskon-Elastan karışımı kumaş için yapılan denemeler neticesinde (Çizelge 3) boyarmadde sökümü neticesinde kullanılan indirgen (redüktif) yıkama maddesi cinsinin kumaş tutumu üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Alınan sonuçlara göre tioürediyoksit kökenli İndirgen A kumaş tutumu açısından en iyi sonucu vermiştir. Bu yıkama maddesinin kumaş ile girmiş olduğu kimyasal etkileşim ile bağdaştırılabilmektedir. Ayrıca üst üste uygulana söküm işleminin kumaş tutum performansını etkilemediği, uygulama süresinin ise olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Ortaya çıkan tüm verilere dayanarak Polyester-Viskon-Elastan karışımı kumaş için daha düşük kimyasal derişimleri içeren söküm reçeteleri ile daha iyi geri dönme açıları elde edilebildiği sonucuna varılabilmektedir. Bu da reçetede kimyasalların kumaş yumuşaklığını olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir.

Pamuk-Elastan karışımı kumaşta ise boyarmadde sökümü işleminin kat düzelme açısına, dolayısıyla kumaş tutumuna olumsuz yönde bir etkisi olduğu kanısına varılmıştır. Ayrıca söküm sıcaklığının kumaş yönüne bağlı olarak farklı bir etki gösterdiği belirlenmiştir. Kumaşın atkı yönünde söküm sıcaklığının bir etkisi olmazken, çözü yönünde negatif bir etkileşim gösterdiği belirlenmiştir. Gözlenen bir diğer önemli husus ise işlem görmemiş Pamuk-Elastan karışımı numunenin, işlem görmemiş Polyester-Viskon-Elastan karışımı numuneye göre katlanma açısının daha düşük olduğudur. Bu durum pamuk elyafının genel karakteristik özellikleri ile açıklanabilmektedir. Özellikle Polyester-Viskon-Elastan karışımı kumaşta viskon elyafının varlığı kumaşın tutumunun dolayısıyla kat düzelme açısının daha iyi olmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında ölçülen bir diğer önemli parametre de pilling oluşum değeridir. Pilling testi sonuçlarında, Polyester-Viskon-Elastan karışımı kumaş yapısında ağırlıklı polyester bulunduğu için pilling oluşma eğilimi yüksek bir kumaştır. Ancak buna rağmen bu numune kumaşın en düşük pilling değeri 3/4 çıkmıştır. Yapılan çalışmada Polyester-Viskon-Elastan karışımı numune için boya sökümünün pilling derecesi üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu etki 7000 devir sonunda değil de, ara devirlerde görülmüştür. Yani kumaşın eskime ömrünün hızıyla ilgili bir etki gözlemlenmiştir. Bu bakımdan İndirgen A ile işlem görmüş numune en optimum sonucu vermiştir. Ayrıca yapılan denemeler neticesinde söküm işleminin sayısının pilling üzerinde etkisi olmadığı, işlem süresinin ise etkili olduğu tespit edilmiştir. Pamuk/Elastan karışımı numune için de benzer yorumlar yapılabilmektedir. Boya sökümü işleminin kumaş pilling performansı üzerinde etkisi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kullanılan indirgen maddenin cinsinin de performans üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu bağlamda en optimum sonucu İndirgen A ile söküm olmuş ve üzerine yeniden boyaması yapılmış numuneler vermiştir. Yapılan incelemelerde işlem sıcaklığının da, kumaş karakteri üzerinde etkili olduğu saptanmıştır. Sıcaklık arttıkça, numunenin pilling oluşma eğiliminin arttığı tespit edilmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Balcı, O. ve Oğulata, R.T., "Hatalı boyanmış dokumâ kumaşlara yeniden değerlendirme yöntemlerinin uygulanması", *Tekstil&Teknik Dergisi*, Sayı 233, s.212–218, 2004.
2. Balcı, O., "Tekstil terbiyesinde yeniden değerlendirme yöntemlerinin uygulanması ve bu yöntemlerin kumaş performansına olan etkilerinin incelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 2004.*
3. Cantürk, Y.R., "Boyarmaddelerin soldurulması", *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Fiziksel Kimya Programı, İstanbul, 1996.*
4. Ön Bilgi, [www.eksoy.com.tr](http://www.eksoy.com.tr), *Web Sayfası*, 2003.
5. Anış, P. ve Yıldırım, F.F. "Polyester boyama sonrası indirgen yıkamanın kumaş kalitesi ve çevre yükü üzerine etkileri", *Tekstil Maraton Dergisi*, Sayı 64, s.43–53, 2004.
6. Redüktif Yıkama Maddeleri, [www.akkim.com.tr](http://www.akkim.com.tr), *Web Sayfası*, 2004.
7. Setaş Ürün Kataloğu, 2004.
8. Kumaş Test Aparatları, [www.aygenteks.com](http://www.aygenteks.com), *Web Sayfası*, 2004.
9. TS EN ISO 12945–2, TS 390 Test Standartları, 2004.

pilling değeri 3/4, diğerlerinin ise 3'dür. Yeniden boyanmış numunelerin tümünün 7000 devirdeki pilling derecesi ise 2/3'dür. Bu bağlamda en optimum netice Numune A1'de elde edilmiştir. Çizelge incelendiği işlem süresi boya sökümü ve ardına yeniden boyama işleminin kumaşın pilling oluşumuna etkisi olduğu söylenebilmektedir.

Çizelge 8'de görüldüğü gibi sıcaklığın pilling derecesi üzerine etkisi olduğu görülmüştür. Numune B6, 500. devirde direkt olarak en kötü değeri olan 2/3'e ulaşmıştır. Daha düşük sıcaklıkta çalışılan Numune B5 ise 2/3 pilling değerine 2000.devirde ulaşmıştır. 7000. devirdeki pilling dereceleri ise eşit olup, bu değer 2/3'dür. Bu sonuçlar incelendiğinde sıcaklık yükseldikçe kumaş yüzeyinde daha kolay pilling oluştuğu yani kumaşın daha kolay yıprandığı söylenebilmektedir.

## **5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ**

Çalışmada hatalı olarak üretilmiş kumaşların düzeltme yöntemlerinden biri olan indirgen (redüktif) yıkama yöntemiyle boyarmadde sökümü işlemine değinilmiş ve bu konu üzerine çeşitli deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalar ile boyarmadde söküm işleminin kumaşın yüzey özelliklerini yansıtan yumuşaklık (geri dönme açısı) ve pilling performansına olan etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Bunun yanında endüstride yaygın olarak kullanılan indirgen maddelerden olan hidrosülfite ve uygulama yöntemine çeşitli alternatifler yaratılmaya çalışılmıştır.

Katlanma açısı testi kumaşın tutumu ve dökümlülüğü hakkında bir yorum yapabilmesi için uygulanmış bir testtir. Bir bakıma yumuşaklığın sayısal ifadesidir. Bu testin sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için bir referans skala bulunmamaktadır. Bu nedenle tüm sonuçlar birbirleriyle kıyaslanarak değerlendirilmektedir.

Polyester-Viskon-Elastan karışımı kumaş için yapılan denemeler neticesinde (Çizelge 3) boyarmadde sökümü neticesinde kullanılan indirgen (redüktif) yıkama maddesi cinsinin kumaş tutumu üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Alınan sonuçlara göre tioürediksit kökenli İndirgen A kumaş tutumu açısından en iyi sonucu vermiştir. Bu yıkama maddesinin kumaş ile girmiş olduğu kimyasal etkileşim ile bağdaştırılabilmektedir. Ayrıca üst üste uygulana söküm işleminin kumaş tutum performansını etkilemediği, uygulama süresinin ise olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Ortaya çıkan tüm verilere dayanarak Polyester-Viskon-Elastan karışımı kumaş için daha düşük kimyasal derişimleri içeren söküm reçeteleri ile daha iyi geri dönme açıları elde edilebildiği sonucuna varılabilmektedir. Bu da reçetedeki kimyasalların kumaş yumuşaklığını olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir.

Pamuk-Elastan karışımı kumaşta ise boyarmadde sökümü işleminin kat düzelme açısına, dolayısıyla kumaş tutumuna olumsuz yönde bir etkisi olduğu kanısına varılmıştır. Ayrıca söküm sıcaklığının kumaş yönüne bağlı olarak farklı bir etki gösterdiği belirlenmiştir. Kumaşın atkı yönünde söküm sıcaklığının bir etkisi olmazken, çözgü yönünde negatif bir etkileşim gösterdiği belirlenmiştir. Gözlenen bir diğer önemli husus ise işlem görmemiş Pamuk-Elastan karışımı numunenin, işlem görmemiş Polyester-Viskon-Elastan karışımı numuneye göre katlanma açısının daha düşük olduğudur. Bu durum pamuk elyafının genel karakteristik özellikleri ile açıklanabilmektedir. Özellikle Polyester-Viskon-Elastan karışımı kumaşta viskon elyafının varlığı kumaşın tutumunun dolayısıyla kat düzelme açısının daha iyi olmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında ölçülen bir diğer önemli parametre de pilling oluşum değeridir. Pilling testi sonuçlarında, Polyester-Viskon-Elastan karışumlu kumaş yapısında ağırlıklı polyester bulunduğu için pilling oluşma eğilimi yüksek bir kumaştır. Ancak buna rağmen bu numune kumaşın en düşük pilling değeri 3/4 çıkmıştır. Yapılan çalışmada Polyester-Viskon-Elastan karışumlu numune için boya sökümlünün pilling derecesi üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu etki 7000 devir sonunda değil de, ara devirlerde görülmüştür. Yani kumaşın eskime ömrünün hızıyla ilgili bir etki gözlemlenmiştir. Bu bakımdan İndirgen A ile işlem görmüş numune en optimum sonucu vermiştir. Ayrıca yapılan denemeler neticesinde söküm işleminin sayısının pilling üzerinde etkisi olmadığı, işlem süresinin ise etkili olduğu tespit edilmiştir. Pamuk/Elastan karışumlu numune için de benzer yorumlar yapılabilmektedir. Boya sökümlü işleminin kumaş pilling performansı üzerinde etkisi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kullanılan indirgen maddenin cinsinin de performans üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu bağlamda en optimum sonucu İndirgen A ile söküm olmuş ve üzerine yeniden boyaması yapılmış numuneler vermiştir. Yapılan incelemelerde işlem sıcaklığının da, kumaş karakteri üzerinde etkili olduğu saptanmıştır. Sıcaklık arttıkça, numunenin pilling oluşma eğiliminin arttığı tespit edilmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Balcı, O. ve Oğulata, R.T., "Hatalı boyanmış dokumâ kumaşlara yeniden değerlendirme yöntemlerinin uygulanması", *Tekstil&Teknik Dergisi*, Sayı 233, s.212-218, 2004.
2. Balcı, O., "Tekstil terbiyesinde yeniden değerlendirme yöntemlerinin uygulanması ve bu yöntemlerin kumaş performansına olan etkilerinin incelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 2004.*
3. Cantürk, Y.R., "Boyarmaddelerin soldurulması", *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Fiziksel Kimya Programı, İstanbul, 1996.*
4. Ön Bilgi, [www.eksoy.com.tr](http://www.eksoy.com.tr), *Web Sayfası, 2003.*
5. Anış, P. ve Yıldırım, F.F. "Polyester boyama sonrası indirgen yıkamanın kumaş kalitesi ve çevre yükü üzerine etkileri", *Tekstil Maraton Dergisi*, Sayı 64, s.43-53, 2004.
6. Redüktif Yıkama Maddeleri, [www.akkim.com.tr](http://www.akkim.com.tr), *Web Sayfası, 2004.*
7. Setaş Ürün Kataloğu, 2004.
8. Kumaş Test Aparatları, [www.aygenteks.com](http://www.aygenteks.com), *Web Sayfası, 2004.*
9. TS EN ISO 12945-2, TS 390 Test Standartları, 2004.

## TEKSTİLDE KULLANILAN SUYUN ÖNEMİ VE ÖRNEK BİR İŞLETMEDE YAPILAN SU ANALİZ ÇALIŞMALARI

Serin MAVRUZ ve R. Tuğrul OĞULATA  
Ç.Ü., Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** *Bu çalışmada, seçilmiş bir tekstil işletmesinin su kalitesinin belirlenmesi amacıyla, deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Tekstil işletmesinin boya-terbiye dairesinde kullanılan suyu analiz edilmiş, pH, demir, toplam sertlik ve bikarbonat değerleri incelenerek, mevsimsel olarak söz konusu değerlerin değişimi gözlenmiş ve su kalitesinin işletme şartlarına uygunluğu tespit edilmeye çalışılmıştır.*  
**Anahtar kelimeler:** *Tekstil, tekstilde su kalitesi, toplam sertlik, bikarbonat.*

### IMPORTANCE OF WATER QUALITY IN TEXTILE INDUSTRY AND A STUDY ON THE WATER QUALITY IN A CHOSEN TEXTILE MILL

**ABSTRACT :** *In this study, it was aimed to investigate water quality of dyehouse in a chosen textile mill. pH, iron, total hardness and bicarbonate quantity of water used in dyehouse was experimentaly examined and seasonal variations of these quantities were observed. In according with the results obtained; it was promoted on the water quality of the dyehouse to the mill and suggestions were given in the end of the paper.*  
**Key words:** *Textile, water quality in textile, total hardness, bicarbonate.*

## 1. GİRİŞ

Terbiye işletmeleri, kumaşa istenilen özellikleri ve rengi verirken bu işlemlerde kullanılacak kimyasalların, boyarmaddelerin ve suyun kalitesi üzerinde hassasiyetle durmalıdır. Tekstil fabrikalarında, özellikle terbiye dairelerinde suyun önemi oldukça fazla olup, kasar, boyama, baskı ve apre işlemlerinin temel sıvı maddesini su oluşturmaktadır (1).

İşletmelerde üretim ile ilgili her türlü makine ve hammaddenin kaliteli olmasına rağmen, kullanılan sudan kaynaklı olarak aşağıdaki problemler oluşabilmektedir:

- işletmelerde randıman düşmekte,
- ürün kalitesi kötü olmakta,
- üründe estetik bozukluk olmakta,
- istenmeyen duruşlar nedeni ile işletme zarara uğramaktadır (2).

Bazı işletmelerde prosesler için gereken su yer altından temin edilmekte, ancak yıl içinde yağış durumuna göre yer altı su kaliteleri sürekli değişebildiğinden, bu da boyahanelerde farklı özelliklere sahip su kullanılmasına neden olabilmektedir. Doğal olarak boyahanelerde aynı kalitede suyun kullanılmamasından dolayı, aynı boyama reçetelerinde farklı renk tonları elde edilebilmektedir. Bu tip problemler nedeniyle istenen özellikte boyama elde edilememekte, aşırı miktarda boyarmadde ve kimyasallar tüketilmekte, boyama makineleri gereksiz yere meşgul edilmekte, enerji, zaman ve işçilik kayıpları artmaktadır. Bu sorunların önlenmesi için işletmeler, başlangıçta su kalitelerini saptamalı ve yıl boyunca aynı kalitede su kullanmalıdırlar.

Boyahanelerde kullanılacak suda; pH, sertlik, organik maddeler, demir, mangan, bikarbonat, nitrat, nitrit vb. değerleri belli bir sınırın üzerine çıkmamalıdır (3).

Bu çalışmada; Adana'da yerleşik bulunan bir tekstil işletmesinin boya-terbiye dairesinde kullanılan kuyu suyundan (sert su) 6 ay süreyle belli dönemlerde numuneler alınıp, analizler yapılmıştır. Bu suyun boya-terbiye işlemlerini büyük ölçüde etkilediği düşünülen pH değeri, demir, toplam sertlik ve bikarbonat miktarları tespit edilmiştir. Bu sonuçlar grafiklerle ifade edilerek, belirlenen süre içerisindeki su kalitesindeki değişimler gözlenmiş, mevsimsel olarak su kalitesinde önemli değişiklikler olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca; söz konusu değerlerin işletme şartlarına uygunluğu da tespit edilmeye çalışılmıştır.

## 2. İDEAL BOYAMA SUYUNUN ÖZELLİKLERİ

Tekstil terbiyesinde kullanılacak su, belirli özelliklere sahip olmalıdır. Ancak su genellikle istenilen özelliklerde bulunmamakta, bazı işlemler neticesinde bu özelliklere kavuşturulabilmektedir.

Boyama banyosunda kullanılacak ideal bir suyun özellikleri Tablo 1'de verilmiştir (4-6).



**Tablo 1.** Boyama Banyosunda Kullanılacak İdeal Suyun Özellikleri

Parametre	Sınır değerler
Görünüm	Berrak
Koku	Kokusuz
pH değeri	Nötr
Sertlik	< 5°dH (6,25° eH; 8,95°FH, 5,2°USA)
Çözülmüş katı maddeler	< 1 mg/l
Katı madde kalıntıları	< 5 mg/l
Organik maddeler	< 20 mg/l (KMnO <sub>4</sub> – sarfiyatı)
İnorganik tuzlar	< 500 mg/l
Demir miktarı (Fe)	< 0,1 mg/l
Mangan miktarı (Mn)	< 0,02 mg/l
Bakır miktarı (Cu)	< 0,005 mg/l
Nitrat miktarı (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	< 50 mg/l
Nitrit miktarı (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	< 5 mg/l
Bikarbonat miktarı [HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]	< 50 mg/l

Çalışmada, işletme suyunun pH'ı, demir, toplam sertlik ve bikarbonat miktarları tespit edilmeye çalışılacağından, söz konusu bu değerlerin ürün üzerindeki etkileri aşağıda açıklanmıştır.

### 2.1. pH

Suda çözülmüş tuzlar, asitler, bazlar, asit oksitler suyun pH derecesinin değişmesine sebep olmaktadır. pH değerinin 7'nin altına düşmesi ortama asit, üzerine çıkması ise alkali özellik vermektedir (7).

Ham suyun pH'ını, çözülmüş olarak bulunan karbonat, bikarbonat ve karbondioksit belirlemektedir. Sularda istenen pH değeri kullanım noktasına göre 5,5 ile 8,5 arasında değişmektedir (8).

### 2.2. Demir

Su içinde erimiş halde bulunan demir iyonunun miktarıdır. Suya renkli ve tortulu bir görünüm vermektedir (8).

Boyahanelerde kullanılan suda bulunan demir, boyama banyolarında ciddi sorunlara neden olabilmekte, boyamaların tonunu etkileyebilmektedir (9).

### 2.3. Su Sertliği

Bir suyun sertliği, o suyun sabunu çöktürme özelliğidir. Sabun başlıca Ca<sup>+2</sup> ve Mg<sup>+2</sup> iyonları tarafından çökeltilir. Ancak bu iyonlara oranla su kaynakları içerisinde daha az miktarda bulunan diğer metal iyonları da sabunun çöktürülmesinde etkilidirler.

Bir suyun sertliği, o suyun temas etmiş olduğu topraklardaki minerallerin suda çözünmesiyle yakından ilgilidir. Yer altı suları daha fazla oranda mineral ile temas ettiklerinden yüzey sularından daha serttir (10, 11).

Sert su, içerisinde istenmeyen metal tuzlarını içeren sulardır. Terbiye dairelerinde kullanılan suların sertliği oldukça önemli olup, sertliğin fazla olması durumunda tutum

bozulmakta, tekstil malzemesi üzerinde yapışkan bir kalıntı, kirlilik ve bulanık bir görünüm oluşmakta, sürtme haslıklarında düşme meydana gelmektedir. Özellikle reaktif boyarmaddelerle selüloz esaslı lifler boyanırken kalsiyum ve magnezyum miktarı düşük de olsa bu boyarmaddelerin difüzyon ve migrasyon özelliklerini etkileyebilmektedir (1, 12).

Yukarıda sayılan olumsuz etkilerin yanında su sertliği aynı zamanda sabun, boyarmadde gibi birçok reaktifin kullanım miktarında da önemli rol oynamaktadır (4).

Su sertliği geçici sertlik ve kalıcı sertlik olarak ikiye ayrılmaktadır. Her iki sertliğin toplamına toplam (tüm) sertlik denilmektedir (1).

#### 2.4. Bikarbonat

Özellikle reaktif boyarmaddeler ile yapılan boyamalarda bikarbonat pH değişimine neden olmaktadır. Bir reaktif boyamada boyarmaddenin lifler tarafından alınması aşamasında, eklenen tuzun elektrolit etkisi ile boyarmadde elyafa çektirilmektedir. Sıcaklığın yükseltilmesi ile boyarmaddenin kumaş üzerinde düzgün dağılımı sağlanmaktadır. Alkali dozajına kadar pH asidik ortamda kalmalıdır.

Ortamdaki bikarbonat, pH'ın asidik ortamda kalmasını engellemektedir. Böylece kuvvetli boyarmaddeler erken fiksasyona uğramaktadır. Çünkü pH yükselmesi ile bazı reaktif boyarmaddeler düşük sıcaklıkta, düzgün dağılım sağlanmadan elyaf ile reaksiyona girerler. Bu durumda kuvvetli reaktivitedeki boyarmaddeler ilk önce selülozun en kolay bağları ile bağlanmaktadır (13).

Boyarmaddenin liflere fikse edildiği aşamada, yüksek sıcaklık ve/veya yüksek pH şartları sağlanmışsa, reaktif boyarmaddeler selüloz içindeki aktif alanla reaksiyona girmektedirler. Bu fazda pH değerinin 10,8-11,2 arasında olması boyama verimi için önemli etkidir. Reaksiyon ortamına soda eklenmektedir.

Ortamda bikarbonat olduğu zaman soda dozajı sonrası pH, 10,8'e çıkamamaktadır. Bunun nedeni de bikarbonatın pH değerini kendi pH tamponlama noktası olan 8,82 değerine çekmek istemesindedir.

Bikarbonatın boya-terbiye işletmelerinde neden olduğu problemler aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir:

- Soda sonrası pH değeri kısa sürede düşmektedir.
- Beyaz çökeltileler oluşmakta ve renkler matlaşmaktadır.
- Laboratuvar-işletme ve partiler arası renk farkı oluşmaktadır.
- Boyarmaddeler liflere çektirilememektedir.
- Bazı renk haslıkları düşük çıkmaktadır (13).

### 3. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Deneysel çalışmanın yürütüldüğü işletmenin boya-terbiye dairesinde boyanan kumaşlarda; abraj, baş-son-orta-kenar farkı ve partiler arası renk farkı çıkan kumaşlar gibi ciddi problemler yaşanmaktadır. Hatalı olan bu kumaşlar tekrar düzeltme reçetesi yazılıp yeniden boyanmakta ya da farklı kalite sınıflarına ayrılmaktadır. Dolayısıyla hatalı üretilmiş olan bu kumaşlar işletmeye; boyarmadde, kimyevi, enerji, işçilik, zaman vb. tüketimi açısından zarar vermektedir.

Aynı reçete, aynı şartlarda, aynı makinede sadece farklı günlerde boyandığında bile kumaşta renk farklılığı görülebilmektedir. Kumaş lotu, kullanılan kimyeviler,

boyarmaddeler aynı olduğu halde, meydana gelen renk farklılıklarının nedeni kontrol edilemeyen bir değişken olan su olabilmektedir.

İşletmenin, boya-terbiye dairesinin her bölümünde (iplik boyama, kumaş boyama, apre, içme suyu) kuyu suyu kullanılmaktadır. Bu su iyon değiştirici reçinelerden geçirilip, sertliği alındıktan sonra, yumuşak su olarak isimlendirilip, işletmeye dağılmaktadır.

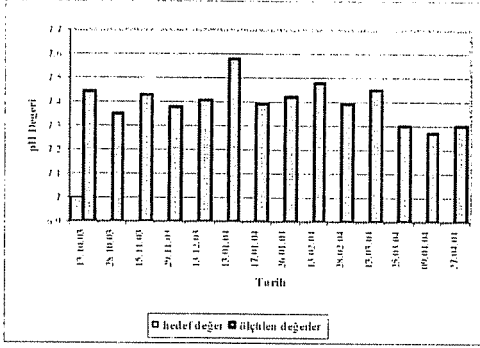
Söz konusu işletmenin suyu, sadece iyon değiştirici reçinelerden geçirildiği için, suyun sadece sertliği giderilmektedir. Su da bulunan diğer iyonlar için bir iyileştirme yapılamamaktadır. Dolayısıyla su, sadece sertliğinden arındırılmış olarak işletmede kullanılmaktadır.

Bu çalışmada; suyun toplam sertlik değeri ile birlikte boyamaların renk ve haslık özelliklerini etkilediği düşünülen pH, demir ve bikarbonat değerleri de tespit edilerek işletme suyunun söz konusu değerlerinin 6 aylık süre içerisindeki değişimleri ve ideal değerlere uygunluğu araştırılmıştır.

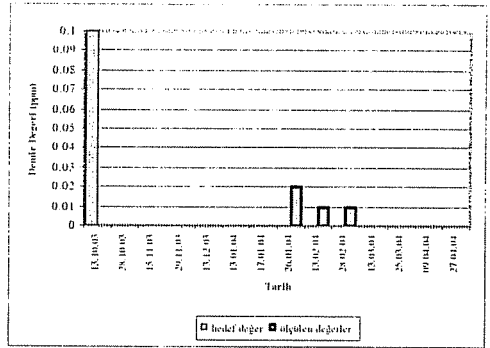
Yapılan analizler sonucu elde edilen, suyun; pH, demir, toplam sertlik ve bikarbonat değerleri Tablo 2'de analiz tarihleriyle birlikte sırasıyla verilmiştir. Söz konusu tablodaki verilerin, hedef değerlerle birlikte grafiksel gösterimi Şekil 1-4'de görülebilmektedir.

**Tablo 2. Su Analiz Sonuçları**

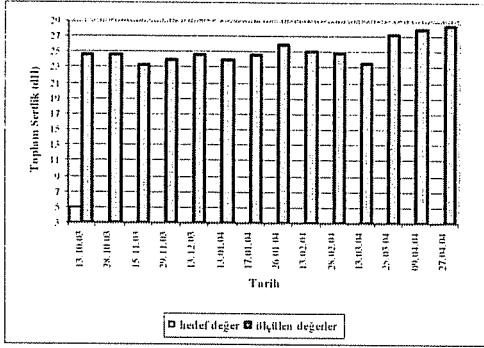
<b>Analiz Tarihi</b>	<b>pH</b>	<b>Demir (ppm)</b>	<b>Toplam Sertlik (°dH)</b>	<b>Bikarbonat (ppm)</b>
13/10/03	7,44	0,00	24,58	480
28/10/03	7,35	0,00	24,58	462
15/11/03	7,43	0,00	23,36	478
29/11/03	7,38	0,00	24,02	478
13/12/03	7,41	0,00	24,58	487
13/01/04	7,58	0,00	24,02	500
17/01/14	7,39	0,00	24,58	500
26/01/04	7,42	0,02	25,92	500
13/02/04	7,48	0,01	25,06	500
28/02/04	7,39	0,01	24,86	480
13/03/04	7,45	0,00	23,58	490
25/03/04	7,30	0,00	27,26	470
09/04/04	7,27	0,00	27,93	500
27/04/04	7,30	0,00	28,26	470



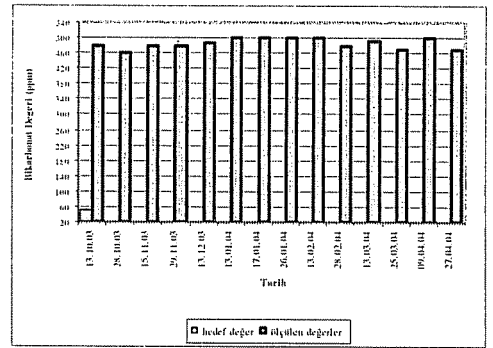
Şekil 1. pH Değerleri



Şekil 2. Demir Değerleri



Şekil 3. Toplam Sertlik Değerleri



Şekil 4. Bikarbonat Değerleri

Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

- Boyahanelerde yaşanan renk ve haslık problemlerinin oluşum nedeni sadece boyarmadde ve kimyasallardan değil, sudan da kaynaklı olabilmektedir. Bu nedenle boya-terbiye işletmeleri sularını sürekli kontrol altında tutmalıdırlar.
- İşletmeler başlangıçta ürünlerinin niteliğine göre su kalitelerini belirlemeli ve yıl boyunca aynı kalitede suyu kullanmalıdırlar.
- Yapılan analizler sonucu suyun pH değerlerinin 7.27 ve 7.58 arasında değiştiği görülmektedir. İşletmede kullanılabilmesi için suyun pH değerinin nötr (pH=7) olması gerektiğinden, bu durumda kuyu suyunun hafif bazik olduğu söylenilebilmektedir. pH değerlerinin ölçülen zaman aralıklarında çok büyük değişme göstermediği de Şekil 1'de görülmektedir.

- Suyun demir değerleri genelde sıfır olmasına rağmen Ocak ayının sonlarında ve Şubat ayında değerler 0.01-0.02 ppm civarında görülmektedir. Proseste kullanılacak suda demir miktarının 0,1 ppm'i aşmaması gerektiğinden işletme suyunun demir açısından kullanıma uygun olduğu söylenebilmektedir (Şekil 2).

- Suyun toplam sertlik değerleri Şekil 3'den incelendiğinde, değerlerde Şubat ayında azalma, Nisan ayında artma olduğu görülmekte olup, diğer aylarda düzensiz artış ve azalışlar söz konusudur. Toplam sertlik değerlerinin 24°dH civarında olduğu görülmektedir. Boyahanedeki kullanılacak suyun toplam sertlik değerinin en fazla 5°dH olması gerektiği düşünülürse suyun sertlik değerinin proseste kullanılmaya uygun olmadığı ve mutlaka sertliği oluşturan kalsiyum ve magnezyum iyonlarından arındırılması gerektiği söylenilebilmektedir.

- Boyahanedeki kullanılacak sularda bikarbonat içeriğinin 50 ppm'den az olması gerekmektedir. Çünkü bikarbonat yüksek ısıda parçalanarak sodaya dönüşmekte, ortam pH'ını yükseltmekte ve abrajlı boyamaya, renk tekrarlanabilirliğinin azalmasına neden olmaktadır. Şekil 4'den de görüldüğü gibi suyun bikarbonat değeri 460 ppm-500 ppm arasında değişmektedir. Bu değer de proses suyu kalite değerlerine uymadığından, özellikle reaktif boyamalarda büyük problem oluşturduğu bilinen sudaki bikarbonatın yok edilmesi veya miktarının <50 ppm olacak şekilde azaltılması gerekmektedir.

Yapılan analizler neticesinde suyun 6 ay boyunca değişkenlik gösterdiği, dolayısıyla işletmenin standart bir su kalitesine sahip olmadığı söylenebilmektedir. Özellikle suyun içerdiği bikarbonat ve toplam sertlik değerleri oldukça yüksek çıkmıştır. Analiz edilen pH, demir, toplam sertlik ve bikarbonat değerleri mevsimsel olarak lineer bir değişim göstermemektedir. Yalnızca toplam sertlik değerinin Mart ayının sonunda ve Nisan ayında en yüksek değerleri aldığı görülebilmekte, dolayısıyla ilkbahar mevsiminde suyun toplam sertlik miktarının en yüksek değerlerde olduğu söylenebilmektedir.

İşletme suyunun toplam sertlik ve bikarbonat miktarlarının bu değerleriyle boyatma işlemlerinde kullanılması büyük renk ve haslık problemlerine neden olabileceğinden suyun sadece yumuşatma sistemlerinden geçirilerek, sertliğinin alınmasıyla iyileştirilmesinin yetersiz kaldığı düşünülmektedir. Özellikle suyun bikarbonat ve pH değerinin ideal boyama değerlerinde olabilmesi için sudaki bikarbonatı çok büyük oranda gideren ve pH ayarını sağlayan ters osmoz gibi su arıtma sistemlerinin kullanılmasının işletmeye büyük fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

#### 4. KAYNAKLAR

1. Yakartepe,Z. ve Yakartepe,M., "Tekstil Terbiye Teknolojisi, Kasardan Apreye", T.K.A.M., Cilt 4, İstanbul, 1995.
2. Burkut,E., "Son 20 Yıl İçinde Türkiye Sanayinde Su Tekniği'nin Yeri", Termodinamik Dergisi, Sayı 136, s.39-43, 2003.
3. Mavruz,S. ve Oğulata,R.T., "Tekstilde Su Kalitesi ve Suda Bulunan Bikarbonatın Reaktif Boyamaya Etkisinin İncelenmesi", Tekstil&Teknik Dergisi, 2004 (basımda).
4. Serindağ,O. ve Halefoğlu,Z., "Tekstil Kimyası", Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Adana, 2001.

5. Yavuz, N., "İşletme Suyunun Kalitesi ve İyonlar", Rudolf Duraner, Bursa, 2000.
6. Özbucak Tekstil Tic.ve San. A.Ş., Boya-Terbiye Çalışma Notları, 2004.
7. Destech, Su Semineri. Çukobirlik Tarım Kooperatifi, Adana, 2002.
8. Sudaki Kirleticiler, www.globalaritim.com, 2004.
9. Burkut, E., "Tekstil Boyahanelerinde Su Kalitesinin Önemi", Termodinamik Dergisi, Sayı 72, s.42-43, İstanbul, 1998.
10. Gül, Ş., "Su Kalitesi ve Kimyası", Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Adana, 1998.
11. Anaç, İ., "Boyahanelerde Su Arıtım Tesislerinde Dizayn Hataları". Zararlı Asidik Gazlar, Bikarbonatlı Sularda Boyama Tekniği, Tekstil Terbiye&Teknik Dergisi, Sayı 29, s.82-84, 1998.
12. Güneş Polgat San. ve Tic. AŞ., Teknik Doküman, Mersin, 2002.
13. Uca, R., Çınarlı, A., İpekten, S., Çaylı, G., "Reaktif Boyamada Bikarbonat Problemlerinin Çözümü veya Soda Yerine; Cohnor® ile Sodyum Hidroksit Kullanımı ve Avantajları", 1. Ulusal Tekstil Yardımcı Kimyasalları Kongresi, Bursa, 2002.

## İKİ BOYUTLU ELASTOSTATİK PROBLEMLERİNİN SÜREKSİZ KUADRATİK SINIR ELEMANLARI KULLANILARAK ÇÖZÜMÜ

M. Hakan SEVERCAN, A. Hamza TANRIKULU ve A. Kamil TANRIKULU  
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** *Bu çalışmada, iki boyutlu elastostatik problemlerinin çözümü için sınır eleman formülasyonu hazırlanmıştır. Formülasyonda izoparametrik süreksiz kuadratik sınır eleman yaklaşımı kullanılmıştır. Yapılan formülasyona dayalı bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Hazırlanan program yardımıyla örnek bir elastisite problemi çözülmüş ve sonuçlar literatürde sabit eleman ve izoparametrik süreksiz lineer eleman yaklaşımı ile elde edilen değerlerle ve analitik olarak elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.*

### THE SOLUTION OF TWO DIMENSIONAL ELASTOSTATIC PROBLEMS BY USING DISCONTINUOUS QUADRATIC BOUNDARY ELEMENTS

**ABSTRACT :** *In this study, a boundary element formulation for the solution of two dimensional elastostatic problems is presented. In the formulation, isoparametric discontinuous quadratic boundary element is used. Based on the formulation, a computer program is developed. An elasticity problem is solved using the program. The results are compared with those of constant element model, isoparametric discontinuous linear element model and analytical solution in the literature.*

## 1. GİRİŞ

Mekanik problemlerinin çözümü, genel olarak, iki aşamada yapılmaktadır. İlk olarak, probleme ilişkin diferansiyel denklemler elde edilmektedir. Daha sonra problemin başlangıç ve sınır şartları göz önüne alınarak, elde edilen denklemler çözülmektedir. Ancak, genellikle problemin geometrisinin ve malzeme özelliklerinin karmaşık bir yapıya sahip olması nedeniyle çoğu zaman diferansiyel denklemlerin analitik çözümünü yapmak mümkün olamamaktadır. Bu tip problemlerle karşılaşıldığında yaklaşık bir çözüm elde etmek amacıyla çeşitli sayısal yöntemler kullanılmaktadır.

Sonlu farklar ve sonlu elemanlar yöntemi, yaygın olarak kullanılan sayısal yöntemlerdir. Bu çözüm yöntemlerinin yanı sıra, son yıllarda yarı analitik bir yöntem olan sınır eleman yöntemi geliştirilmiştir (1-2). Sınır eleman yönteminde, ele alınan cismin davranışını idare eden diferansiyel denklem, cismin sınırları üzerinde tanımlanan integral denkleme dönüştürülmekte, dolayısıyla, yalnızca çözüm bölgesi sınırının elemanlara bölünmesi yeterli olmaktadır. Böylelikle, çözülecek denklem sayısı önemli ölçüde azalmaktadır (3). Sınır eleman yöntemi, integral ifadelerde yer alan temel çözümler analitik olarak hesaplandığından, yarı analitik bir yöntemdir. Yarı analitik olması nedeniyle, diğer sayısal yöntemlere göre daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. Sınır eleman yöntemi, özellikle sonsuza uzanan çözüm bölgeleri ve lineer problemler için oldukça uygundur (4).

Bu çalışmada, iki boyutlu elastostatik problemlerin çözümü için sınır eleman formülasyonu yapılmıştır. Formülasyonda, izoparametrik süreksiz kuadratik sınır eleman kullanılmış, sabit noktanın ve integrasyon noktasının aynı sınır elemanı üzerinde bulunmasından kaynaklanan tekillik durumları göz önüne alınmıştır. Yüksek dereceli eleman kullanılarak elde edilen yaklaşık çözümün hassasiyeti artırılmaya çalışılmıştır. Yapılan formülasyona dayalı olarak düğüm noktalarının farklı konumları için çözüm yapabilen bir bilgisayar programı (BEMSQ) hazırlanmıştır. Programın doğruluğunu kontrol için bir dairesel disk problemi çözülerek elde edilen sonuçlar ile literatürde verilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## 2. FORMÜLASYON

### 2.1. Elastostatik Problemler için Sınır Eleman Formülasyonu

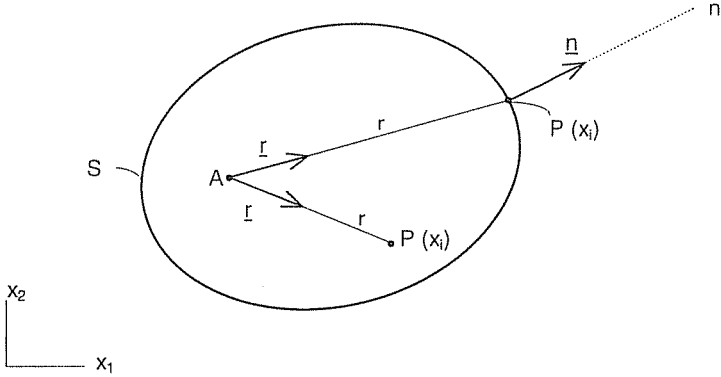
Elastostatik problemler için sınır eleman formülasyonunun temel bağıntıları literatürde geniş bir şekilde verilmektedir (1,5-6).

Şekil 1'de görülen, iki boyutlu bir cismin elastostatik analizi için sınır eleman denklemleri, hacim kuvvetleri ihmal edilerek, matris formunda,

$$\underline{cu}(A) = \int_S \underline{G}(A,P)\underline{t}(P)dS - \int_S \underline{H}(A,P)\underline{u}(P)dS \quad (1)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Burada S, cismin sınır yüzeyini göstermektedir. İntegrallli terimlerde görülen  $\underline{G}$  ve  $\underline{H}$ , (2x2) boyutunda matrislerdir ve sırasıyla, elastostatik problemleri için elde edilmiş olan birinci ve ikinci temel çözümleri temsil etmektedir.  $\underline{u}$  ve  $\underline{t}$  sırasıyla, (2x1) boyutunda, deplasman ve gerilme vektörlerini göstermektedir. A ve P ise sırasıyla, integral işlemlerinde kullanılan sabit noktayı ve integrasyon noktasını temsil etmektedir.





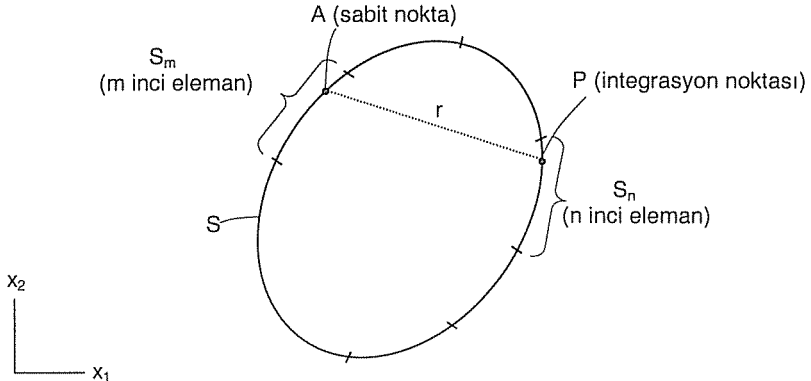
Şekil 1. İki boyutlu elastik cisim

(1) denklemi yardımıyla, sınırdaki ya da cismin iç bölgesinde yer alan noktadaki deplasman değerleri bulunabilmektedir.  $\underline{c}$  matrisi A noktasının bulunduğu konuma göre değişik değerler almaktadır. A noktası cismin iç bölgesinde herhangi bir nokta ise  $\underline{c}$  matrisi birim matrise ( $\underline{I}$ ) eşittir. A noktası cismin dışında ise  $\underline{c}$  matrisinin bütün elemanları sıfırdır. Eğer A noktası, sınır yüzeyi üzerinde, köşe noktaları dışında bir nokta ise,

$$\underline{c} = \frac{1}{2} \underline{I} \quad (2)$$

şeklinde dir. A noktasının S üzerinde bir köşe noktası olması halinde ise,  $\underline{c}$  matrisi, A noktasındaki köşe açılara bağlı olarak verilmektedir (1).

A noktasının sınır yüzeyinde seçilmesi halinde (1) denklemi, sadece sınır büyüklüklerini içeren bir denklem haline dönüşmektedir. Bu durumda denkleme “İndirgenmiş Sınır Eleman Denklemi” adı verilmektedir. (1) denkleminde yer alan integraller, cismin sınır yüzeyi (S) elemanlara bölünerek (Şekil 2) sayısal olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 2. Sınır yüzeyinin elemanlara bölünmesi

Elastostatik problemler için temel çözümler ( $\underline{G}$  ve  $\underline{H}$ ), literatürde, referans sisteminin sonsuz ortam olarak seçilmesi durumunda analitik olarak elde edilmektedir (5). İzotropik malzemeler için temel çözümler,

$$G_{ik}^{nm} = \frac{1}{8\pi\mu(1-\nu)} \left[ (3-4\nu)\ln\left(\frac{1}{r}\right)\delta_{ik} + \frac{\partial r}{\partial x_i} \frac{\partial r}{\partial x_k} \right] \quad (3)$$

$$H_{ik}^{nm} = -\frac{1}{4\pi(1-\nu)r} \left[ \frac{\partial r}{\partial n} \left\{ (1-2\nu)\delta_{ik} + 2\frac{\partial r}{\partial x_k} \frac{\partial r}{\partial x_i} \right\} - (1-2\nu) \left( \frac{\partial r}{\partial x_i} n_k - \frac{\partial r}{\partial x_k} n_i \right) \right] \quad (4)$$

şeklinindedir.  $G_{ik}^{nm}$  ve  $H_{ik}^{nm}$ , sırasıyla,  $\{$  yönündeki birim yüklemeye bağlı olarak  $k$  yönünde oluşan deplasman ve gerilme vektörü bileşenlerini göstermektedir. Burada,  $m$ , sabit noktanın bulunduğu elemanın numarasını,  $n$  ise integrasyon noktasının bulunduğu elemanın numarasını göstermektedir.  $\mu$ , kayma modülünü,  $\nu$ , Poisson oranını ve  $\delta$  ise Kronecker delta'yı göstermektedir.

## 2.2. Süreksiz Yüksek Dereceli İzoparametrik Sınır Eleman Formülasyonu

Sınır eleman formülasyonunda, seçilen düğüm noktalarının konumuna göre sınır elemanları "sürekli" ya da "süreksiz" sınır eleman olarak adlandırılmaktadır. Bazı düğüm noktalarının, elemanın uç noktalarında seçilmesi halinde "sürekli sınır elemanı" söz konusu olmaktadır. Uç noktalarında seçilen düğüm noktaları, komşu elemanlar için ortak düğüm noktaları olduğundan, bu noktalarda, sınır büyüklükleri için süreklilik şartlarının sağlanması gerekmektedir. Düğüm noktalarının elemanın iç bölgesinde seçilmesi halinde ise elemana "süreksiz sınır elemanı" denilmekte ve elemanlar arası süreklilik koşullarına ihtiyaç kalmamaktadır.

Bu çalışmada, süreksiz sınır elemanı ve izoparametrik şekil fonksiyonları kullanılarak, "süreksiz yüksek dereceli izoparametrik sınır eleman formülasyonu" elde edilmiştir. Bu amaçla Şekil 3'te görüldüğü gibi, cisim sınırı (S),  $N$  adet sınır elemanına bölünmektedir. Şekil 3'te,  $S_m$  elemanı için düğüm noktaları,  $P_m^k$  ( $m=1, \dots, N$  ve  $k=1, \dots, q$ ) ile gösterilmiştir. Burada,  $N$  eleman sayısını,  $q$  ise her bir eleman üzerinde göz önüne alınan düğüm noktası sayısını belirtmektedir.

İzoparametrik sınır eleman formülasyonunda, geometrik şekil fonksiyonları ile sınır büyüklüklerinin interpolasyon şekil fonksiyonları birbirine eşit olup, sınır elemanı üzerinde yer alan bir  $P$  noktasının koordinatları,

$$x_i = \sum_{k=1}^q \phi_k(\xi) x_i^k \quad (5)$$

denklemi ile, sınır elemanı üzerindeki sınır büyüklükleri ise,

$$u_i = \sum_{k=1}^q \phi_k(\xi) u_i^k \quad (6)$$

$$t_i = \sum_{k=1}^q \phi_k(\xi) t_i^k$$

ifadeleri ile verilmektedir. Bu ifadelerde,  $x_i$ ,  $P$  integrasyon noktasının koordinatlarını;  $x_i^k$ , elemana ait  $k$ . düğüm noktasının koordinatlarını;  $(u_i^k, t_i^k)$ ,  $k$  düğüm noktasındaki

sınır büyüklüklerinin değerlerini;  $\Phi_k$ , şekil fonksiyonlarını; ( $\xi$ ) ise P noktasının boyutsuz koordinatını temsil etmektedir.

Şekil 3’de görülmekte olan  $S_m$ ’inci elemanın  $P_m^k$  sabit noktası için (1) denklemi,

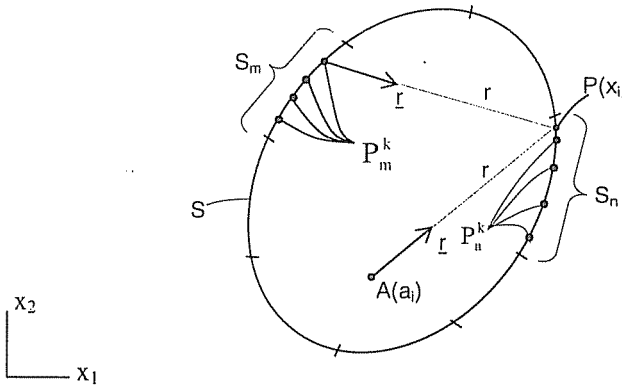
$$c_m^k \underline{u}(P_m^k) = \int_S \underline{G}(P_m^k, P) \underline{t}(P) dS - \int_S \underline{H}(P_m^k, P) \underline{u}(P) dS \quad (7)$$

şeklinde elde edilmektedir. Burada,  $P_m^k$  köşe noktası ise  $c_m^k$ ’nın değeri köşe açısına bağlı olarak değişmektedir. Aksi halde  $c_m^k = 1/2$  dir.

Sınır yüzeyinin Şekil 3’te görüldüğü gibi, N adet elemana bölünmesi halinde (7) denklemi,

$$c_m^k \underline{u}(P_m^k) = \sum_{n=1}^N \int_{S_n} \underline{G}(P_m^k, P) \underline{t}(P) dS - \sum_{n=1}^N \int_{S_n} \underline{H}(P_m^k, P) \underline{u}(P) dS \quad (8)$$

şeklinde ifade edilmektedir.



**Şekil 3.** Cisim sınırının yüksek dereceli sınır elemanlarına bölünmesi

Eleman üzerindeki sınır büyüklüklerinin şekil fonksiyonlarına bağlı olarak değişim gösterdiği kabulüne göre, (6) eşitliklerinde verilen sınır büyüklükleri ile ilgili ifadeler, (8) denklemine yerine yazılır ve  $dS = J(\xi) d\xi$  eşitliği kullanılarak, integrasyon parametresi ( $dS$ ),  $(-1, +1)$  aralığında değişen  $d\xi$ ’ye dönüştürülürse,

$$c_m^k \underline{u}(P_m^k) = \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^q \left[ \int_{-1}^1 J(\xi) \underline{G}(P_m^k, P) \underline{\phi}_s d\xi \right] \underline{t}(P_n^s) - \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^q \left[ \int_{-1}^1 J(\xi) \underline{H}(P_m^k, P) \underline{\phi}_s d\xi \right] \underline{u}(P_n^s) \quad (9)$$

denklemi elde edilir. Burada şekil fonksiyonları matrisi,

$$\underline{\phi}_s = \begin{bmatrix} \phi_s & 0 \\ 0 & \phi_s \end{bmatrix} \quad (s=1, \dots, q) \quad (10)$$

şeklinde tarif edilmektedir. (9) eşitliğinde verilen  $J(\xi)$ , Jacobian matrisinin determinantını göstermektedir. P integrasyon noktasının koordinatları (5) eşitliği kullanılarak  $\xi$ ’ye bağlı olarak ifade edilmektedir.

$$\underline{G}_{ks}^{mm} = \int_{-1}^1 J(\xi) \underline{G}(P_m^k, P) \underline{\phi}_s d\xi \quad (11)$$

$$\underline{H}_{ks}^{mm} = \int_{-1}^1 J(\xi) \underline{H}(P_m^k, P) \underline{\phi}_s d\xi$$

tanımlamaları kullanılırsa, (9) denklemi,

$$\underline{c}_m^k \underline{u}(P_m^k) = \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^q \underline{G}_{ks}^{mm} \underline{t}(P_n^s) - \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^q \underline{H}_{ks}^{mm} \underline{u}(P_n^s) \quad (12)$$

şeklinde elde edilmektedir. (12) denklemi,  $P_m^k$  ( $k=1, \dots, q$ ) sabit noktaları için yazılarak birleştirilirse,

$$\underline{c}^m \underline{u}^m = \sum_{n=1}^N \underline{G}^{mm} \underline{t}^n - \sum_{n=1}^N \underline{H}^{mm} \underline{u}^n \quad (13)$$

ifadesi elde edilmektedir. (13) denklemine geçen matris ve vektörler,

$$\underline{G}^{mm} = \begin{bmatrix} \underline{G}_{11}^{mm} & \dots & \underline{G}_{1q}^{mm} \\ \dots & \dots & \dots \\ \underline{G}_{q1}^{mm} & \dots & \underline{G}_{qq}^{mm} \end{bmatrix}; \quad \underline{H}^{mm} = \begin{bmatrix} \underline{H}_{11}^{mm} & \dots & \underline{H}_{1q}^{mm} \\ \dots & \dots & \dots \\ \underline{H}_{q1}^{mm} & \dots & \underline{H}_{qq}^{mm} \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$\underline{u} = \begin{bmatrix} \underline{u}(P_n^1) \\ \vdots \\ \underline{u}(P_n^q) \end{bmatrix}; \quad \underline{t} = \begin{bmatrix} \underline{t}(P_n^1) \\ \vdots \\ \underline{t}(P_n^q) \end{bmatrix}; \quad \underline{c}^m = \begin{bmatrix} c_m^1 \underline{I} & & \\ & \ddots & \underline{0} \\ \underline{0} & & c_m^q \underline{I} \end{bmatrix}$$

şeklinde. Burada,  $\underline{I}$  matrisi, birim matrisi belirtmektedir. (13) denklemine görülen  $\underline{G}^{mm}$  ve  $\underline{H}^{mm}$  matrisleri, (11) eşitliklerinde verilen integrallerin Gauss sayısal integrasyon yöntemi ile çözümlü (14) ifadesindeki matrislere yerleştirilmesiyle elde edilmektedir (7).

(13) denklemi  $N$  adet sınır elemanı için yazılırsa, elde edilen denklemler bir araya toplanarak, matris formunda,

$$\underline{\tilde{H}} \underline{\tilde{u}} = \underline{\tilde{G}} \underline{\tilde{t}} \quad (15)$$

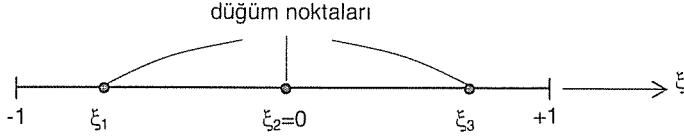
eşitliği bulunur. (15) eşitliği, sınır eleman yöntemine ait sistem denklemini temsil etmektedir. Bilinen sınır şartları, (15) sistem denkleminde yerine konularak, bilinmeyenler denklemin sol tarafında toplanırsa bu denklem,

$$\underline{A} \underline{X} = \underline{B} \underline{Y} \quad (16)$$

formunda elde edilebilir. Burada,  $\underline{X}$  ve  $\underline{Y}$  sırasıyla, bilinmeyen ve bilinen sınır büyüklüklerini temsil etmektedir.  $\underline{A}$  ve  $\underline{B}$  matrisleri ise; tüm bilinmeyenler denklemin sol tarafında toplanacak şekilde,  $\underline{\tilde{H}}$  ve  $\underline{\tilde{G}}$  matrislerinin ilgili kolonlarının yer değiştirilmesiyle elde edilmektedir. (16) denklemi çözümlenerek, cismin sınırı üzerindeki bilinmeyen sınır büyüklükleri hesaplanmaktadır.

### 2.3. Süreksiz Kuadratik İzoparametrik Sınır Eleman Formülasyonu

Bu bölümde, sınır eleman denkleminin sayısal olarak çözümü için Bölüm 2.2’de genel olarak ifade edilen yüksek dereceli süreksiz sınır eleman formülasyonu, süreksiz izoparametrik kuadratik eleman (SKE) seçilerek düzenlenmiştir.



Şekil 4. Süreksiz Kuadratik Sınır Elemanı

Sayısal çözüm için, ilk olarak cisim sınırı, N adet sınır elemanına bölünerek, her bir eleman üzerinde üç adet düğüm noktası eleman uç noktaları ile çakışmayacak konumda seçilmiştir (Şekil 4). Düğüm noktası sayısı (q=3) alınarak, Bölüm 2.2’de verilen (5) ve (6) ifadeleri yeniden düzenlenmiştir. Buna göre, sınır elemanı üzerinde yer alan bir P noktasının koordinatları,

$$x_i = \sum_{k=1}^3 \phi_k(\xi) x_i^k \quad (17)$$

ifadesi kullanılarak ve sınır elemanı üzerindeki sınır büyüklükleri ise,

$$u_i = \sum_{k=1}^3 \phi_k(\xi) u_i^k \quad (18)$$

$$t_i = \sum_{k=1}^3 \phi_k(\xi) t_i^k$$

ifadeleri kullanılarak, şekil fonksiyonları ve düğüm noktası parametrelerine bağlı olarak tanımlanmıştır. (17) ve (18) ifadelerinde verilen şekil fonksiyonları,  $-1 < \xi_1 < 0$  ve  $0 < \xi_3 < 1$  olacak şekilde SKE için boyutsuz koordinatlarda,

$$\phi_1(\xi) = \frac{\xi(\xi - \xi_3)}{\xi_1(\xi_1 - \xi_3)} ; \quad \phi_2(\xi) = 1 - \frac{\xi(\xi_3 + \xi_1 - \xi)}{\xi_1 \xi_3} ; \quad \phi_3(\xi) = \frac{\xi(\xi - \xi_1)}{\xi_3(\xi_3 - \xi_1)} \quad (19)$$

şeklinde belirlenmiştir. (19) eşitliklerinde görülen  $\xi_1$  ve  $\xi_3$ , 1. ve 3. düğüm noktalarının sınır elemanı üzerindeki boyutsuz koordinatlarını göstermektedir.

(17) ve (18) ifadeleri kullanılarak (8) denklemi yeniden düzenlenir ve  $dS=J(\xi)d\xi$  ifadesi kullanılarak integrasyon parametresi dönüşümü yapılırsa,

$$c_m^k \underline{u}(P_m^k) = \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^3 \left[ \int_{-1}^1 J(\xi) \underline{G}(P_m^k, P) \underline{\phi}_s d\xi \right] \underline{t}(P_n^s) - \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^3 \left[ \int_{-1}^1 J(\xi) \underline{H}(P_m^k, P) \underline{\phi}_s d\xi \right] \underline{u}(P_n^s) \quad (20)$$

denklemi elde edilmektedir. (20) denklemine verilen şekil fonksiyon matrisi ( $\underline{\phi}_s$ ),

$$\underline{\phi}_s = \begin{bmatrix} \phi_s & 0 \\ 0 & \phi_s \end{bmatrix} \quad (21)$$

şeklinde, (11) denklemlerinde verilen ifadeler, (20) denkleme yerleştirilerek, (20) denklemi,

$$c_m^k \underline{u}(P_m^k) = \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^3 \underline{G}_{ks}^{(m)} \underline{t}(P_n^s) - \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^3 \underline{H}_{ks}^{(m)} \underline{u}(P_n^s) \quad (22)$$

şeklinde yeniden düzenlenmiştir. (22) denklemi,  $P_m^k$  ( $k=1, \dots, 3$ ) sabit noktaları için yazılarak birleştirilmiş ve,

$$\underline{c}^m \underline{u}^m = \sum_{n=1}^N \underline{G}^{(m)} \underline{t}^n - \sum_{n=1}^N \underline{H}^{(m)} \underline{u}^n \quad (23)$$

ifadesi elde edilmiştir. (23) denklemine verilen matris ve vektörler,

$$\underline{G}^{(m)} = \begin{bmatrix} \underline{G}_{11}^{(m)} & \underline{G}_{12}^{(m)} & \underline{G}_{13}^{(m)} \\ \underline{G}_{21}^{(m)} & \underline{G}_{22}^{(m)} & \underline{G}_{23}^{(m)} \\ \underline{G}_{31}^{(m)} & \underline{G}_{32}^{(m)} & \underline{G}_{33}^{(m)} \end{bmatrix} ; \quad \underline{H}^{(m)} = \begin{bmatrix} \underline{H}_{11}^{(m)} & \underline{H}_{12}^{(m)} & \underline{H}_{13}^{(m)} \\ \underline{H}_{21}^{(m)} & \underline{H}_{22}^{(m)} & \underline{H}_{23}^{(m)} \\ \underline{H}_{31}^{(m)} & \underline{H}_{32}^{(m)} & \underline{H}_{33}^{(m)} \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$\underline{u}^n = \begin{bmatrix} \underline{u}(P_n^1) \\ \underline{u}(P_n^2) \\ \underline{u}(P_n^3) \end{bmatrix} ; \quad \underline{t}^n = \begin{bmatrix} \underline{t}(P_n^1) \\ \underline{t}(P_n^2) \\ \underline{t}(P_n^3) \end{bmatrix} ; \quad \underline{c}^m = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \underline{I} & \underline{0} & \underline{0} \\ \underline{0} & \frac{1}{2} \underline{I} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{0} & \frac{1}{2} \underline{I} \end{bmatrix}$$

şeklinde (24) denklemine görülen  $\underline{G}^{(m)}$  ve  $\underline{H}^{(m)}$  ifadeleri (6x6) boyutlarında matris olup, (11) denklemine verilen integrallerin Gauss sayısal integrasyon yöntemi ile hesaplanarak (24) ifadelerindeki matrislere yerleştirilmesiyle elde edilmektedir.

(23) denklemi, N adet sınır elemanı için yazılarak, elde edilen denklemler bir araya toplanmış ve sistem denklemi matris formunda,

$$\underline{\underline{H}} \underline{\underline{u}} = \underline{\underline{G}} \underline{\underline{t}} \quad (25)$$

şeklinde elde edilmiştir. Burada,

$$\underline{\underline{G}} = \left( \underline{G}^{(m)} \right) ; \quad \underline{\underline{H}} = \left( \underline{H}^{(m)} + \frac{1}{2} \underline{\underline{I}} \delta_{mn} \right) \quad (26)$$

$$\underline{\underline{u}} = \left( \underline{u}^n \right) ; \quad \underline{\underline{t}} = \left( \underline{t}^n \right) \quad (m, n=1, 2, \dots, N),$$

olarak verilmiştir. (26) eşitliklerinde verilen  $\delta_{mn}$ , Kronecker deltası göstermektedir.

(25) sistem denklemi  $6N$  adet denklem içermektedir. Cisim sınırının  $N$  adet süresiz kuadratik sınır elemanına bölünmesinden dolayı, toplam  $12N$  adet sınır büyüklüğü ( $u$ ,  $t$ ) olduğu için,  $6N$  adet sınır büyüklüğünün sınır şartı olarak verilmesi gerekmektedir. Sınır şartları olarak, her bir düğüm noktası üzerinde  $x_i$  ( $i=1, 2$ ) doğrultusunda  $t_i$  veya  $u_i$  bileşenlerinden birinin bilinmesi gerekmektedir.

Böylelikle, bilinen sınır şartları, (25) sistem denkleminde yerine konularak, bilinmeyenler denklemin sol tarafında toplanırsa bu denklem,

$$\underline{\underline{A}} \underline{\underline{X}} = \underline{\underline{B}} \underline{\underline{Y}} \quad (27)$$

formunda elde edilmektedir. (27) denklemi çözülerek, cisim sınırı üzerindeki bilinmeyen sınır büyüklükleri hesaplanmaktadır.

### 2.3.1. İç Noktalarda Deplasman ve Gerilmelerin Belirlenmesi

(27) denkleminin çözülmesiyle elde edilen sınır büyüklüklerini kullanarak, Şekil 3'te gösterilen A noktasındaki deplasman ve gerilme değerleri elde edilebilmektedir.

#### 2.3.1.1. Deplasmanların Belirlenmesi

Cisim içerisinde bulunan herhangi bir A noktasındaki deplasmanlar, (1) denklemi yardımıyla bulunabilmektedir. Buna göre,  $\underline{c}$  matrisi için verilen ( $\underline{c}=\underline{I}$ ) eşitliği kullanılarak A noktasındaki deplasmanlar için (1) denklemi yeniden düzenlenirse,

$$u_{\ell}(A) = \int_S G_{\ell k}(A, P) t_k(P) dS - \int_S H_{\ell k}(A, P) u_k(P) dS \quad (28)$$

eşitliği yazılabilir. Bu eşitliğin sayısal olarak çözümü için, cisim sınırı (S) N adet sınır elemanına bölünerek SKE formülasyonu kullanılırsa, matris formunda,

$$\underline{u}(A) = \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^3 \left[ \int_{-1}^1 J(\xi) \underline{G}(A, P) \underline{\phi}_s d\xi \right] \underline{t}(P_n^s) - \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^3 \left[ \int_{-1}^1 J(\xi) \underline{H}(A, P) \underline{\phi}_s d\xi \right] \underline{u}(P_n^s) \quad (29)$$

denklemini elde edilir. Burada,  $\underline{t}(P_n^s)$  ve  $\underline{u}(P_n^s)$  sırasıyla, n'inci elemanın (s) düğüm noktasındaki deplasman ve gerilme vektörlerini göstermektedir. (29) denkleminde görülen integral ifadeleri, Gauss sayısal integrasyon yöntemi ile çözülerek ve (27) denkleminin elde edilen sınır büyüklükleri yerlerine konularak A noktasındaki deplasman değeri hesaplanmaktadır.

#### 2.3.1.2. Gerilmelerin Belirlenmesi

Gerilmelerin hesaplanabilmesi için (28) denkleminin yanı sıra A noktasında bünye denkleminin yazılması gerekmektedir. A noktasında bünye denklemi,

$$\tau_{ij}(A) = c_{ijs\ell} \frac{\partial u_{\ell}}{\partial a_s}(A) \quad (30)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,  $\tau_{ij}$  ( $i, j=1, 2$ ), gerilme bileşenlerini göstermektedir. Elastik  $c_{ijs\ell}$  katsayıları, izotropik malzemeler için,

$$c_{ijs\ell} = \mu(\delta_{is}\delta_{j\ell} + \delta_{il}\delta_{js}) + \lambda\delta_{ij}\delta_{s\ell} \quad (31)$$

olarak verilmektedir. Bu eşitlikte  $\lambda$ , Lamé sabitini ve  $\mu$ , kayma modülünü göstermektedir. (30) denkleminde görülen  $a_s$  ( $s=1, 2$ ), A noktasının koordinatlarını göstermektedir. Buna göre, (28) denkleminin  $a_s$ 'ye göre türevinin alınmasıyla elde edilen değerler, (30) denkleminde yerine yazılırsa, A noktasındaki gerilme bileşenleri için,

$$\tau_{ij}(A) = \int_S D_{kij}(A, P) t_k(P) dS - \int_S S_{kij}(A, P) u_k(P) dS \quad (32)$$

eşitliği elde edilir. Burada,

$$D_{kij}(A, P) = c_{ijs\ell} \frac{\partial G_{\ell k}(A, P)}{\partial a_s} \quad ; \quad S_{kij}(A, P) = c_{ijs\ell} \frac{\partial H_{\ell k}(A, P)}{\partial a_s} \quad (33)$$

eşitlikleri kullanılmıştır. (33) eşitliklerinde verilen  $D_{kij}$  ve  $S_{kij}$  terimleri, temel çözümlerin A noktasının koordinatlarına göre türevlerini içermektedir.

(32) denkleminin Gauss sayısal integrasyon yöntemi ile çözülmesiyle A noktasındaki gerilmeler bulunmaktadır. Bu amaçla, cisim sınırı N adet sınır elemana bölünmekte ve SKE formülasyonu kullanılarak (32) denklemi,

$$\tau_{ij}(A) = \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^3 D_{kij}^{ns} t_k^{ns} - \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^3 S_{kij}^{ns} u_k^{ns} \quad (34)$$

şeklinde yazılmaktadır. Burada, (s) düğüm noktasının numarasını belirtmektedir. Ayrıca; (34) denkleminde görülen  $u_k^{ns}$  ve  $t_k^{ns}$  sırasıyla, n'inci elemanın (s) düğüm noktasındaki deplasman ve gerilme vektörü bileşenlerini göstermektedir. Yukarıdaki denklemlerde yer alan k, i ve j indisleri, 1 ve 2 değerlerini almaktadır.

### 2.3.2. Tekillik

(25) sistem denkleminde bulunan  $\tilde{\underline{G}}$  ve  $\tilde{\underline{H}}$  sistem matrislerinin köşegen elemanlarını oluşturan  $\underline{G}_{ks}^{nm}$  ve  $\underline{H}_{ks}^{nm}$  matrisleri için,

$$\underline{G}_{ks}^{nm} = \int_{S_m} \underline{G}(P_m^k, P) \underline{\phi}_s dS \quad ; \quad \underline{H}_{ks}^{nm} = \int_{S_m} \underline{H}(P_m^k, P) \underline{\phi}_s dS \quad (35)$$

eşitlikleri yazılabilmektedir. Burada k, sabit düğüm nokta numarasını, s ise şekil fonksiyon numarasını göstermektedir. Bu eşitliklerde, integral işlemlerinde kullanılan sabit nokta  $P_m^k$  ve integrasyon noktası P, aynı sınır elemanı üzerinde ( $S_m$ ) bulunmaktadır. Ayrıca, bu eşitlikler, Cauchy kuralına göre yazılmaktadır ve dolayısıyla,  $P_m^k$  ve P noktalarının çakışmadığı kabul edilmektedir (5). Ancak,  $P_m^k$  ve P noktalarının aynı eleman üzerinde bulunması ve düğüm noktası numarası ile şekil fonksiyon numarasının eşit olması ( $k=s$ ) durumunda, bu iki nokta arasındaki uzaklık (r), sıfıra yakın değer alacaktır. Bu durumda, (3) ve (4) ifadelerinde temel çözümler için verilen eşitlikler göz önüne alınırsa, (35) denklemlerinde görülen 'integrand'lar yaklaşık olarak tekil olacaktır (8).

Tekillik durumunda (3) ifadesinde verilen birinci temel çözümleri içeren  $\underline{G}_{ks}^{nm}$  matrisi elemanları sayısal olarak hesaplanabilmektedir. İlk olarak (36) denkleminde görüldüğü gibi tekillik problemi olan integral,  $\ln(1/r)$  ve  $(1/r)$  tekilliklerini içeren iki ayrı integrale bölünmektedir.

$$G_{\ell i}^{ks} = A \left[ \int_{-1}^1 B J(\xi) \phi_s(\xi) \ln(1/r) \delta_{\ell i} d\xi + \int_{-1}^1 J(\xi) \phi_s(\xi) \left( \frac{x_\ell(\xi) - a_\ell}{r} \right) \left( \frac{x_i(\xi) - a_i}{r} \right) d\xi \right] \quad (36)$$

Burada,

$$A = \frac{1}{8\pi\mu(1-\nu)} \quad ; \quad B = 3 - 4\nu \quad (37)$$

eşitlikleri kullanılmıştır. (36) denkleminde görülen  $x_\ell(\xi)$  ve  $x_i(\xi)$  ( $\ell, i=1,2$ ), sırasıyla, integrasyon noktasının { ve i yönündeki koordinatlarını,  $a_\ell$  ve  $a_i$  ise, sırasıyla, kaynak noktasının koordinatlarını göstermektedir. (36) denkleminde görülen  $(1/r)$  tekilliğini içeren integrallli ifade, Gauss integrasyon yöntemi ile sayısal olarak hesaplanmaktadır.  $\ln(1/r)$  tekilliğini içeren integrallli ifadede ise, integrasyon aralığı  $(-1,+1)$ 'den  $(0,1)$  aralığına dönüştürülerek, ifade Logaritmik Gauss integrasyon yöntemi ile sayısal olarak hesaplanmıştır (2).



(4) ifadesinde verilen, ikinci temel çözümleri içeren  $\underline{H}_{ks}^{(mm)}$  matrisinin elemanları, ( $k=s$ ) durumunda rijit cisim deplasman yöntemi yardımıyla,

$$\underline{H}_{kk}^{(mm)} = - \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^3 \underline{H}_{ks}^{(mm)} \quad (m \neq n \text{ ve } k \neq s \text{ için}) \quad (38)$$

eşitliği kullanılarak elde edilmiştir (1).

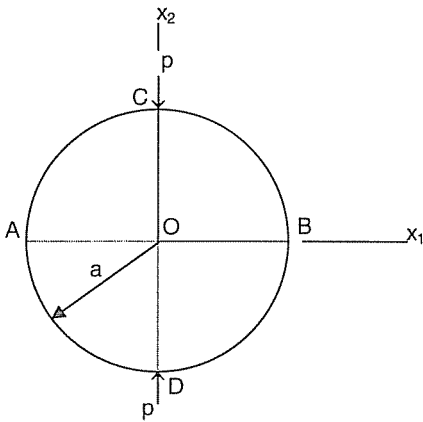
### 3. BİLGİSAYAR PROGRAMI

Bu çalışmada, süreksiz kuadratik eleman için geliştirilen formülasyon ve ilgili sayısal yöntemler kullanılarak, düğüm noktalarının farklı konumları ( $\xi_1$  ve  $\xi_3$ ) için çözüm yapabilecek şekilde BEMSQ adlı bilgisayar programı hazırlanmıştır.

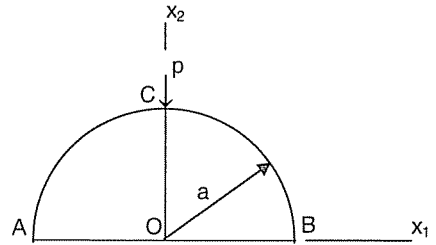
### 4. SAYISAL UYGULAMA

Bu bölümde sayısal uygulama olarak, Şekil 5a'da görülen a yarıçaplı, p eksenel basınç kuvvetine maruz bir dairesel disk gözönüne alınmaktadır. İzotropik elastik malzemeden yapılmış olan disk, orijini diskin merkezinde olan  $x_1$ - $x_2$  koordinat sistemine kıyaslanmıştır.

P kuvvetinin uygulandığı C ve D noktaları hariç diskin sınırında gerilme yoktur. Simetri şartlarından dolayı Şekil 5b'de görüldüğü üzere problem yarıya indirgenmiş ve dolayısıyla AB yatay sınırı boyunca düşey deplasman ve yatay gerilme vektörü bileşeni sıfır olarak alınmıştır.



(a)



(b)

Şekil 5. p eksenel basınç kuvvetine maruz dairesel disk

Analiz sonucunda dairesel diske ait Şekil 5b'de görülen O ve B noktaları arasında kalan yatay sınır boyunca oluşan düşey gerilme ve yatay deplasman değerleri incelenmektedir.

Analizde (39) ifadelerinde belirtilen boyutsuz değişken ve parametreler kullanılmaktadır.

$$\bar{x}_i = \frac{x_i}{d} \quad ; \quad \bar{u}_i = \frac{u_i}{d} \quad ; \quad \bar{t}_i = \frac{t_i}{\mu} \quad (i = 1,2) \quad (39)$$

$$\bar{p} = \frac{p}{\mu d} \quad ; \quad \bar{\mu} = \frac{\mu}{\mu} = 1 \quad ; \quad \bar{d} = \frac{d}{d} = 1$$

Burada  $d=2a$  olmak üzere dairesel diskin çapını göstermektedir. Ayrıca, Poisson oranı ( $\nu$ ), 0.25 olarak alınmış ve boyutsuz yük değeri ( $\bar{p}$ ), 1 olarak seçilmiştir.

Bir düzlem gerilme problemi olan bu örnekte, BEMSQ programı kullanılarak statik analiz yapılmaktadır. Bu amaçla, yarım daire olarak ele alınan problemde sınır, AB yatay sınırı 40 adet, BCA yay sınırı ise 15 adet olmak üzere toplam 55 adet sınır elemanına bölünmektedir.

C noktasına uygulanan düşey  $p$  yükü, boyutsuz uzunluğu 0.104 olan 48 no'lu eleman üzerine üniform yayılı olarak etki ettirilmiş ve 48 no'lu eleman üzerindeki her iki düğüm noktasında boyutsuz düşey yöndeki gerilme vektörü bileşeni,

$$\bar{t}_2 = -\frac{1}{0.104} = -9.62 \quad (40)$$

olarak elde edilmiştir.

Problemin analizinde, süreksizliğin sağlanması için boyutsuz düğüm noktası koordinatları, ( $\xi_1=-2/3$ ,  $\xi_2=0$  ve  $\xi_3=2/3$ ) olarak seçilmiştir.

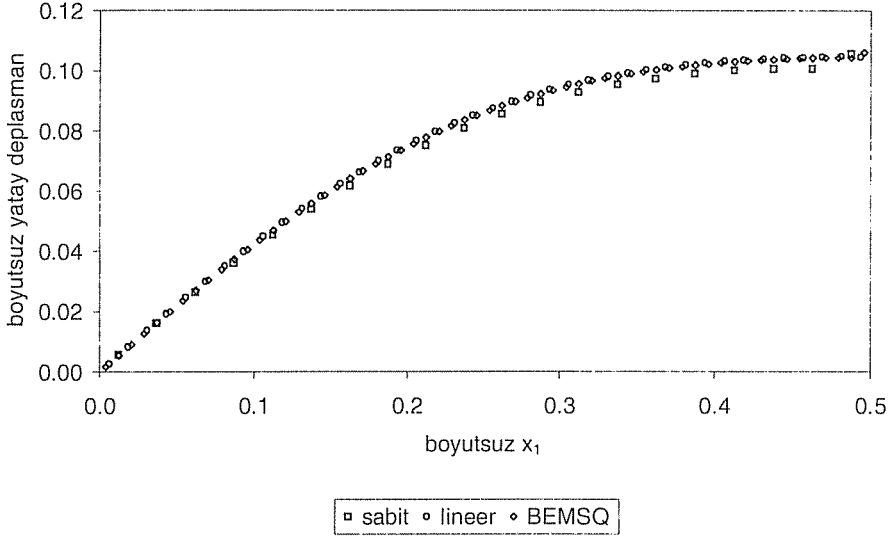
Hazırlanan bu veriler kullanılarak dairesel disk problemi bilgisayar programı ile çözülmüş ve OB yatay sınırı boyunca düşey gerilme ve yatay deplasman değerleri elde edilmiştir. Elde edilen yatay deplasman değerleri, Mengi ve diğ. (5) tarafından sabit eleman formülasyonu kullanılarak elde edilen değerler ve Severcan ve diğ. (9) tarafından süreksiz lineer eleman kullanılarak elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır (5,9). Yapılan karşılaştırmalar Şekil 6'da verilmiştir. Şeklin incelenmesiyle, süreksiz yüksek dereceli sınır elemanların (lineer ve kuadratik) kullanılması ile elde edilen sonuçların kendi içlerinde oldukça uyumlu oldukları ve aynı zamanda sabit eleman modeli kullanılarak elde edilen sonuçlarla da bölgenin uç kesimlerine doğru farklılık göstermesine karşın bir bütün olarak incelendiğinde uyumlu oldukları görülmüştür.

Elde edilen düşey gerilme değerleri, Mengi ve diğ. (5) tarafından sabit eleman formülasyonu kullanılarak elde edilen değerler, Severcan ve diğ. (9) tarafından süreksiz lineer eleman kullanılarak elde edilen değerler ve Timoshenko ve Goodier (10) tarafından verilmiş olan,

$$\tau_{22} = \frac{2p}{\pi d} \left[ 1 - \frac{4d^4}{(d^2 + 4x_1^2)^2} \right] \quad (41)$$

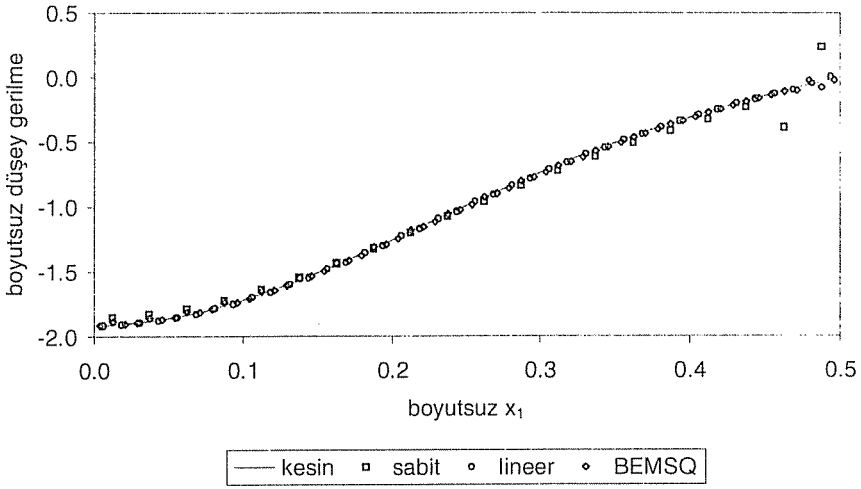
eşitliği kullanılarak elde edilen kesin sonuçlar ile karşılaştırılmıştır (5,9-10). Yapılan karşılaştırmalar Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde, süreksiz yüksek dereceli sınır elemanların (lineer ve kuadratik) kullanılması ile elde edilen sonuçların kendi içlerinde uyumlu oldukları ve sabit eleman formülasyonu ile elde edilen değerlere kıyasla özellikle bölgenin uç kesimlerinde kesin sonuçla daha uyumlu oldukları görülmüştür.

daireysel disk problemi



Şekil 6. OB boyunca yatay deplasman dağılımı

daireysel disk problemi



Şekil 7. OB boyunca düşey gerilme dağılımı

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, iki boyutlu elastostatik problemlerinin çözümü için süreksiz yüksek dereceli izoparametrik sınır eleman kullanılarak formülasyon yapılmıştır. Formülasyonda, süreksiz yüksek dereceli izoparametrik sınır eleman olarak, süreksiz kuadratik sınır eleman kullanılmıştır.

Yapılan formülasyonda, integral işlemlerinde kullanılan sabit nokta ve integrasyon noktasının aynı sınır elemanı üzerinde bulunmasından kaynaklanan tekillik durumları ele alınmıştır. Formülasyonda ayrıca, çözüm bölgesi içinde yer alan noktalarda gerilme ve deplasmanların hesabının nasıl yapılacağı açıklanmıştır.

Yapılan formülasyona dayalı, iki boyutlu statik analiz için BEMSQ isimli, genel amaçlı bilgisayar programı hazırlanmıştır. Program, FORTRAN 77 dili kullanılarak yazılmıştır.

Sayısal uygulama olarak, p eksenel basınç kuvvetine maruz bir dairesel disk gözönüne alınarak statik analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, literatürde verilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve bu çalışmada yapılan formülasyonların ve hazırlanan programların güvenle kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

## 6. KAYNAKLAR

1. Brebbia, C.A., Dominguez J., "Boundary Elements An Introductory Course", Computational Mechanics Publications, Southampton, 1989.
2. Becker, A.A., "The Boundary Element Method in Engineering", McGraw-Hill Book Company, London, 1992.
3. Tanrikulu, A.H., "İki Malzemeli Kompozitin Dinamik Analizi için Yerel Olmayan Sınır Şartlarını İçeren Bir Sınır Eleman Modeli", Doktora Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.
4. Tanrikulu, A.H., Yerli, H.R., "Yapı-Zemin Etkileşim Analizinde Sınır Eleman Yönteminin Kullanılması", Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Vol:15 No:1-2, 2000.
5. Mengi, Y., Tanrikulu, A.H. and Tanrikulu, A.K., "Boundary Element Method for Elastic Media, An Introduction", ODTÜ Basım İşliği, Ankara, 1994.
6. Banerjee, P.K., "The Boundary Element Methods in Engineering", McGraw-Hill Book Company, London, 1994.
7. Press, W.H., Flannery, B.P., Teukolsky, S.A., and Vetterling, V.T., "Numerical Recipes", Cambridge University Press, New York, 1986.
8. Severcan, M.H., "Dinamik Yapı-Zemin Etkileşim Problemleri İçin Sınır Eleman Formülasyonu", Doktora Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.
9. Severcan, M.H., Tanrikulu, A.H. ve Tanrikulu, A.K., "İki Boyutlu Elastostatik Problemlerinin Süreksiz Lineer Sınır Elemanları İle Çözümü", Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Vol:18 No:1, 2003.
10. Timoshenko, S.P., Goodier, J.N., "Theory of Elasticity", McGraw-Hill Book Company, New York, 1970.

## TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE PERDE YERLEŞİMİNİN ETKİSİ VE A2 DÜZENSİZLİK DURUMUNUN İNCELENMESİ

**Erbil GÜLLÜ ve Hüseyin R. YERLİ**  
Ç. Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** Yapı düzensizlikleri planda düzensizlik ve düşey doğrultuda düzensizlik olarak iki ana gruba ayrılmıştır. Planda düzensizlikler; burulma düzensizliği (A1), döşeme süreksizliği (A2), planda çıkıntılarının bulunması (A3), taşıyıcı eleman eksenlerinin deprem yönüne paralel olmasından doğan düzensizlik (A4), düşey doğrultudaki düzensizlikler ise, zayıf kat düzensizliği (B1), yumuşak kat düzensizliği (B2) ve taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının düzensizliği (B3) durumlarıdır.

Bu çalışmada, Türk Deprem Yönetmeliği (TDY 98) irdelenmekte ve Perdeli yapılar ile A2 düzensizliği (Döşeme Süreksizliği) durumu ve bu durumun düzeltilmesi için perde yerleşiminin etkisi incelenmektedir. TDY98'de önerilen eşdeğer deprem yükü yöntemine bağlı kalarak rijit diyafram modeli ve kabuk modeli kullanılmıştır. Tüm örneklerin analizi için SAP2000 paket programı kullanılmıştır.

### INVESTIGATION FOR DESIGN EFFECT OF SHEAR WALLS AND A2 IRREGULARITY CONDITION ACCORDING TO TURKISH EARTHQUAKE CODE

**ABSTRACT :** Structural irregularities are assembled in two main groups. Irregularities in the plan include, torsional irregularity (A1), the irregularity related to floor in which there are big holes or abrupt reductions in the stiffness (A2), the irregularity related to large projections in the plan (A3) and the irregularity caused by structural element axes being nonparallel with the earthquake directions (A4), vertical irregularities are weak storey (B1), soft storey (B2), and the irregularities caused by the discontinuity of vertical structural elements (B3).

In this study, Turkish earthquake code has been studied, and the effects of A2 irregularity and shear walls in the earthquake analysis are examined. The equivalent earthquake load method, offered by Turkish Earthquake Code (TDY98), is used to solve the structural systems by SAP2000 computer software.

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde doğal afetler sonucu meydana gelen bina hasarlarının çoğunluğu depremler nedeniyle meydana gelmektedir. Ülkemizin büyük bir bölümünün deprem riski taşıdığı düşünülürse, yapıların depreme karşı dayanıklı tasarlanması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, depremlerin inşaat mühendislerinin meslek hayatında önemli bir yeri bulunmaktadır. Yapıların depreme karşı güvenle tasarlanması için "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", 01/01/1998 tarihinde resmen yürürlüğe girmiştir.

Türk Deprem Yönetmeliği (TDY98), eski yönetmeliğe göre olumlu değişiklikler içermektedir. Bunların içinde analize yönelik olanlardan bazıları, planda ve düşeydeki düzensizlik durumlarının gözönüne alınması, yapıda oluşabilecek görelî kat ötelemeleri ve ikinci merteye etkilerine bir sınırlama getirilmesi olarak sıralanmaktadır. Bunların yanında eski deprem yönetmeliğinde tek analiz yöntemi olarak verilen "Eşdeğer Deprem Yüğü" yöntemine ilave olarak "Mod Birleştirme (Spektrum analizi)" ile "Zaman Tanım Alanında Hesap" yöntemlerine de yer verilmekte ve bu yöntemlerden birinin kullanılarak üç boyutlu analiz yapılması zorunluluğu getirilmektedir.

Bu çalışmada, öncelikle "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" içerisinde önerilen analiz yöntemleri kullanılarak yapıların deprem analizi yapılmıştır. Türk deprem yönetmeliğine göre yapıların analizinin üç boyutlu yapılması zorunluluğundan dolayı, yapı sistemlerini el ile çözmek neredeyse imkansız veya oldukça zaman alıcı hale gelmiştir. Yapıların üç boyutlu analizinin yapılması için bu çalışma kapsamında SAP2000 programı kullanılmıştır.

## 2. TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ (TDY98)

Türk deprem yönetmeliğinde (TDY98), bina ve bina türü yapıların depreme dayanıklı projelendirilmesi ve yapım esasları için minimum koşullar tanımlanmaktadır. TDY98, 1975 yılında yürürlüğe giren deprem yönetmeliğine göre günümüz modern yapı teknolojisine uygun önemli yenilik ve uygulamalar getirmektedir. Bunlar;

- 1- Rijit diyafram kabulü,
  - 2- Üç boyutlu analiz yapılmasının zorunlu tutulması,
  - 3- Eşdeğer deprem yükü yöntemine ilave olarak mod süperpozisyon yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemleri ile analiz,
  - 4- Görelî kat ötelenmesi ve ikinci merteye etkilerine bir sınırlama getirilmesi,
  - 5- Planda ve düşeyde düzensizlik durumları,
- şeklinde sıralanabilir.

### 2.1. Yapı düzensizlikleri

Yönetmelikte düzensizlikler planda (A) ve düşey doğrultuda (B) olmak üzere iki ayrı grupta incelenmektedir. A1 ve B2 türü düzensizlikler, deprem hesabında kullanılacak yöntemin seçiminde etkili olan düzensizliklerdir.

Düzensizlik gruplarından planda düzensizlikler A grubu olarak tanımlanmakta ve kendi içinde dört kısma ayrılmaktadır.

1. Burulma düzensizliği (A1)
2. Döşeme süreksizliği (A2)
3. Planda çıkıntılarının bulunması (A3)

4. Taşıyıcı eleman eksenlerinin paralel olmaması durumu (A4)

Düşey doğrultuda düzensizlikler ise, B grubu olarak adlandırılmaktadırlar. B grubu düzensizlikler üç kısımda incelenmektedir:

1. Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (B1)
2. Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (B2)
3. Taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliği (B3)

### 3. EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ

Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilmesi için Çizelge 1'deki koşulların sağlanması gerekir.

**Çizelge 1.** Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin uygulanabileceği binalar

Deprem Bölgesi	Bina Türü	Toplam Yükseklik Sınırı
1 - 2	A1 türü burulma düzensizliği olmayan, varsa her bir katta $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağlayan binalar	$H_N \leq 25$ m
	A1 türü burulma düzensizliği olmayan, varsa her bir katta $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağlayan ve ayrıca B2 türü düzensizliği olmayan binalar	$H_N \leq 60$ m
3 - 4	Tüm binalar	$H_N \leq 75$ m

Çizelge 1'deki kriterleri sağlayan yapıların eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analizi aşağıdaki hesap adımları takip edilerek yapılmaktadır.

**Adım 1:** Döşemeler rijit diyafram olarak kabul edilmiş ise mastır noktası kütle merkezinde seçilir.

**Adım 2:** Katlara etkiyen fiktif yükler hesaplanır ( $F_{fi}$ ):

$$F_{fi} = \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)} \quad (1)$$

**Adım 3:** Bulunan fiktif yükler ( $F_{fi}$ ), seçilen deprem doğrultusunda, yapının kat kütle merkezlerine etkiltilerek üç boyutlu statik analiz yapılır ve kuvvet doğrultusunda deplasmanlar ( $d_{fi}$ ) bulunur.

**Adım 4:** Binanın birinci doğal titreşim periyodu ( $T_1$ ) hesaplanır. Yönetmelikte,  $T_1$ 'in hesabı için iki yöntem önerilmektedir.

- a) Ampirik yöntem
- b) Rayleigh yöntemi

**Adım 5:** Toplam eşdeğer deprem yükü hesaplanır.

$$V_1 = W A(T_1) / R_d(T_1) \geq 0.1 A_0 I W \quad (2)$$

**Adım 6:** Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri aşağıda verilen denklem kullanılarak hesaplanacaktır.

$$F_i = (V_i - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)} \quad (3)$$

Burada  $\Delta F_N$  yapının en üst katına ek olarak uygulanacak yatay yük olup,  $T_1$ 'e bağlı olarak şu şekilde bulunur.

$$\Delta F_N = 0.07 T_1 V_i \leq 0.2 V_i \quad (4)$$

Böylece adım 5'te hesaplanan toplam eşdeğer deprem yükü, bina katlarına yatay kuvvetlerin toplamı olarak,

$$V_i = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (5)$$

denklemleri ile ifade edilebilir. Temel üstünde ölçülen toplam bina yüksekliğinin  $H_N \leq 25m$  olması durumunda  $\Delta F_N = 0$  alınacaktır.

**Adım 7:** Eşdeğer deprem yükleri ( $F_i$ ), yapıya her iki deprem doğrultusunda  $\pm\%5$  eksantrisite ile uygulanarak üç boyutlu statik analiz yapılır ve kat deplasmanları ile iç kuvvetler bulunur.

**Adım 8:** A1 burulma düzensizliği ve B2 yumuşak kat kontrolleri yapılıdır. Yapılan kontrollerde, 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde rijitlik düzensizliği  $\eta_{ki} > 1.5$  ise dinamik analiz yapılması zorunludur. Burulma düzensizliği,  $\eta_{bi} > 2$  ise dinamik analiz yapılması zorunludur.  $1.2 < \eta_{bi} \leq 2$  ise eksantrisite değerleri her iki doğrultu için  $D_i$  katsayısı ile çarpılarak büyütülmeli ve analiz 7. adımdan itibaren tekrarlanmalıdır.

**Adım 9:** Göreli kat ötelemeleri ve ikinci mertebe etkilerinin kontrolü yapılmalıdır.

#### 4. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu çalışmada ele alınan bütün örnekler için geçerli olan bilgiler aşağıda verilmiştir:

Elastisite Modülü (E) :  $2.85 \times 10^6$  kN/m<sup>2</sup>

Poisson Oranı ( $\nu$ ) : 0.15

Kolon Boyutları : Bütün kolonlar 600×600 mm

Kiriş Boyutları : Bütün kirişler için  $b=250$  mm ve  $h=500$  mm dir.

##### Bina bilgileri:

Kat sayısı : 5

Kat yüksekliği : 3.5 m

Bina önem katsayısı :  $I = 1$

Taşıyıcı sistem : Yerinde dökme betonarme çerçevesel sistem

##### Deprem bilgileri:

Deprem bölgesi : 1. bölge

Etkin yer ivmesi katsayısı :  $A_0 = 0.4$

Yerel zemin sınıfı :  $Z_3$

Spektrum karakteristik periyotları :  $T_A = 0.15$  sn,  $T_B = 0.60$  sn

Hareketli yük katılım katsayısı :  $n = 0.3$

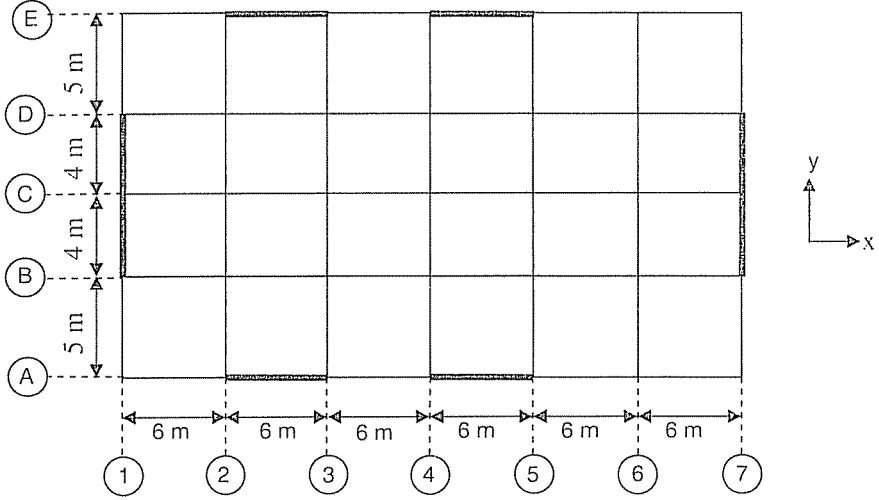
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı :  $R = 8$

Bu kısımda, yapıların perdeli halleri ve A2 düzensizliği irdelenmektedir. Örnek aldığımız yapıya perdeler yerleştirilerek burulma düzensizliği ve yapılara perdenin nasıl

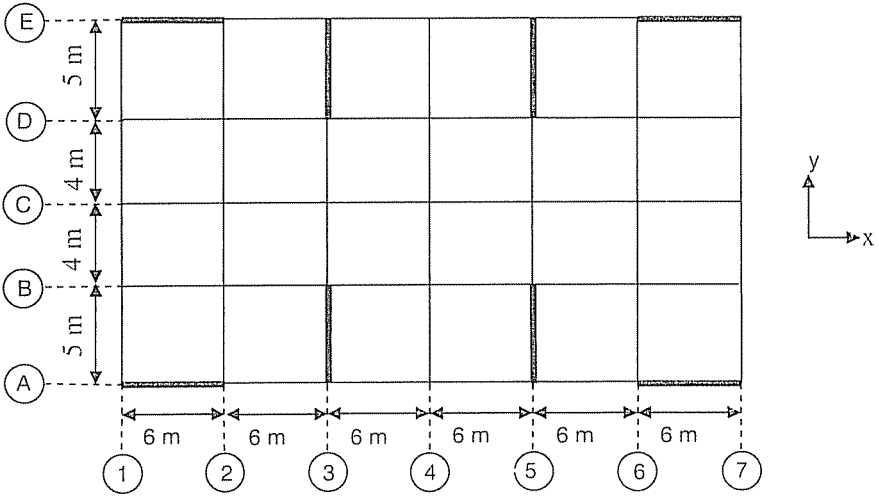


yerleştirilmesi gerektiği incelenmiştir. A2 düzensizliği için rijit diyafram modelinin gerçeği ne kadar yansıttığı, boşluk oranı ve boşluğun yeri değiştirilerek düzensizliğe etkisi ve düzensizliğin giderilmesi için yapıların perdeli halleri incelenmiştir.

Şekil 1 ve Şekil 2'deki yapılarda perdeler simetrik olup, Şekil 2'de y yönündeki perdeler yapının kütle merkezine yakın olacak şekilde seçilmiştir.



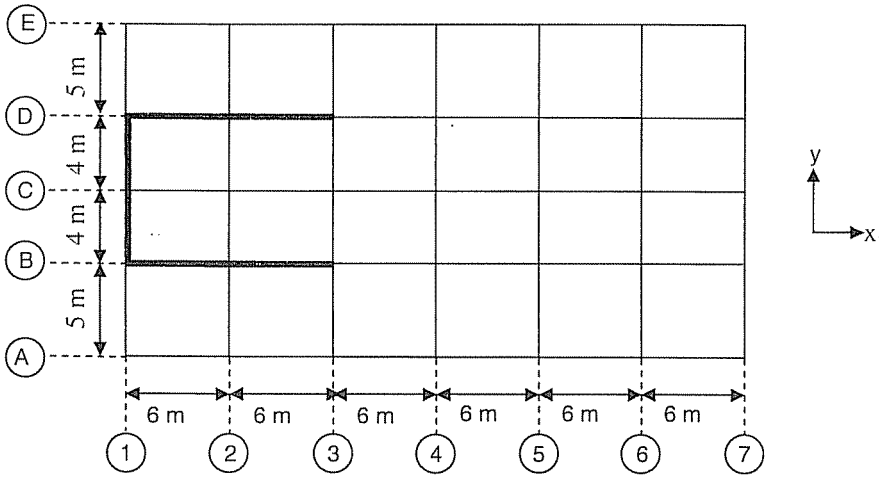
Şekil 1. Örnek 1'e ait kalıp planı



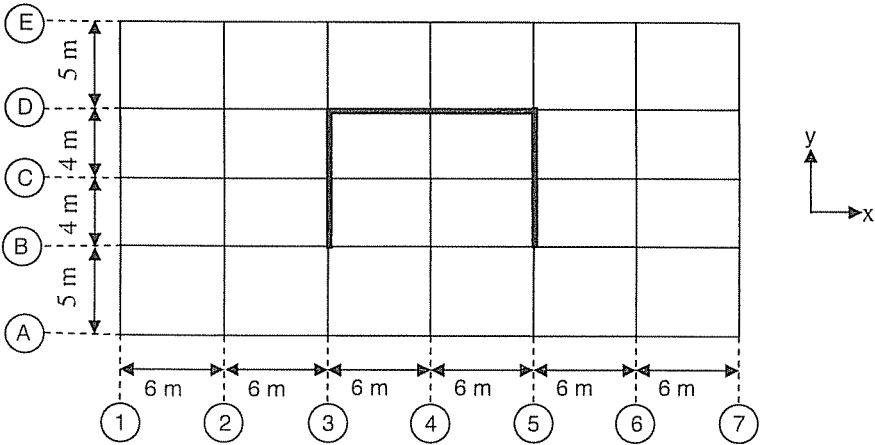
Şekil 2. Örnek 2'ye ait kalıp planı

Şekil 1 ve Şekil 2'nin rijit diyafram modeli ile çözümünde, tüm katlarda TDY98'in verdiği  $\eta_{bi} < 1.2$  sınırın altında kalarak burulma düzensizliği oluşmamaktadır. Şekil 2'de y yönündeki perdelerin kütle merkezine yakın yerleştirilmesinden dolayı  $\eta_{bi} < 1.2$  sınırı aşılmaktadır. Ayrıca görel kat ötelemeleri ve ikinci mertbe etkileri bakımından yönetmeliğin verdiği sınır aşılmamaktadır. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan analiz sonuçları Çizelge 2'de sunulmuştur.

Şekil 3 ve Şekil 4'deki yapılara perdeler rasgele yerleştirilmiştir. Bunun sonucunda, tüm katlarda  $\eta_{bi} < 1.2$  sınır değeri aşıldığından burulma düzensizliği oluşmuştur. Görel kat ötelemeleri ve ikinci mertbe etkileri bakımından yönetmeliğin verdiği sınır aşılmamaktadır. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan analiz sonuçları Çizelge 2'de sunulmuştur.



Şekil 3. Örnek 3'e ait kalıp planı



Şekil 4. Örnek 4'e ait kalıp planı

**Çizelge 2.** Analizleri yapılan kalıp planlarına ait sayısal sonuçlar

Durum No	Kat No	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$	$\eta_{bi}$	$(\Delta_i)_{max}/h_i$	$\theta_i$	
Örnek 1	X Yönü	5	0.01261	0.01186	1.02932	0.00090	0.00225
		4	0.00945	0.00888	1.03069	0.00091	0.00253
		3	0.00626	0.00588	1.03180	0.00083	0.00261
		2	0.00334	0.00314	1.02961	0.00065	0.00232
		1	0.00108	0.00101	1.03349	0.00031	0.00129
	Y Yönü	5	0.01215	0.01008	1.09677	0.00083	0.00193
		4	0.00926	0.00770	1.09324	0.00085	0.00224
		3	0.00627	0.00522	1.09339	0.00080	0.00237
		2	0.00346	0.00289	1.09179	0.00065	0.00219
		1	0.00120	0.00101	1.08597	0.00034	0.00136
Örnek 2	X Yönü	5	0.01274	0.01068	1.08543	0.00093	0.00245
		4	0.00950	0.00795	1.08571	0.00092	0.00272
		3	0.00627	0.00523	1.08889	0.00084	0.00279
		2	0.00333	0.00277	1.09037	0.00065	0.00245
		1	0.00107	0.00088	1.09485	0.00031	0.00135
	Y Yönü	5	0.01753	0.01183	1.19220	0.00122	0.00294
		4	0.01325	0.00893	1.19293	0.00125	0.00337
		3	0.00886	0.00596	1.19477	0.00117	0.00355
		2	0.00475	0.00319	1.19481	0.00092	0.00318
		1	0.00153	0.00102	1.20000	0.00044	0.00176
Örnek 3	X Yönü	5	0.00273	0.00180	1.14286	0.00015	0.00048
		4	0.00221	0.00141	1.19514	0.00017	0.00060
		3	0.00160	0.00100	1.21873	0.00018	0.00069
		2	0.00097	0.00060	1.24696	0.00017	0.00071
		1	0.00039	0.00025	1.22820	0.00011	0.00057
	Y Yönü	5	0.03366	0.00506	1.68819	0.00153	0.00337
		4	0.02830	0.00407	1.72521	0.00206	0.00496
		3	0.02108	0.00292	1.74423	0.00238	0.00637
		2	0.01276	0.00170	1.76403	0.00231	0.00702
		1	0.00466	0.00062	1.76632	0.00133	0.00472
Örnek 4	X Yönü	5	0.02015	0.00207	1.85714	0.00115	0.00131
		4	0.01612	0.00176	1.84921	0.00133	0.00170
		3	0.01146	0.00138	1.83114	0.00137	0.00198
		2	0.00668	0.00094	1.80039	0.00121	0.00205
		1	0.00244	0.00047	1.67749	0.00070	0.00148
	Y Yönü	5	0.01256	0.00368	1.48000	0.00074	0.00105
		4	0.00997	0.00277	1.53158	0.00083	0.00128
		3	0.00706	0.00188	1.56684	0.00084	0.00142
		2	0.00413	0.00107	1.59579	0.00074	0.00141
		1	0.00155	0.00042	1.57640	0.00044	0.00100

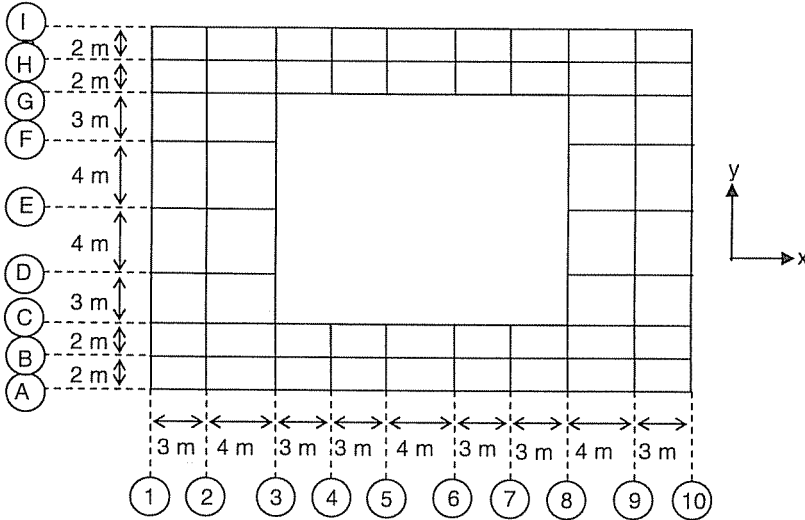
Bu kısımda yapılardaki A2 döşeme süreksizliği düzensizliği incelenmiştir. Buradaki örneklerin eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analizleri yapılmış olup sonuçları aşağıdaki çizelgelerde görülmektedir. Ele alınan örnekler hem kabuk hem de rijit diyafram modeli ile ayrı ayrı çözümlenerek, rijit diyafram modelinin uygun sonuç verip vermediği incelenmiştir. Tüm örneklerin analizleri aynı kalıp planı üzerinde yapılmıştır.

Şekil 5'te görülen yapı ortasında boşluk bulunan bir yapıdır. Bu yapıda brüt kat alanı  $A=30 \times 22=660\text{m}^2$  ve kattaki boşluk alanı  $A_b=16 \times 14=224\text{m}^2$  dir.  $A_b/A=0.34$  olan boşluk oranı, yönetmelikte verilen sınır değeri  $A_b/A=0.33$ 'den büyük olduğundan A2 türü döşeme süreksizliği durumu mevcuttur.

Rijit diyafram modeli ile yapılan çözümde, bütün katlarda  $\eta_{bi}<1.2$  sınır değeri aşılmış olup, görece kat ötelemeleri ve ikinci merteye etkileri bakımından yönetmeliğin verdiği sınır aşılmamaktadır.

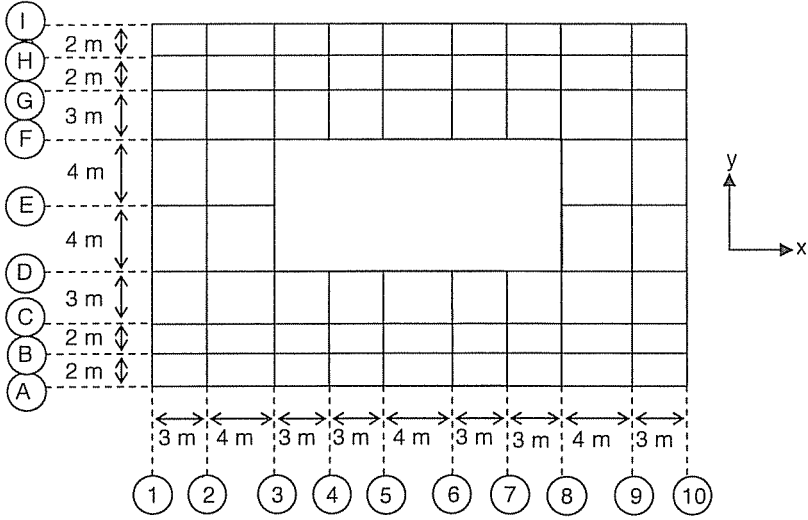
Kabuk modeli ile yapılan çözümde ise, yine bütün katlarda  $\eta_{bi}<1.2$  sınır değeri aşılmış olup, görece kat ötelemeleri ve ikinci merteye etkileri bakımından yönetmeliğin verdiği sınır aşılmamaktadır. Bu yapıya ait sonuçlar Çizelge 3'de sunulmuştur.

Şekil 6'da görülen kalıp planında  $A_b/A=0.19$  olan boşluk oranı ile yapılan analizler sonucunda, hem kabuk modelinde hem de rijit diyafram modelinde  $\eta_{bi}<1.2$  sınır değeri aşılmamaktadır. Bu yapıya ait sonuçlar Çizelge 3'de sunulmuştur.



Şekil 5. Örnek 5'e ait kalıp planı

*TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE PERDE YERLEŞİMİNİN  
ETKİSİ VE A2 DÜZENSİZLİK DURUMUNUN İNCELENMESİ*



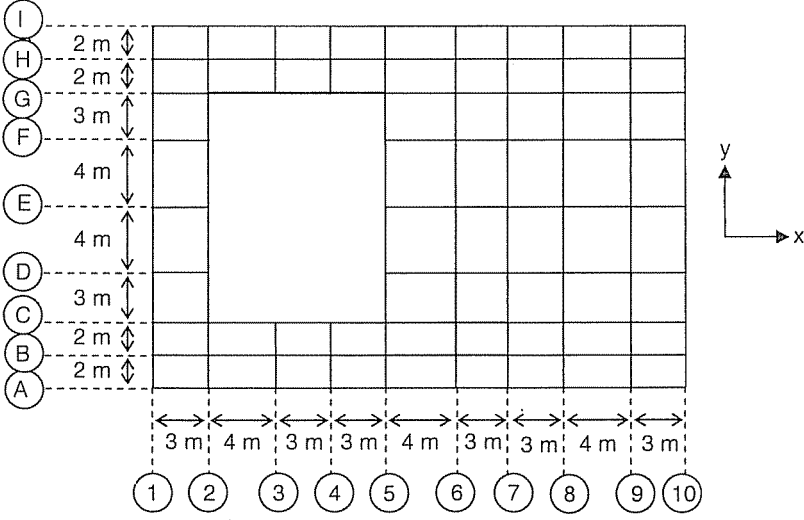
**Şekil 6.** Örnek 6'ya ait kalıp planı

Şekil 7'de görülen yapıda boşluk oranı  $A_b/A=0.21$  ile sınır değerinin altındadır. Bu yapıda boşluk yapının kenarında ve yapıya antisimetrik olarak yerleştirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda, Rijit diyafram modeli ile yapılan çözümde bütün katlarda  $\eta_{bi}<1.2$  sınır değeri aşılmıştır. Göreli kat ötelemeleri ve ikinci mertebe etkileri bakımından yönetmeliğin verdiği sınır aşılmamaktadır.

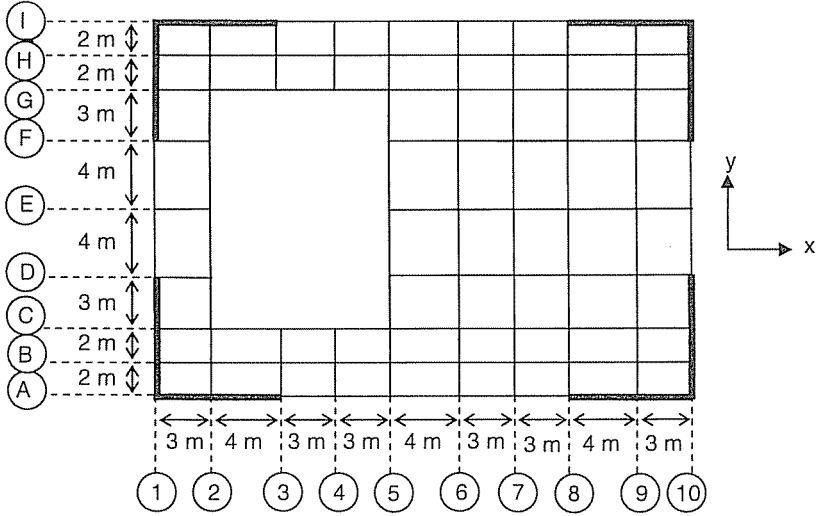
Kabuk modeli ile yapılan çözümde ise yine bütün katlarda  $\eta_{bi}<1.2$  sınır değeri aşılmış olup, göreli kat ötelemeleri ve ikinci mertebe etkileri bakımından yönetmeliğin verdiği sınır aşılmamaktadır. Bu yapıya ait sonuçlar Çizelge 4'de sunulmuştur.

Şekil 8'de ise Şekil 7'deki örneği A2 türü düzensizlik durumundan kurtarmak için yapıya simetrik ve kütle merkezinden uzakta perdeler yerleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda Rijit diyafram modelinde bütün katlarda  $\eta_{bi}<1.2$  sınır değeri, göreli kat ötelemeleri ve ikinci mertebe etkileri bakımından yönetmeliğe uygun sonuç verdiği görülmektedir.

Kabuk modeli ile yapılan çözümde ise yine bütün katlarda  $\eta_{bi}<1.2$  sınır değeri aşılmış olup, göreli kat ötelemeleri ve ikinci mertebe etkileri bakımından yönetmeliğin verdiği sınır aşılmamaktadır. Bu yapıya ait sonuçlar Çizelge 4'de sunulmuştur.



Şekil 7. Örnek 7'ye ait kalıp planı



Şekil 8. Örnek 8'e ait kalıp planı

Çizelge 3. Analizleri yapılan kalıp planlarına ait sayısal sonuçlar

Durum No	Kat No	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$	$\eta_{bi}$	$(\Delta_i)_{max}/h_i$	$\theta_i$	
Örnek 5 (Rijit Diyafram)	X Yönü	5	0.02679	0.02375	1.05808	0.00096	0.004921
		4	0.02342	0.02075	1.05882	0.00152	0.008653
		3	0.01811	0.01603	1.05964	0.00195	0.012560
		2	0.01127	0.00996	1.06110	0.00203	0.014952
		1	0.00415	0.00366	1.06274	0.00119	0.010175
	Y Yönü	5	0.02463	0.01896	1.12568	0.00088	0.004241
		4	0.02154	0.01656	1.13023	0.00139	0.007419
		3	0.01668	0.01282	1.13012	0.00177	0.010692
		2	0.01047	0.00804	1.13074	0.00187	0.012869
		1	0.00394	0.00302	1.13218	0.00113	0.009068
Örnek 5 (Kabuk)	X Yönü	5	0.02138	0.01635	1.13882	0.00069	0.002755
		4	0.01896	0.01452	1.13483	0.00115	0.005153
		3	0.01492	0.01144	1.13006	0.00151	0.007656
		2	0.00962	0.00736	1.12891	0.00165	0.009572
		1	0.00384	0.00290	1.13947	0.00110	0.007367
	Y Yönü	5	0.01951	0.01384	1.16456	0.00066	0.002560
		4	0.01721	0.01219	1.17165	0.00106	0.004596
		3	0.01349	0.00956	1.16953	0.00136	0.006644
		2	0.00873	0.00618	1.16930	0.00148	0.008282
		1	0.00355	0.00250	1.17355	0.00101	0.006613
Örnek 6 (Rijit Diyafram)	X Yönü	5	0.02665	0.02327	1.06774	0.00095	0.004226
		4	0.02334	0.02038	1.06694	0.00150	0.007506
		3	0.01808	0.01578	1.06677	0.00194	0.010929
		2	0.01129	0.00984	1.06757	0.00203	0.013096
		1	0.00418	0.00363	1.07042	0.00119	0.008979
	Y Yönü	5	0.02533	0.01906	1.13768	0.00090	0.003763
		4	0.02219	0.01668	1.14122	0.00142	0.006631
		3	0.01722	0.01294	1.14107	0.00183	0.009615
		2	0.01083	0.00813	1.14213	0.00193	0.011621
		1	0.00408	0.00306	1.14286	0.00117	0.008208
Örnek 6 (Kabuk)	X Yönü	5	0.02618	0.02188	1.09023	0.000829	0.002330
		4	0.02328	0.01946	1.09212	0.001406	0.004407
		3	0.01836	0.01537	1.08739	0.001849	0.006564
		2	0.01189	0.00994	1.08772	0.002037	0.008282
		1	0.00476	0.00396	1.09174	0.001360	0.006441
	Y Yönü	5	0.02520	0.01794	1.16768	0.000826	0.002168
		4	0.02231	0.01588	1.17037	0.001354	0.003962
		3	0.01757	0.01252	1.16777	0.001760	0.005819
		2	0.01141	0.00813	1.16782	0.001929	0.007303
		1	0.00466	0.00332	1.16792	0.001331	0.005895

Çizelge 4. Analizleri yapılan kalıp planlarına ait sayısal sonuçlar

Durum No	Kat No	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$	$\eta_{bi}$	$(\Delta_i)_{max}/h_i$	$\theta_i$	
Örnek 7 (Rijit Diyafram)	X Yönü	5	0.02542	0.02226	1.06355	0.000909	0.004475
		4	0.02224	0.01946	1.06667	0.001440	0.007897
		3	0.01720	0.01505	1.06491	0.001851	0.011469
		2	0.01072	0.00936	1.06698	0.001934	0.013696
		1	0.00395	0.00344	1.06901	0.001129	0.009326
	Y Yönü	5	0.02578	0.01481	1.25646	0.000903	0.003764
		4	0.02262	0.01294	1.26633	0.001440	0.006652
		3	0.01758	0.01002	1.27220	0.001863	0.009660
		2	0.01106	0.00629	1.27407	0.001966	0.011656
		1	0.00418	0.00237	1.27634	0.001194	0.008266
Örnek 7 (Kabuk)	X Yönü	5	0.01853	0.01596	1.07532	0.00059	0.002436
		4	0.01646	0.01418	1.07550	0.00100	0.004585
		3	0.01297	0.01118	1.07368	0.00131	0.006812
		2	0.00838	0.00722	1.07364	0.00144	0.008550
		1	0.00335	0.00288	1.07544	0.00096	0.006647
	Y Yönü	5	0.01905	0.01075	1.25364	0.00061	0.002170
		4	0.01690	0.00947	1.26916	0.00102	0.003964
		3	0.01334	0.00742	1.27846	0.00133	0.005808
		2	0.00868	0.00479	1.28411	0.00147	0.007291
		1	0.00355	0.00193	1.29562	0.00101	0.005847
Örnek 8 (Rijit Diyafram)	X Yönü	5	0.00665	0.00631	1.02422	0.00042	0.000763
		4	0.00517	0.00490	1.02932	0.00045	0.000905
		3	0.00359	0.00341	1.02341	0.00044	0.000994
		2	0.00206	0.00195	1.02614	0.00037	0.000960
		1	0.00077	0.00072	1.02961	0.00022	0.000663
	Y Yönü	5	0.00734	0.00594	1.10067	0.00047	0.000787
		4	0.00570	0.00460	1.10127	0.00050	0.000932
		3	0.00396	0.00318	1.10458	0.00048	0.001017
		2	0.00227	0.00181	1.10810	0.00041	0.000979
		1	0.00085	0.00066	1.12067	0.00024	0.000671
Örnek 8 (Kabuk)	X Yönü	5	0.00550	0.00506	1.03509	0.00034	0.00068
		4	0.00432	0.00396	1.04032	0.00037	0.00083
		3	0.00303	0.00277	1.04098	0.00036	0.00092
		2	0.00176	0.00160	1.04752	0.00031	0.00090
		1	0.00067	0.00061	1.04778	0.00019	0.00065
	Y Yönü	5	0.00656	0.00421	1.20851	0.00041	0.00070
		4	0.00514	0.00328	1.20313	0.00044	0.00086
		3	0.00360	0.00226	1.21600	0.00043	0.00094
		2	0.00208	0.00128	1.23317	0.00037	0.00091
		1	0.00079	0.00048	1.24625	0.00023	0.00064



## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, A2 (döşeme süreksizliği) düzensizliği ile perdeli ve perdesiz yapılar, SAP2000 paket programı kullanılarak incelenmiştir.

Perdeli yapıların modellenmesinde, perdeler kabuk elemanlar ile modellenerek aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

1. Perdeler yapının kütle merkezinden uzaklaştıkça, yapı emniyetinin arttığı ve daha iyi sonuçlar alındığı gözlenmiştir.

2. Perdeleri simetrik olarak yerleştirilen yapıların, perdesiz veya perdeleri simetrik olarak yerleştirilmeyen yapılardan daha emniyetli olduğu ve depreme karşı daha dayanıklı olduğu gözlenmiştir.

3. Perdeleri simetrik yerleştirilen yapılar arasında, deprem yönüne paralel perdeleri olan yapıların diğerlerine göre depreme daha dayanıklı olduğu ve daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Bu nedenle yapılarda perdelerin, yapının kütle merkezinden uzakta, simetrik ve depremin hangi yönden geleceği belli olmadığından her iki eksen doğrultusunda yerleştirilmesi önerilir.

A2 düzensizliği (döşeme süreksizliği) eşdeğer deprem yükü yöntemi içerisinde, kabuk modeli ve rijit diyafram modeli kullanılarak ayrı ayrı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Yapıdaki döşeme boşluğu oranının artmasıyla kabuk modelinin, rijit diyafram modeline göre daha güvenilir sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

2. Yapıda, yönetmeliğinin belirttiği A2 düzensizliği olmadığı ve döşeme boşluğunun kenarda olduğu koşullarda yapının emniyetsiz olduğu gözlenmiştir.

Bu nedenle A2 düzensizliği durumlarında yapı kabuk modeli uygulanarak çözülmelidir. İkinci maddedeki durumda yapıya simetrik ve kütle merkezinden uzağa perdeler yerleştirilmesi önerilir.

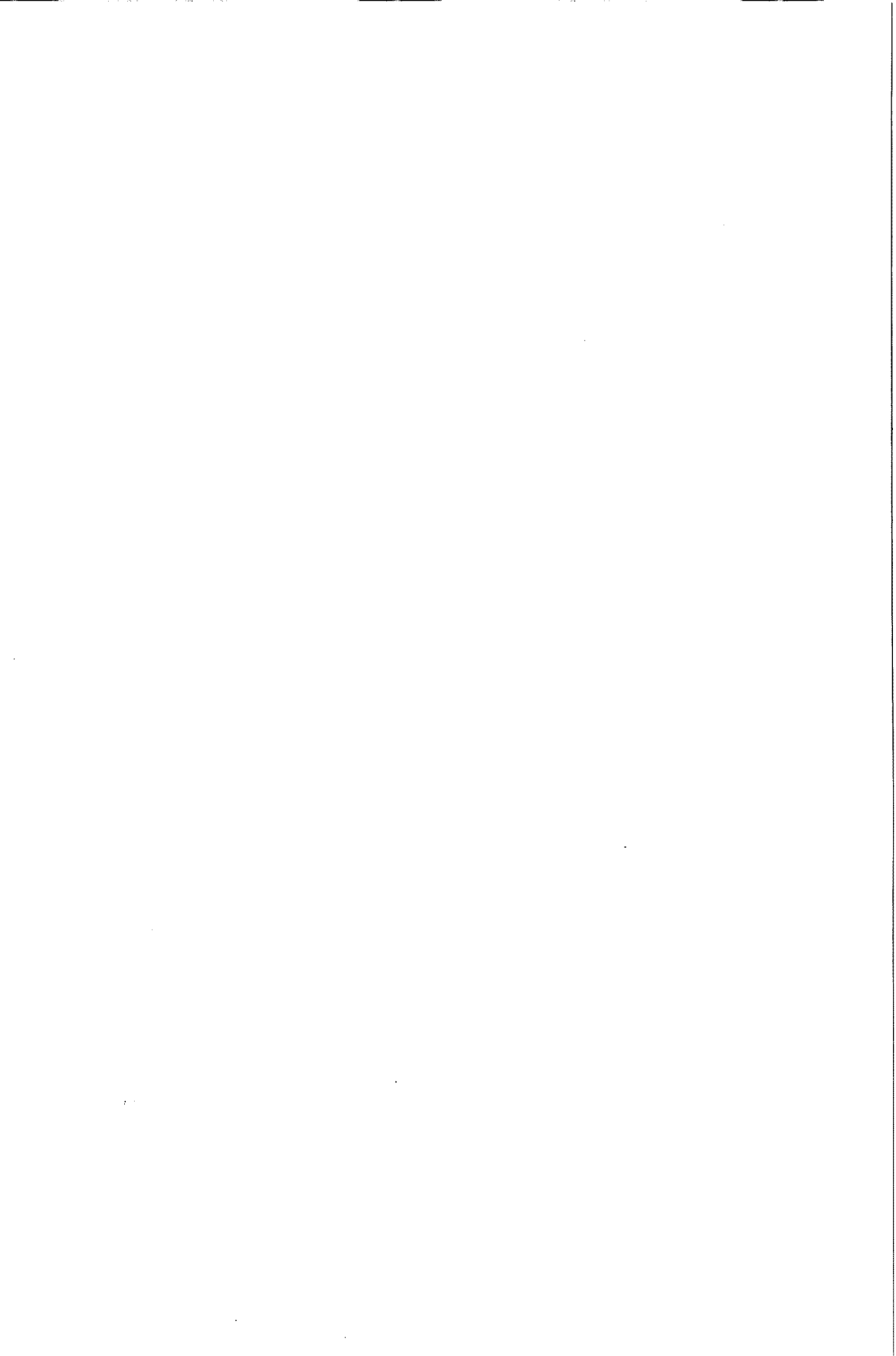
## 6. KAYNAKLAR

1. Kırıl,E., Yerli,H.R., Temel,B. ve Özdemir,E., “Yeni Deprem Yönetmeliğinin Analiz Bakımından Uygulamaları”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Adana Şubesi, 2000.

2. Güllü,E., “Yapıların Deprem Yönetmeliğine Göre Hesabında Perde Yerleşiminin Etkisi ve A2 Düzensizlik Durumunun İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2004.

3. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Eğitim Merkezi, “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir, 1998.

4. Diindar,C., Kırıl,E., Tanrıkkulu,A.K. ve Tokgöz,S., “Yeni Deprem Yönetmeliğine Göre Bina Analiz ve Tasarımı”, Çakmak Ofset (TMMOB) Adana, 1998.



## PLANDA DEĞİŞİK GEOMETRİYE SAHİP ÇOK KATLI BETONARME YAPILARIN ZAMAN-TANIM ARALIĞINDA DİNAMİK ANALİZİ

**Adnan KARADUMAN**

*S.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya/Türkiye*

**H. Murat ARSLAN**

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

**M. Sami DÖNDÜREN**

*S.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya/Türkiye*

**ÖZET :** *Bu çalışmada elips, daire ve kare şeklinde geometriye sahip bina modellerinin deprem davranışlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Her bir model perde sistenli olarak çözülmüştür. Bütün modellerde, zemin kat yüksekliği 3m. alınarak çözümler yapılmıştır. Bu analizlerde çözülen modeller, 15 katlı olarak seçilmiştir. Modellerin yerdeğiştirme sonuçları, taban kesme kuvveti, taban normal kuvveti, taban devrilme momenti ve taban burulma momenti sonuçları araştırılmıştır. Dinamik analizlerin yapılmasında SAP2000 Nonlinear v-6.11 programından faydalanılmıştır. Dinamik analizde "Zaman-Tanım Alanında Hesap Metodu" tercih edilmiştir. Bu hesaplarda 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi yer ivme kayıtları kullanılmıştır.*

**Anahtar Kelimeler :** *Perdeli Sistem, Çerçeve Sistem, Dinamik Analiz, Deprem Davranışı, Değişik Geometri*

### TIME-HYSTORICAL-DYNAMIC ANALYSIS OF DIFFERENT GEOMETRICAL SHAPED BUILDINGS ON PLANE

**ABSTRACT :** *In this study, response of ellipse circular and square shaped buildings against earth quake forces were compared. Each building models were evaluated as a curtain walled system. All the floors had three meters of height in a fifteen-floor-building in all models. Results of displacement, normal and base shear forces, base overturning moment, and torsion moment forces of the building models were analyzed. The SAP2000 Nonlinear V-6.11 programme for was used for time-hystorical-dynamic-analysis. Kocaeli earth quake (August 17 1999) ground acceleration records were used in the analysis of these different building models.*

**Key Words :** *Curtain walled system, Framed system Dynamic Analysis, Earthquake Response.*

## 1. GİRİŞ

Depremlerin çok büyük bir bölümü, yer kabuğunda soğuma veya çeşitli etkilerden meydana gelen şekil değiştirme enerjisinin, ani olarak açığa çıkmasından meydana gelir. Litosfer olarak adlandırılan yerkabuğunu oluşturan levhalar hareket halindedirler. Bu hareketler levha sınırlarında gerilme meydana gelmesine neden olurlar. Litosfer tabakasında meydana gelen, ani ve büyük yer hareketleri sonucunda tektonik deprem oluşur. Bir depremin yıkıcılığı, meydana getirdiği fayın özelliklerine, zemin şartlarına ve depremin odak derinliğine bağlıdır. Örnek olarak, 45 sn süren Marmara depremi sonucunda 120 km civarında yüzey kırığı oluşmuş, bazı bölgelerde 4 m'yi bulan çökmeler olmuştur. Depremin etkili olduğu bölgede zemin alüvyon özellik göstermektedir. Depremin yapıda oluşturacağı hasar ise, zemin hakim periyodunun, yapının doğal periyoduna yaklaşmasına bağlı olarak değişmektedir. Kesinlikle zeminin hakim periyodu ile yapının doğal periyodu çakışmamalıdır [1].

Yüksek yapıların projelendirilmesinde yapı mühendisliği bakımından, deprem ve rüzgar gibi yatay etkiler daha çok önem kazanmaktadır. Bu nedenle yüksek binalara özgü yatay yük taşıyıcı sistemler geliştirilmiştir [2]. Genelde normal binalardaki taşıyıcı sistemler giriş ve kolonlardan oluşmaktadır. Bu tür sistemler gereği gibi hesaplandıkları takdirde düşey yükleri sorunsuz bir biçimde taşıyabilmektedirler. Ancak, yapıya tesir eden rüzgar ve deprem gibi yatay yükler altında, oluşan olumsuz durumu giderebilmek ve yatay ötelenmeyle birlikte 2. mertebe momentlerini azaltmak için perdelerin kullanılması gerekmektedir. Yapı yüksekliği boyunca devam eden perdeler, planda ve düşeyde bulunan düzensizlikleri telafi ederler. Çerçevesel yapıların yanal rijitlikleri yeterli olmadığından, deprem yüklerini kolon-kiriş birleşim bölgelerinde yapacakları deformasyon ve enerji tüketmeleri ile karşılayacaklardır. Bunun gerçekleşmesi için, kolon-kiriş birleşim yerlerinde gerekli etriye sıklaştırması yapılmalıdır [3].

Bu çalışmanın amacı, planda değişik geometriye sahip üç adet yüksek yapının deprem davranışlarının karşılaştırılmasıdır. Çalışmada 15 katlı, 400m<sup>2</sup> alana oturan yapı modelleri dikkate alınmıştır. Zemin kat yüksekliği 3m. olarak seçilen modeller perdeli taşıyıcı sistemler için çözülmüştür. Modellerin statik ve dinamik analizinde, Sonlu Elemanlar Metodu kullanılmıştır. Dinamik Analizde, kesin analiz yöntemlerinden, Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi dikkate alınmıştır. Statik ve dinamik analizlerin yapılmasında, SAP 2000 programından faydalanılmıştır. Zaman Tanım alanına göre yapılan hesapta, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sırasında, Kocaeli Yarımca Petro Kimya Tesislerinden elde edilen gerçek ivme kayıtları esas alınmıştır. Modellerin deprem hesabında, taşıyıcı sistem elemanlarının süneklik düzeyi yüksek kabul edilmiştir.

## 2. MALZEME VE MODELLERLE İLGİLİ KABULLER

Bu kısımda, malzeme ve modellerle ilgili yapılan kabuller ve özellikler açıklanmıştır.

### 2.1. Malzeme Kabulleri

Burada, malzeme sınıfları ve davranışı ile ilgili özellikler verilmiştir.

1. Zemin emniyet gerilmesinin 1,5 kg / cm<sup>2</sup> olduğu,
2. Modellerde kullanılan beton sınıfının BS25 ve donatı sınıfının S420 olduğu,
3. Deprem hesabında, yapı elemanları süneklik düzeyinin yüksek olduğu kabul edilmiştir.

## 2.2. Model Kabulleri ve Özellikleri

Bu kısımda, yapı modelleri ile yapılan kabuller ve modellerin hesabında dikkate alınan özellikler açıklanmıştır.

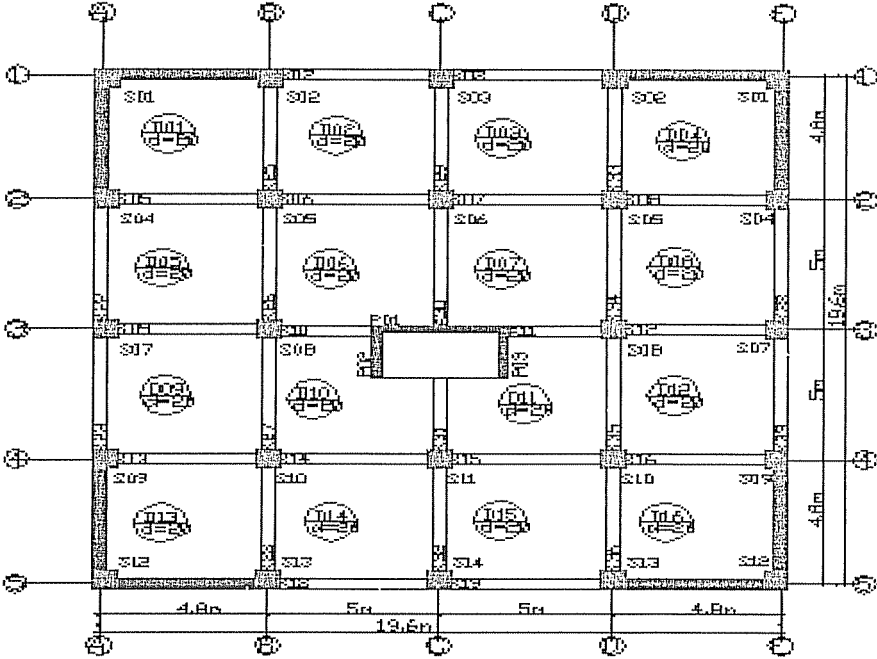
1. Modellerin Kocaeli deprem bölgesinde olduğu kabul edilmiştir.
2. Zaman-Tanım Alanında hesap yapılırken, Kocaeli Yarımca Petro Kimya Tesislerinden alınan deprem yer ivme kayıtları esas alınmıştır.
3. Bu ivme kayıtlarında, depremin 135 saniyelik kısmının etkili olduğu ve 0,01 saniye aralığı için toplam 13500 adım dikkate alınmıştır.
4. Dinamik analizde, her mod için %5 sönüm oranı olduğu kabul edilmiştir. Bu değer A.B.Y.Y.H.Y-97'den alınmıştır. (A.B.Y.Y.H.Y)
5. Döşemelerin kendi düzleminde rijit diyafram olduğu,
6. Kat kütlelerinin kat hizasında ve kat kütle merkezinde toplandığı kabul edilmiştir.
7. Statik ve dinamik analizler, SAP2000 programı kullanılarak yapılmıştır.
8. Hesaplamalar için, kare, elips ve daire olmak üzere üç farklı model seçilmiştir.

## 3. ANALİZ SONUÇLARI

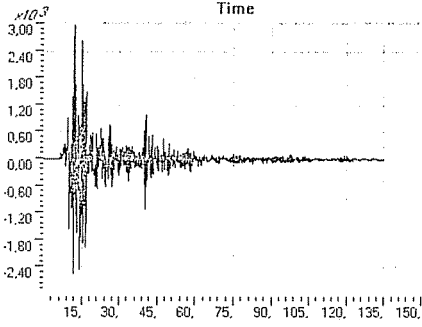
### 3.1. Kare Kesit

Kare şeklinde seçilen binanın ölçüleri 20m.\*20m. olarak belirlenmiştir. Asansör boşluğunun etrafı perde olarak çözülmüştür. Binanın planı Şekil 3.1.1'de gösterilmiştir. Kolon boyutları 80\*80' dir.

Kare kesite ait taban kesme ve normal kuvveti ile taban kesme ve burulma momenti sonuçları aşağıdaki Şekil 3.1.2'de verilmiştir. Bu şekillerde yatay eksen zamanı, düşey eksen ise yükü göstermektedir.



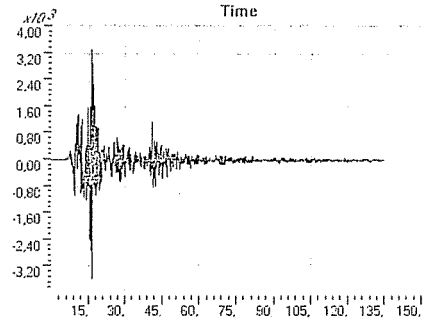
Şekil 3.1.1. Perde Sistemli Kare Kesitin Kalıp Planı



Max: 2982 t  
Min: 2548 t

Zaman (sn)

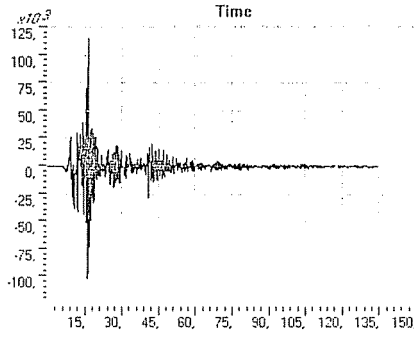
a) Taban Kesme Kuvveti (X) (ton)



Max: 3315 t  
Min: 3554 t

Zaman (sn)

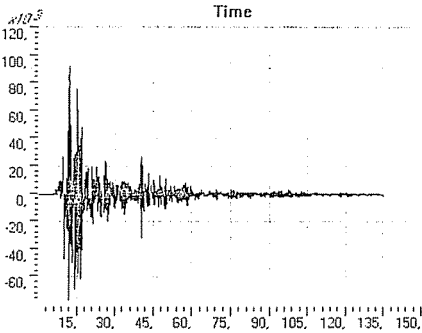
b) Taban Kesme Kuvveti (Y) (ton)



Max: 115000 tm  
Min: 101800 tm

Zaman (sn)

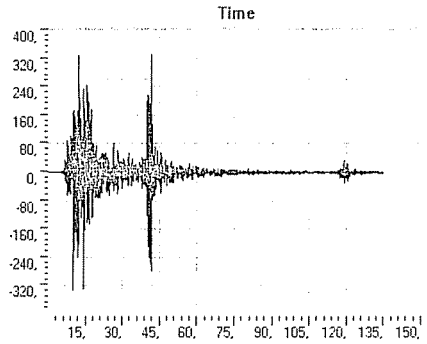
c) Taban Devrilme Momenti (X) (t-m)



Max: 92740 tm  
Min: 76830 tm

Zaman (sn)

d) Taban Devrilme Momenti (Y) (tm)



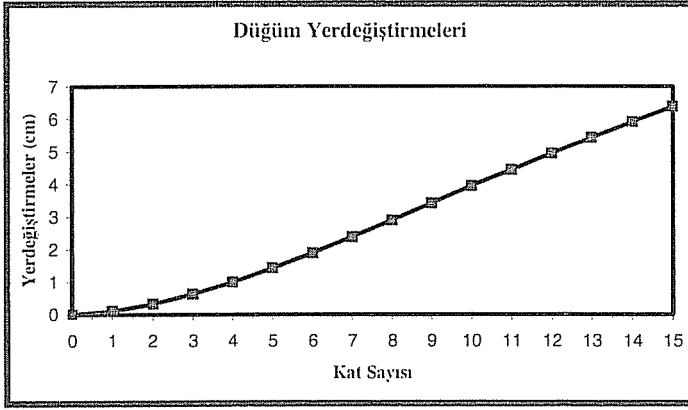
Max: 333.1 tm  
Min: 330.5 tm

Zaman (sn)

e) Taban Burulma Momenti (Z) (tm)

Şekil 3.1.2. Perde Sistemli Kare Modelin Taban Kesme ve Taban Normal Kuvveti, Taban Devrilme ve Taban Burulma Momenti

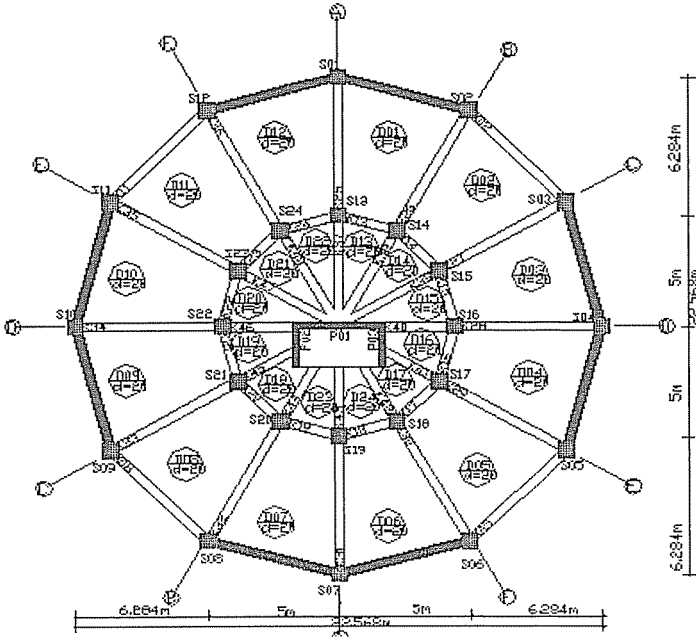
Her katta Y yönünde oluşan yer değiştirmelerin maksimum değerleri Şekil 3.1.3'deki grafikte verilmiştir.



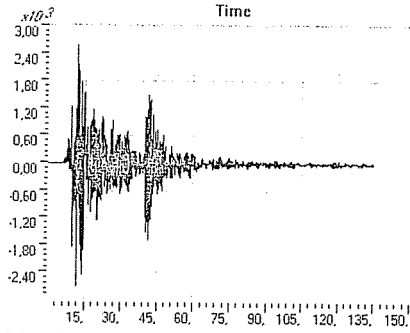
Şekil 3.1.3. Perde Sistemli Kare Modele Ait Yerdeğiştirme-Kat Sayısı Değişim Grafığı

### 3.2. Daire Kesit

Daire şeklinde seçilen modelde, içerde kalan dairenin yarıçapı 5m., dışarıdaki dairenin yarıçapı 11.284m. olarak seçilmiştir. Böylece toplam 400m<sup>2</sup>'lik alan oluşturulmuştur. Kolon boyutları 80\*80 'dir.

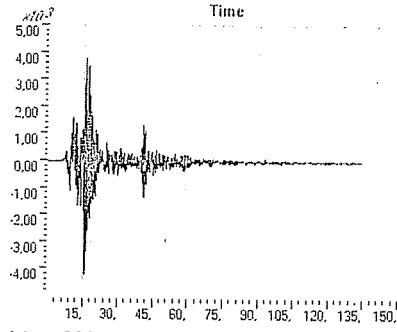


Şekil 3.2.1. Perde Sistemli Daire Kesitin Kalıp Planı



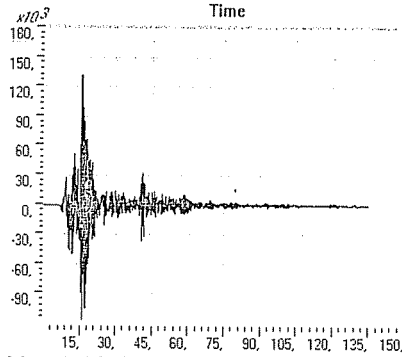
Max: 2606 t  
Min: 2692 t  
Zaman (sn)

a) Taban Kesme Kuvveti (X) (ton)



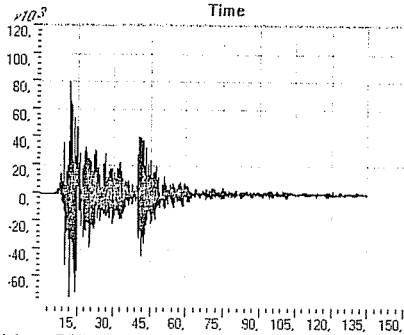
Max: 3230 t  
Min: 4208 t  
Zaman (sn)

b) Taban Kesme Kuvveti (Y) (ton)



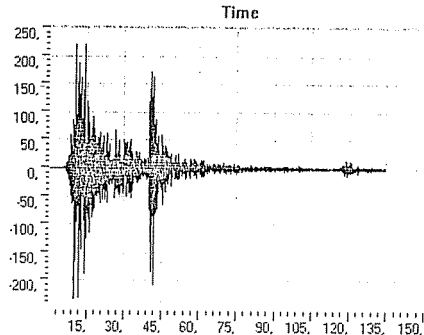
Max: 110900 tm  
Min: 115600 tm  
Zaman (sn)

c) Taban Devrilme Momenti (X) (t-m)



Max: 79960 tm  
Min: 74200 tm  
Zaman (sn)

d) Taban Devrilme Momenti (Y) (t-m)



Max: 220.6 tm  
Min: 233.51 tm  
Zaman (sn)

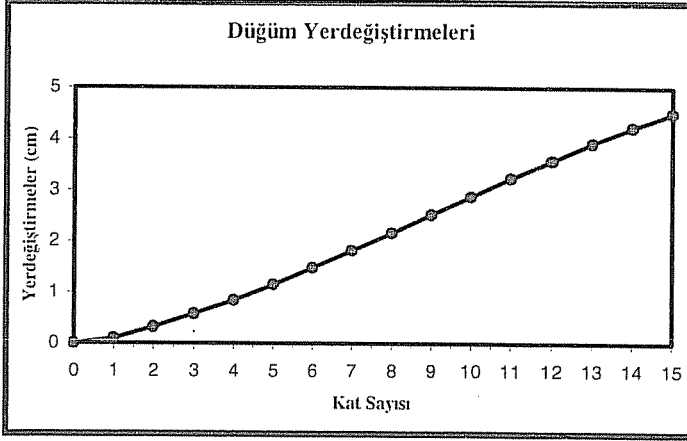
e) Taban Burulma Momenti (Z) (t-m)

Şekil 3.2.2. Perde Sistemli Daire Modelin Taban Kesme ve Taban Normal Kuvveti, Taban Devrilme ve Taban Burulma Momenti



Daire kesite ait taban kesme ve normal kuvveti ile taban kesme ve burulma momenti sonuçları aşağıdaki şekil 3.2.2'de verilmiştir. Bu şekillerde yatay eksen zamanı, düşey eksen ise yükü göstermektedir.

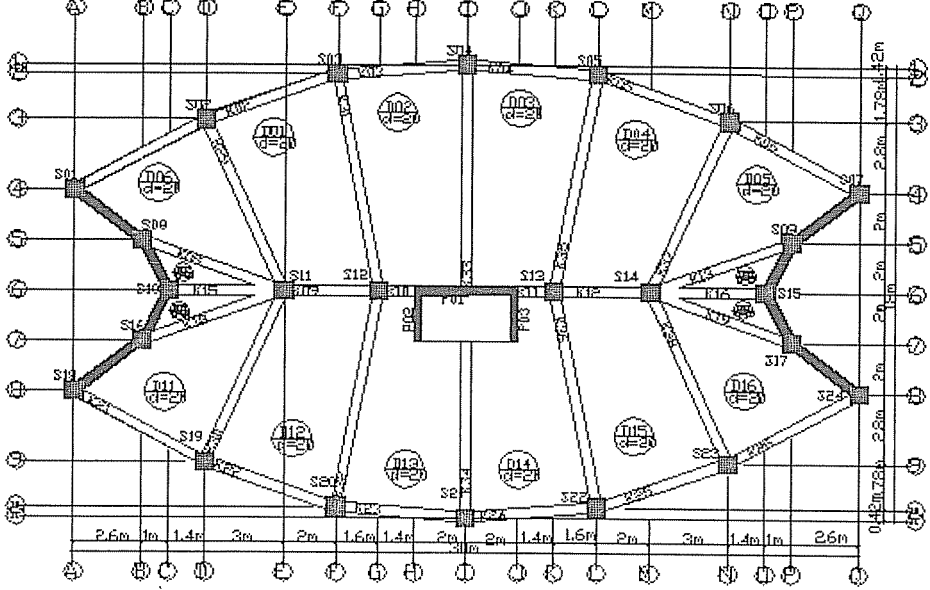
Her katta Y yönünde oluşan yer değiştirmelerin maksimum değerleri Şekil 3.2.3'deki grafikte verilmiştir.



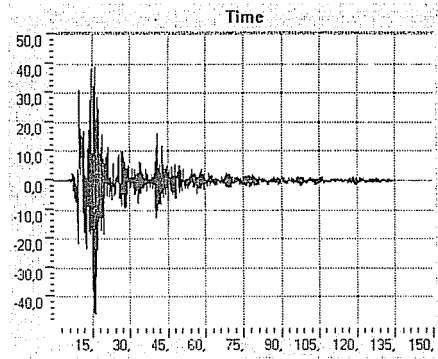
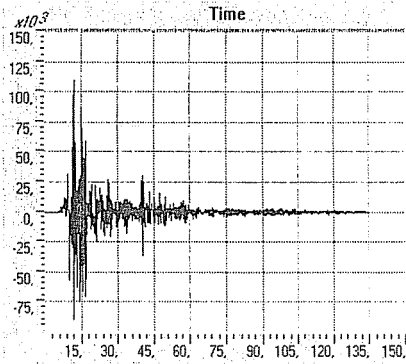
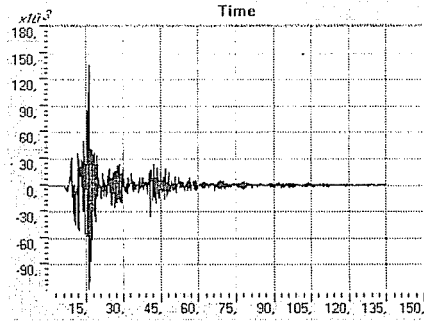
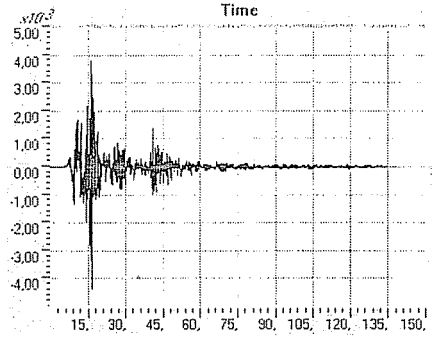
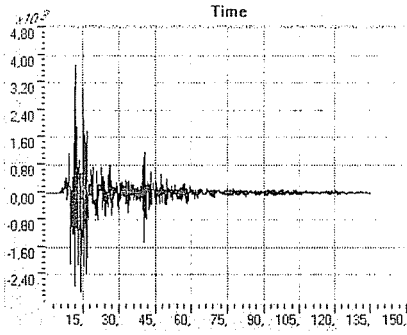
Şekil 3.2.3. Perde Sistemli Daire Modele Ait Yerdeğiştirme-Kat Sayısı Değişim grafiği

### 3.3. Elips Kesit

Elips şeklinde seçilen modelin yatay uzunluğu 30m., düşey uzunluğu 18m. alınarak, toplam  $400m^2$  olarak belirlenmiştir. Kolon boyutları  $80*80$  'dir.



Şekil 3.3.1. Perde Sistemli Elips Kesitin Kalıp Planı

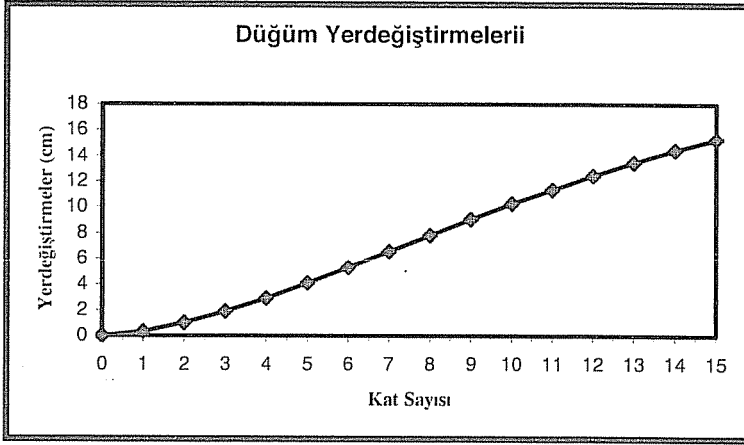


d) Taban Devrilme Momenti (Y) (tm)

e) Taban Burulma Momenti (Z) (tm)

Elips kesite ait taban kesme ve normal kuvveti ile taban kesme ve burulma momenti sonuçları aşağıdaki Şekil 3.3.2’de verilmiştir. Bu şekillerde yatay eksen zamanı, dikey eksen ise yükü göstermektedir.

Her katta Y yönünde oluşan yer değiştirmelerin maksimum değerleri Şekil 3.3.3’deki grafikte verilmiştir.



Şekil 3.3.3 Perde Sistemli Elips Modele Ait Yerdeğiştirme-Kat Sayısı Değişim grafiği

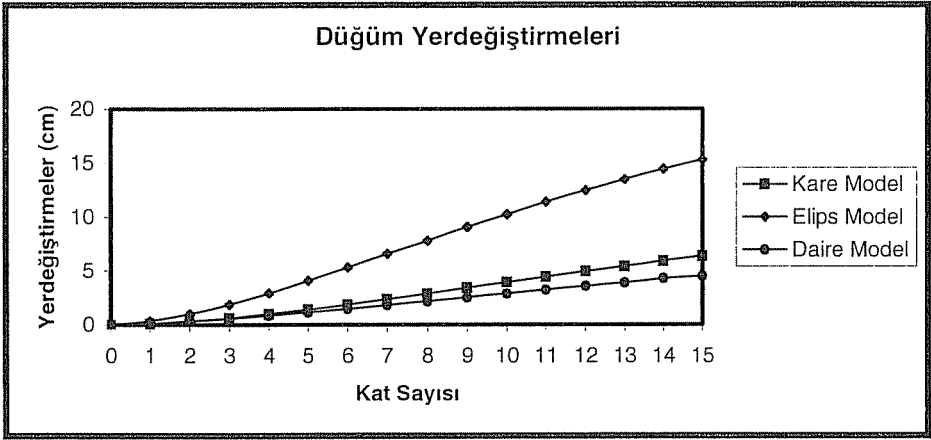
#### 4. SONUÇLAR

Zemin kat yüksekliği 3m. olan elips, kare ve daire şeklindeki modeller için yapılan analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Burada kesme kuvveti ve moment değerleri en yüksek çıkan model elips şeklindeki modeldir. En düşük değerler ise daire şeklindeki modelde bulunmuştur. Sonuçlar aşağıda Tablo 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kesme Kuvveti ve Moment Değerleri

Modeller	Vx (ton)	Vy (ton)	Mx ( tm)	My ( tm)	Mz ( tm)
Kare	2982	3315	115000	92740	333,1
Daire	2606	3230	110900	79660	220,6
Elips	3725	3806	137900	99810	485,10

Bu modeller için yerdeğiştirme-kat sayısı grafiği karşılaştırmaları yapılmıştır. En büyük yerdeğiştirme elips şeklindeki modelde, en düşük yerdeğiştirme daire şeklindeki modelde bulunmuştur. Değerler aşağıda Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Perde Sistemli Modellerin Yerdeğiştirme-Kat Sayısı Grafiği

İnşaa edilecek yapılarda kütle merkezi ile rijitlik merkezinin üst üste düşmesine dikkat edilmelidir.

Deprem bölgesinde yapılan yapılarda A1 burulma düzensizliğinin olmaması için planın düzgün olmasına, kirişlerin sürekli olmasına dikkat edilmelidir.

Ayrıca bu bölgelerde yapılar tasarlanırken daire veya kare şeklinde plana sahip olması yine dikkat edilmesi gereken önemli bir sonuçtur.

## 5. KAYNAKLAR

1. Bayülke, N., "Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yiğma Yapı Tasarımı", 1-10, 23-33, 70-105 T.M.M.O.B. İnşaat Müh. Odası İzmir Şubesi, İzmir, 1993.
2. Celep, Z., Kumbasar, N., "Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı", Sema Matbaacılık, İstanbul, 1993.
3. Aslanbaş, H., "Çok Katlı Perde-Çerçeve Yapıların Deprem Yükleri Altında Dinamik Analizi", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1994.

## FİBER ÇUBUKLARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ TABAKALI PLAKLARIN PLAK DÜZLEMİNE DİK YÜKLEME ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞI

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

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

### THE BEHAVIOUR OF FIBER-REINFORCED LAMINATED PLATES UNDER THE EFFECTS OF THE VERTICAL LOADING TO PLATE SURFACE

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

\*Bu proje Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir. Proje No: MMF.2004.YL.31

## 1. GİRİŞ

Kompozit malzeme, belirli bir amaca yönelik olarak, en az iki farklı maddenin biraraya getirilmesiyle meydana gelen malzeme grubudur. Üç boyutlu nitelikteki bu biraraya getirmede amaç, bileşenlerin hiçbirinde tek başına mevcut olmayan bir özelliğin elde edilmesidir. Diğer bir deyişle, amaçlanan doğrultuda bileşenlerinden daha üstün özelliklere sahip bir malzeme üretilmesi hedeflenmektedir. Kompozit malzemeye, "Çok Bileşenli Malzeme", "Çok Fazlı Malzeme" "Donatılı Malzeme" ve "Pekiştirilmiş Malzeme" gibi adlar da verilmektedir. (1)

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

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

Bazı özel durumlarda plakların bazı özelliklerinin iyileştirilmesi istenir. Bu iyileştirmeler ile istenilen özelliklere sahip plakların elde edilmesi sağlanır. Örneğin tabakalı kompozit plaklarda olduğu gibi zayıf ve güçlü malzemelerin belirli ölçülerde biraraya getirilmesi ile veya tabaka açılarının değişimi ile bu iyileştirmeler sağlanabilir.

Tabakalı kompozit plaklar çok çeşitli tabaka dizilimlerine sahip olabilmektedirler ve bu tabaka dizilimlerine bağlı olarak farklı tabaka rijitlikleri gösterirler. Bu tabaka rijitliklerinin iyi anlaşılması ile, istenilen amaca en uygun tabakalanma çeşidine ulaşmak mümkün olur.

Plaklar her zaman geometri ve yükleme açısından elverişli özelliklere sahip olmayabilirler ve bu tip özelliklere sahip plakların analizi için yaklaşık yöntemler yeterli olmayabilir. Bundan dolayı, geniş işlem hacmine sahip olan ancak bilgisayar desteğiyle bu sorunu aşan Sonlu Farklar, Sınır Eleman ve Sonlu Elemanlar Yöntemi gibi bazı sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden Sonlu Elemanlar Yöntemi, sistematik olması, her türlü yapıya kolaylıkla uygulanabilmesi ve programlamaya elverişli olmasından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yönteminde, analizi yapılan plağın geometrisine ve istenilen hassasiyete göre plağa sonlu eleman ağı uygulanmaktadır.

Bu çalışmada, tabakalı kompozit plakların farklı tabakalanma şekillerine göre tabaka rijitliklerinde ve tabaka iç kuvvetlerinde meydana gelen değişim incelenmiştir. Bu değişimin bilinmesi, tabakalanma davranışının anlaşılması için gereklidir.

Bu çalışmada kullanılan yöntem, değişkenlerine ayırma yöntemidir. Bu yöntemde plak koordinatı  $x$  fonksiyonu ve  $y$  fonksiyonuna ayrılmaktadır. Ayrıca yük ve deplasman fonksiyonları da  $x$  ve  $y$  değişkenlerine bağlı olarak yazılabilmektedir. Plak için düzgün yayılı yükleme tipi seçilmiş ve Navier (1824) çözümü ile değişkenlerine ayrılan yük fonksiyonu çözüm için basit bir hale dönüştürülmüştür. Elde edilen diferansiyel denklemler basit mesnetli durum için sınır şartlarına maruz bırakılmış ve

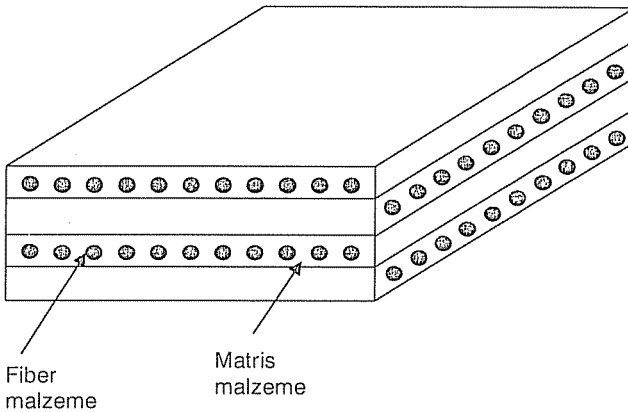
sınır şartlarını sağlayan  $u$ ,  $v$ , ve  $w$  deplasman fonksiyonları değişkenlerine ayırma yöntemiyle elde edilmiştir. Bu deplasman fonksiyonları diferansiyel denklemde yerine konularak çözüme ulaşılmıştır.

Bu çalışmada, mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan ANSYS paket programı ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analizler yapılmaktadır. Ayrıca, tabakalanma teorisi yardımıyla çeşitli sınırlandırmalar ve varsayımlar ile basite indirgenen problemlerin çözümü için denge denklemleri kullanılarak Mathematica adlı bilgisayar programı yardımıyla, çözümler yapılmaktadır.

Çalışma sonunda, önerilen yöntem ve literatürde mevcut olan ANSYS paket programı ile çözülen örneklerin sonuçları sunulmuştur.

## 2. TABAKALARIN MAKROMEKANİK ANALİZİ

Yapılar genellikle tek tabakalı bloklardan meydana gelir, bundan dolayı, bu tek tabakalı yapıların mekanik analizini anlamak, çok tabakalıdan önce gelir. Tek bir kompozit tabaka bile homojen ve izotrop değildir. Çünkü tabaka, homojen-izotrop fiber elemanlarla homojen-izotrop matris elemanların birleşmesiyle meydana gelmesine rağmen, tabaka rijitlikleri, noktanın fiberlerde, matrisde veya fiber-matris arasındaki bir bölgede olup olmamasına göre, noktadan noktaya çeşitlilik gösterir. Bu durum, çok karışık mekanik tabaka modellerinin oluşmasına neden olur. Bu sebeple, tabakaların makromekanik analizinde tabakaların homojen olduğu kabul edilerek, ortalama malzeme özellikleri temel alınır (Şekil 1).



**Şekil 1.** Tabakalı kompozit elemanda fiber ve matris malzemelerin görüntümü

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

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

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

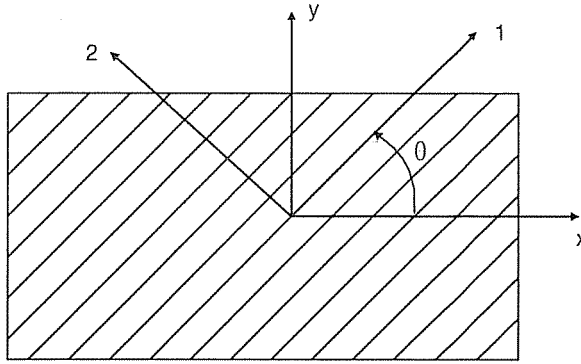
$$\begin{aligned} Q_{11} &= \frac{E_1}{1 - \nu_{21}\nu_{12}} \\ Q_{12} &= \frac{\nu_{12}E_2}{1 - \nu_{21}\nu_{12}} \\ Q_{22} &= \frac{E_2}{1 - \nu_{21}\nu_{12}} \\ Q_{66} &= G_{12} \end{aligned} \quad (2)$$

Tek doğrultulu tabakalarda, enine doğrultudaki düşük mukavemet özellikleri ve düşük rijitlikler sebebiyle, tabakalanma genellikle sadece tek doğrultulu tabakalardan meydana gelmez. Bundan dolayı bazı tabakalar belirli açılarla tabakalanma içerisinde yer alır. Bu durumun bir sonucu olarak açılı tabakalarda gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Açılı tabakalar için verilen koordinat sistemi Şekil 2'de görülmektedir. 1-2 koordinat sistemindeki aks, lokal aks veya malzeme aksı olarak adlandırılır. 1 doğrultusu fiberlere paraleldir ve 2 doğrultusu fiberlere diktir.  $x - y$  koordinat sistemi global aks olarak isimlendirilir. İki koordinat sistemi arasında  $\theta$  açısı bulunmaktadır ve açılı tabakalardaki global ve lokal gerilmeler bu  $\theta$  tabaka açısına bağlıdır. Global ve local gerilmeler arasındaki ilişki transformasyon matrisi yardımıyla sağlanır.

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \quad (3)$$





Şekil 2. Açılı tabakalarda global ve lokal akslar (2)

Burada [T] transformasyon matrisi olarak adlandırılır ve aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$[T] = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & 2sc \\ s^2 & c^2 & -2sc \\ -sc & sc & c^2 - s^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$c = \cos \theta \quad s = \sin \theta \quad (5)$$

Transformasyon matrisinin tersi,

$$[T]^{-1} = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & -2sc \\ s^2 & c^2 & 2sc \\ sc & -sc & c^2 - s^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

şeklindedir.

Denklem (1)' de lokal akslardaki gerilme-şekil değiştirme ilişkisi kullanılarak ,denklem (3) şu şekilde yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1} [Q] \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Global ve lokal şekil değiştirmeler, birbirlerine transformasyon matrisiyle bağlanır.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12}/2 \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy}/2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Yukarıdaki denklemi şu şekilde yazabiliriz.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = [R] [T] [R]^{-1} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Burada [R], Reuter matristir ve aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$[R] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Denklem (9), (7) de yerine koyulursa

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1} [Q] [R] [T] [R]^{-1} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (11)$$

elde edilir. Denklem (11) açık şekilde yazılırsa,

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

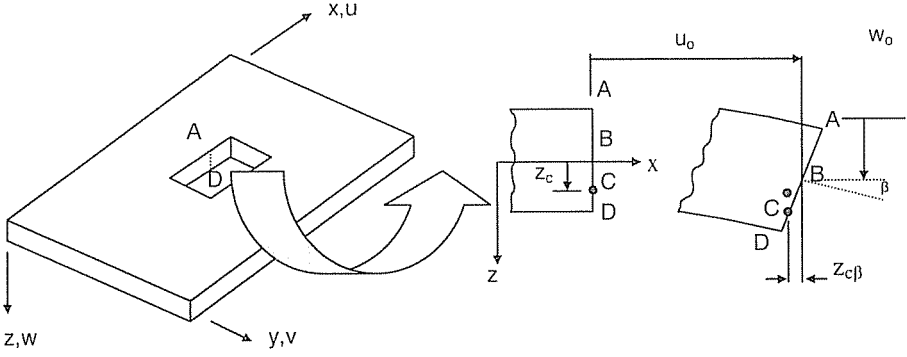
olur. Burada  $[\bar{Q}_{ij}]$  transformasyona uğramış elemanın indirgenmiş rijitlik matrisi olarak adlandırılır.

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

Bir tabakadaki, herhangi bir noktanın şekil değiştirmesine, Şekil 3.'de görülen kesitin, deforme olan ve deforme olmayan geometrisine göre karar verilir. Şekil 3' deki B noktası orta düzlem üzerindedir ve x doğrultusundaki  $u_0$ ' ın B noktasındaki yaptığı deplasmanla, şekli deforme olmamış halden deforme olmuş hale dönüşür. Kirchoff hipotezindeki kabullerden dolayı ABCD şekli tabakanın deformasyonu altında doğrusal olarak kalır. Keyfi olarak seçilen bir C noktasındaki deplasman

$$u_c = u_0 - z_c \beta \quad (13)$$

olarak ifade edilir.



Şekil 3. x-z düzleminde deformasyon (3)

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

$$\beta = \frac{\partial w_o}{\partial x} \quad (14)$$

Tabaka kalınlığı boyunca herhangi bir z noktasındaki u deplasmanı

$$u = u_o - z \frac{\partial w_o}{\partial x} \quad (15)$$

olarak yazılır. Benzer şekilde aynı işlemler y doğrultusundaki v deplasmanı için yapılır.

$$v = v_o - z \frac{\partial w_o}{\partial y} \quad (16)$$

Kirchoff hipotezine göre  $\varepsilon_z = \gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0$  dır.  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$  ve  $\gamma_{xy}$  ise sıfırdan farklıdır. Şekil değiştirmeler açısından deplasmanlar aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \quad (17)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \quad (18)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \quad (19)$$

Denklem (15) ve (16), denklem (17), (18) ve (19)' da uygulanırsa aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$\epsilon_x = \frac{\partial u_0}{\partial x} - z \frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} \quad (20)$$

$$\epsilon_y = \frac{\partial v_0}{\partial y} - z \frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} \quad (21)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u_0}{\partial y} + \frac{\partial v_0}{\partial x} - 2z \frac{\partial w_0}{\partial x \partial y} \quad (22)$$

Birim deformasyonlar matris formunda aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \epsilon_x^0 \\ \epsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{Bmatrix} + z \begin{Bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \end{Bmatrix} \quad (23)$$

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

$$N_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x dz$$

$$N_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y dz \quad (24)$$

$$N_{xy} = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xy} dz$$

$$M_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x z dz$$

$$M_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y z dz \quad (25)$$

$$M_{xy} = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xy} z dz$$

Denklem (12) ve (23), denklem (24) ve (25) de yerine yazılırsa

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{Bmatrix} = \sum_{k=1}^n \left( \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix}_k \left( \int_{h_{k-1}}^{h_k} \begin{Bmatrix} \epsilon_x^0 \\ \epsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{Bmatrix} dz + \int_{h_{k-1}}^{h_k} \begin{Bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \end{Bmatrix} z dz \right) \right) \quad (26)$$

$$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \sum_{k=1}^n \left( \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix}_k \left( \int_{h_{k-1}}^{h_k} \begin{Bmatrix} \epsilon_x^0 \\ \epsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{Bmatrix} z dz + \int_{h_{k-1}}^{h_k} \begin{Bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \end{Bmatrix} z^2 dz \right) \right) \quad (27)$$

denklemleri elde edilir. Burada

$$\begin{aligned} A_{ij} &= \sum_{k=1}^n (\bar{Q}_{ij})_k (h_k - h_{k-1}) \\ B_{ij} &= \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (\bar{Q}_{ij})_k (h_k^2 - h_{k-1}^2) \\ D_{ij} &= \frac{1}{3} \sum_{k=1}^n (\bar{Q}_{ij})_k (h_k^3 - h_{k-1}^3) \end{aligned} \quad (28)$$

olarak kabul edilerek denklem (26) ve (27) aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x^0 \\ \epsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \end{Bmatrix} \quad (29)$$

$$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x^0 \\ \epsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ D_{12} & D_{22} & D_{26} \\ D_{16} & D_{26} & D_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \end{Bmatrix} \quad (30)$$

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

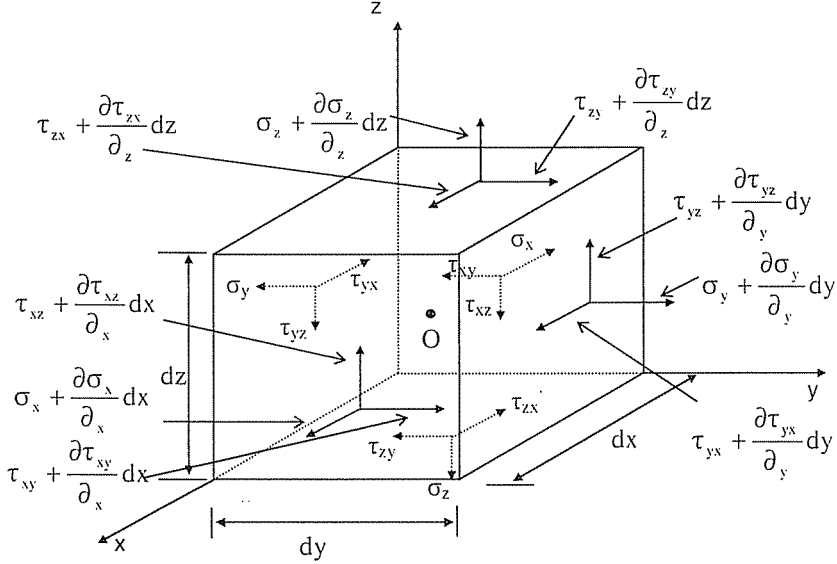
## 2.2 Tabakalı Kompozit Plakları İdare Eden Denge Denklemleri

Boyutları dx, dy ve dz olan sonsuz küçük kübik bir elemanda, kuvvet ve momentlerin dengesi hesaba katılarak, bir 'o' noktası için denge denklemleri elde edilir. (Şekil 3)

Denge denklemleri yazılırken, her bir tabakanın ortotropik olduğu, plağın kalınlığının uzunluğu ve genişliğine göre çok küçük olduğu, hiç bir kütleli kuvvetin

mevcut olmadığı, deplasmanların ( $u$ ,  $v$  ve  $w$ ) plak kalınlığı yanında çok küçük olduğu ve Kirchoff Hipotezi'nin geçerli olduğu varsayılmıştır.

Şekil 4'den yararlanarak  $x$ ,  $y$ , ve  $z$  doğrultularında denge denklemleri yazılabilir.



Şekil 4.  $dx dy dz$  boyutundaki kübik elemandaki gerilmeler.

$x$  doğrultusunda denge yazılarak

$$\left( \sigma_x + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} dx - \sigma_x \right) dy dz + \left( \tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dy - \tau_{yx} \right) dx dz + \left( \tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz - \tau_{zx} \right) dx dy + F_x dx dy dz = 0 \quad (31)$$

denklemini elde edilir

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

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + F_x &= 0 \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + F_y &= 0 \\ \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + F_z &= 0 \end{aligned} \quad (32)$$

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

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{N_{,xy}}{\partial y} + \bar{F}_x &= 0 \\ \frac{\partial N_y}{\partial y} + \frac{N_{,xy}}{\partial x} + \bar{F}_y &= 0 \\ \frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 M_{,xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} + p + \bar{F}_z &= 0 \end{aligned} \quad (33)$$

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

$$\begin{aligned} N_{,xx} + N_{,yy} &= 0 \\ N_{,yx} + N_{,xy} &= 0 \\ M_{,xx} + 2M_{,xy} + M_{,yy} &= -p \end{aligned} \quad (34)$$

Yukarıdaki denklemler açık şekilde yazılırsa;

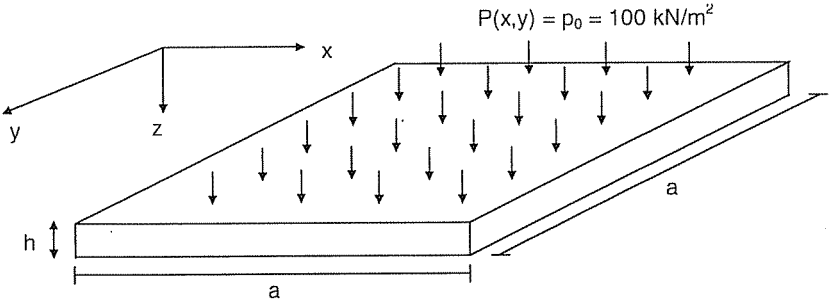
$$\begin{aligned} A_{11}u_{,xx} + 2A_{16}u_{,xy} + A_{66}u_{,yy} + A_{16}v_{,xx} + (A_{12} + A_{66})v_{,xy} + A_{26}v_{,yy} - B_{11}w_{,xxx} \\ - 3B_{16}w_{,xxy} - (B_{12} + 2B_{66})w_{,xyy} - B_{26}w_{,yyy} &= 0 \\ A_{16}u_{,xx} + (A_{12} + A_{66})u_{,xy} + A_{26}u_{,yy} - A_{66}v_{,xx} + 2A_{26}v_{,xy} + A_{22}v_{,yy} - B_{16}w_{,xxx} \\ - (B_{12} + 2B_{66})w_{,xxy} - 3B_{26}w_{,xyy} - B_{22}w_{,yyy} &= 0 \\ D_{11}w_{,xxxx} + 4D_{16}w_{,xxx} + 2(D_{12} + 2D_{66})w_{,xxy} + 4D_{26}w_{,xyy} + D_{22}w_{,yyy} \\ - B_{11}u_{,xxx} - 3B_{16}u_{,xxy} - (B_{12} + 2B_{66})u_{,xyy} - B_{26}u_{,yyy} - B_{16}v_{,xxx} \\ - (B_{12} + 2B_{66})v_{,xxy} - 3B_{26}v_{,xyy} - B_{22}v_{,yyy} &= p(x, y) \end{aligned} \quad (35)$$

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

### 3. SAYISAL ÖRNEKLER

#### ÖRNEK.1

Bu örnekte üniform yayılı yük etkisinde kalan, kenarlarından basit mesnetlenmiş izotropik kare plak göz önüne alınmıştır (Şekil.5). Plak malzemesi olarak çelik ve alüminyum seçilmiş olup malzeme özellikleri  $E_c = 2.1 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ ,  $E_a = 0.724 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ ,  $\nu_c = 0.26$ ,  $\nu_a = 0.3$  tür. Plak bu ilk örnekte tek tabakalı olarak ele alınacaktır. Analizler, plak kenarı  $a$  ile, plak kalınlığı  $h$  arasındaki oran,  $a/h = 100$  ve  $a/h = 50$  olarak iki kez yapılacaktır. Problem önce değişkenlerine ayırma yöntemi (D.A.Y) ile elde edilen formülasyonla Matematica programı yardımıyla sonra, ANSYS paket programıyla çözülecektir. Analizlerde  $20 \times 20$  sonlu elemanlar ağı kullanılmıştır.



Şekil 5. Üniform yüklü kare plak

Çizelge 1. Plak ortası düşey deplasmanların karşılaştırılması (mm)

a/h	Malzeme Çeşidi	Plak ortası deplasman değerleri (w)		
		D.A.Y	ANSYS	Fark (%)
50	Tek tabakalı çelik	3.246	3.312	1.99
	Tek tabakalı alüminyum	9.190	9.368	1.90
100	Tek tabakalı çelik	25.973	26.221	0.94
	Tek tabakalı alüminyum	73.525	74.194	0.90

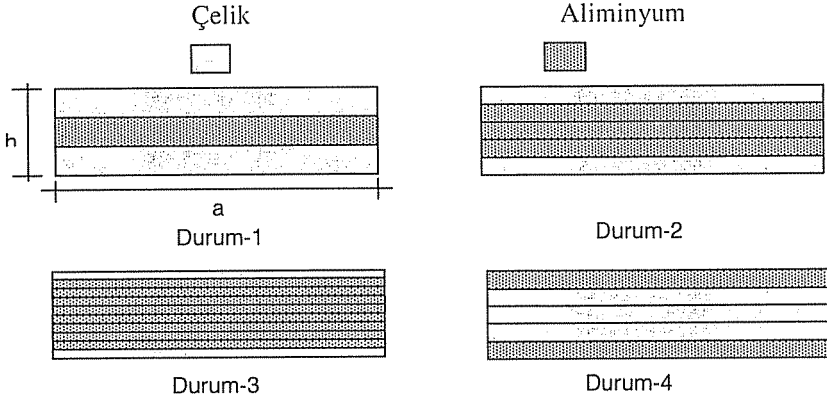
Anolitik çözüm ile ANSYS çözümü birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Düşey deplasman sonuçları arasında yaklaşık olarak % 1-2 arasında bir fark mevcuttur. Bu farkın en önemli nedeni iki yöntemde farklı çözüm yollarının kullanılması, farklı sınırlandırmalar ve varsayımların yapılmasıdır. Ayrıca plak kenarının plak kalınlığına oranı da sonucu etkilemektedir. Beklendiği üzere plak incelidikçe sonuçlar birbirine yaklaşmaktadır. Bunun sebebi değişkenlere ayırma yönteminde ince plaklar için geçerli olan bazı kabullerin yapılmış olmasıdır. Doğal olarak plak kalınlaştıkça bu kabullerin geçerliliği gitgide azalacak ve sonuçlar gerçek sonuçlardan uzaklaşacaktır. Çizelge 1' de görüldüğü gibi  $a/h=50$  iken %2 mertebesinde olan fark  $a/h=100$  iken %0.9 mertebesine



düşmüştür, yani plak inceldikçe ANSYS sonuçları ile analitik çözüm sonuçları birbirine yaklaşmaktadır.

## ÖRNEK.2

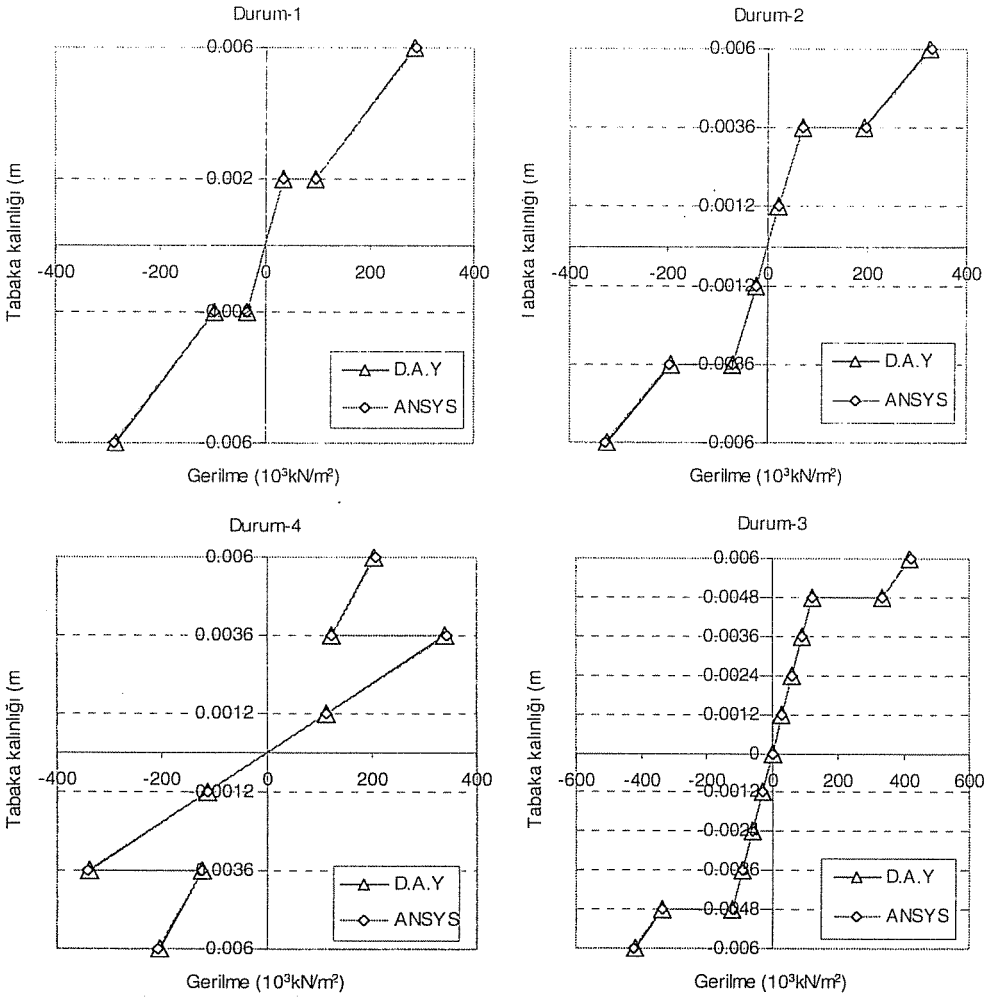
Bu örnekte  $q=100\text{kN/m}^2$  değerinde üniform yayılı yük etkisinde kalan, kenarlarından basit mesnetlenmiş tabakalı kare plak göz önüne alınmıştır. Her bir tabaka kendi içinde izotrop olup plak malzemesi olarak çelik ve aliminyum seçilmiştir, malzeme özellikleri  $E_{ç} = 2.1 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ ,  $E_{a} = 0.724 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ ,  $\nu_{ç} = 0.26$ ,  $\nu_{a} = 0.3$  tür. Plak ilk olarak en dıştaki tabakalar çelik aradaki tabaka aliminyum olacak şekilde (Durum-1) üç tabaka olarak ele alınmıştır (Şekil 6.). Daha sonra en dıştaki tabakalar çelik içteki üç tabaka aliminyum olacak şekilde (Durum-2) beş tabaka olarak incelenmiştir (Şekil 6.). Daha sonra en dıştaki tabakalar çelik içteki sekiz tabaka aliminyum olacak şekilde (Durum-3) on tabaka olarak incelenmiştir (Şekil 6.). Son olarak en dıştaki tabakalar aliminyum içteki üç tabaka çelik olacak şekilde (Durum-4) beş tabaka olarak incelenmiştir (Şekil 6.). Analizler, plak kenarı  $a$  ile, plak kalınlığı  $h$  arasındaki oran,  $a/h = 100$  olacak şekilde yapılmıştır. Her bir tabakanın kalınlığı eşit ve toplam tabaka kalınlığı sabittir. ANSYS paket programıyla yapılan analizlerde SHELL91 adı ile tanımlanan sekiz düğümlü altı serbestlik dereceli elemanlar kullanılmıştır.



Şekil 6. Örnek 2 deki dört farklı tabakalanma durumu

Çizelge 2. Plak ortası düşey deplasmanların karşılaştırılması (mm)

Malzeme Çeşidi	Plak ortası deplasman değerleri (w)		
	D.A.Y	ANSYS	Fark %
3 tabakalı plak (Durum-1)	26.610	26.897	1.07
5 tabakalı plak (Durum-2)	30.190	30.537	1.13
10 tabakalı plak (Durum-3)	38.831	39.271	1.12
5 tabakalı plak (Durum-4)	52.689	53.080	0.74



Şekil 7.  $\sigma_x$  gerilmelerinin tabaka kalınlığına bağlı olarak değişimi

Analizlerde tabaka sayısı artırılmış ve artan tabaka sayısına göre sonuçlar irdelenmiştir. Durum-1 her bir tabakanın en kalın olduğu durumdur. Tabaka sayısı arttıkça plağın toplam kalınlığı değişmediği halde her bir tabakanın kalınlığı azalmaktadır. Durum-1 de güçlü tabaka olan çelik tabakanın toplam kalınlığı 0.008m Durum-2 de 0.0048m ve Durum-3 de 0.0024m dir. Durum-1 den Durum-2 ye geçilirken her bir tabakanın kalınlığı %40 oranında azaldığı halde, çökme miktarı %12 civarında artmaktadır. Durum-1 den Durum-3 e geçilirken her bir tabakanın kalınlığı yaklaşık %70 oranında azaldığı halde, çökme miktarı %30 civarında artmaktadır. Bu sonuçlar göstermektedir ki, güçlü tabakaların orta düzleme göre en dış kenarda tutulması şartıyla,

tabaka sayısının artırılıp tabaka kalınlığının inceltmesi ile daha ekonomik tabakalanma çeşitleri elde edilebilir (örneğin sandviç tipi tabakalanma). Ancak güçlü tabakaların orta düzleme yakın tutulması bizi tam aksi bir sonuca götürür. Durum-4 de görüldüğü gibi, güçlü eleman olan çelik daha fazla kullanılmasına rağmen ( çelik tabakaların toplam kalınlığı 0.0072m ) çökme miktarında çok aşırı bir artış meydana gelmiştir (Çizelge 2). Şöyle ki, Durum 2 ve Durum-4 de plak 5 tabakaya ayrılmıştır. Durum-4 de Durum-2 ye göre daha fazla miktarda çelik eleman kullanılmasına rağmen yaklaşık olarak iki kat daha fazla çökme meydana gelmiştir.

Şekil 7’de görüldüğü gibi ANSYS ve D.A.Y sonuçları birbirleriyle örtüşmüştür. Durum-1-2 ve 3 te dıştaki rijit tabakalarda gerilme değerlerinde artış meydana gelmiştir. Şekil 7.’de görülen Durum-4 de daha rijit kısmın iç tabakalarda bulunmasından dolayı maksimum gerilme en dış tabakalarda oluşmamış iç tabakalarda oluşmuştur. Tüm durumlarda tabakalanmanın orta düzleminde  $\sigma_x$  gerilmeleri sıfırdır.

### ÖRNEK.3

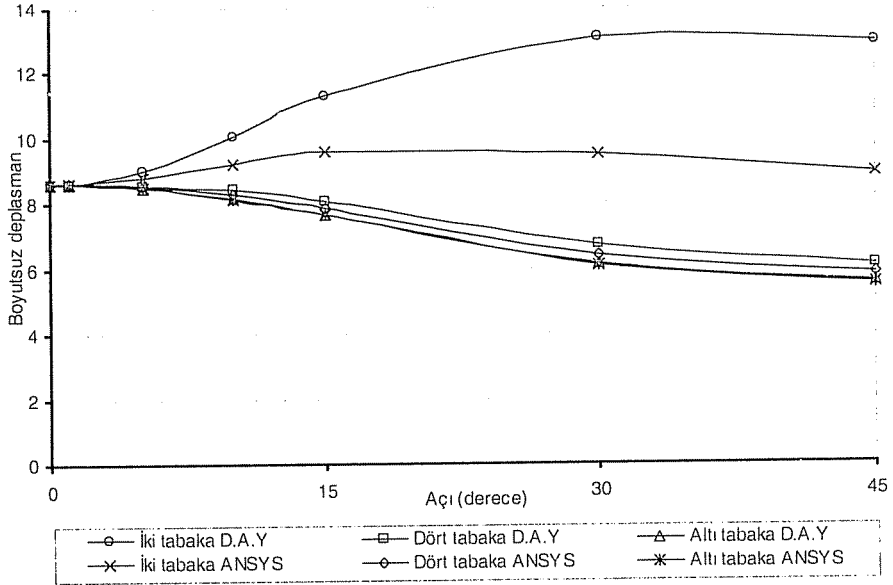
Örnekte, dört kenarından basit mesnetlenmiş q üniform yayılı yüküne maruz, antisimetrik açılı-katlı tabakalı plak göz önüne alınmıştır. Analizlerde, iki, dört, altı, sekiz, ve on tabakalı plaklar göz önüne alınmıştır. Hesaplamalar iki farklı durum için yapılmıştır. Durum-1 de her tabakalanma için “  $\theta$  ” açısı değerlerindeki değişime göre çökme değerleri, Durum-2 de her tabakalanma için  $E_1/E_2$  oranına göre çökme değerleri incelenmiştir. Örnekteki her bir tabaka ortotrop olup, plak malzemesi olarak Durum-1 için Graphite/epoxy seçilmiştir. Graphite/epoxy için malzeme özellikleri  $E_1 = 181$  GPa.,  $E_2 = 10.3$  Gpa.,  $G_{12} = 7.17$  GPa. ve  $\nu_{12} = 0.28$ , dir. Durum-2 için ise farklı  $E_1/E_2$  oranları kullanılmış ve  $\theta = 45^\circ$ ,  $G_{12}/E_2 = 0.5$ ,  $\nu_{12} = 0.25$  olarak seçilmiştir. Örnekte toplam plak kalınlığı değişmemektedir. Değerler (a/2, b/2) noktası için elde edilerek aşağıdaki şekilde normalize edilmiştir.

$$\begin{array}{ll} \text{Durum-1 için normalizasyon} & \text{Boyutsuzdeplasman} = \frac{w E_2 t^3}{p_0 a^4} 10^3 \\ \text{Durum-2 için normalizasyon} & \text{Boyutsuzdeplasman} = \frac{w E_2 t^3}{p_0 a^4} 10^2 \end{array}$$

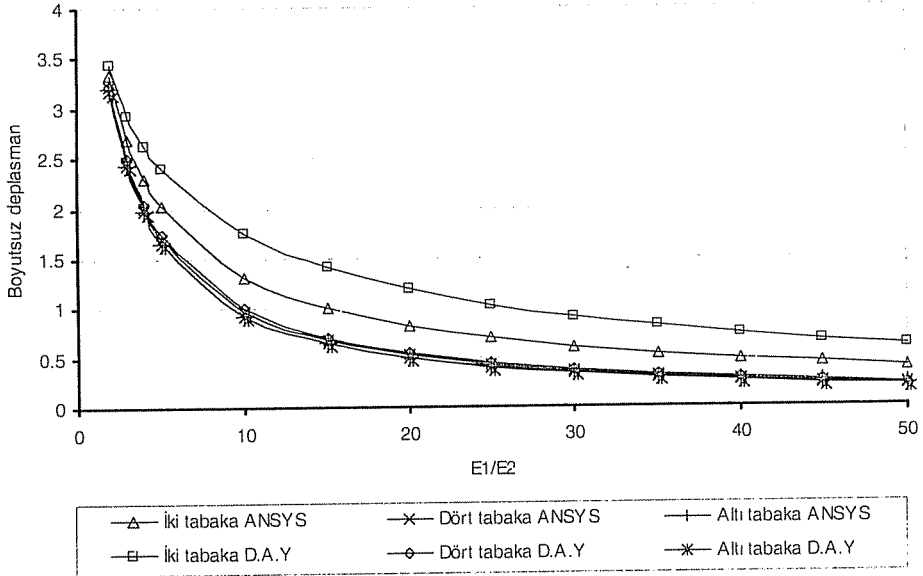
Örnekte, antisimetrik açılı-katlı tabakalanmış dikdörtgen plak, iki farklı durum için analiz edilmiştir. İlk olarak Şekil 8’ de görüldüğü gibi 2, 4, 6, 8 ve 10 tabakaya ayrılmış plak “ $\theta$ ” açısı değerlerindeki değişime göre incelenmiştir. Şekil incelendiğinde tabakalanma sonsuza doğru yaklaştıkça uzama eğrilik arasındaki girişim etkisinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca iki tabakalı plak durumunda açısı değeri yükseldikçe D.A.Y ile ANSYS değerleri birbirinden uzaklaşmaktadır, tabaka sayısı arttıkça bu fark azalmaktadır

İkinci olarak plak,  $E_1/E_2$  oranına bağlı olarak incelenmiştir. Tabakalı kompozit malzemelerde uzama ve eğilme arasındaki girişim etkisi ile oluşan plak üzerindeki deplasmanlar, ortotropik modül olarak tarif edilen  $E_1/E_2$  oranına bağlıdır. Bu örnekte  $G_{12}/E_2$  oranı ve  $\nu_{12}$  sabit olarak seçilmiştir,  $E_1/E_2$  oranı ise küçük oranlarda artırılarak karşılaştırmalar yapılmıştır.  $E_1/E_2 = 2$  iken Şekil 9’da görüldüğü gibi beklenen bir şekilde girişim etkisi çok az oluşmakta,  $E_1/E_2$  oranı yükseldikçe uzama-eğrilik arasındaki girişim etkisi de artmaktadır. Burada da iki tabakalı durumda iki yöntem

birbirinden oldukça farklı sonuçlar vermekte tabaka sayısı arttıkça bu fark giderek yok olmaktadır.



Şekil 8. Basit mesnetlenmiş antisimetrik açılı-katlı plak probleminde tabaka sayısına ve açı değişimine göre plak orta noktasındaki çökme değerleri (D.A.Y-ANSYS).



Şekil 9. Basit mesnetlenmiş antisimetrik açılı-katlı plak probleminde tabaka sayısına ve E1/E2 oranına göre plak orta noktasındaki çökme değerleri (ANSYS-D.A.Y)

#### 4. SONUÇ

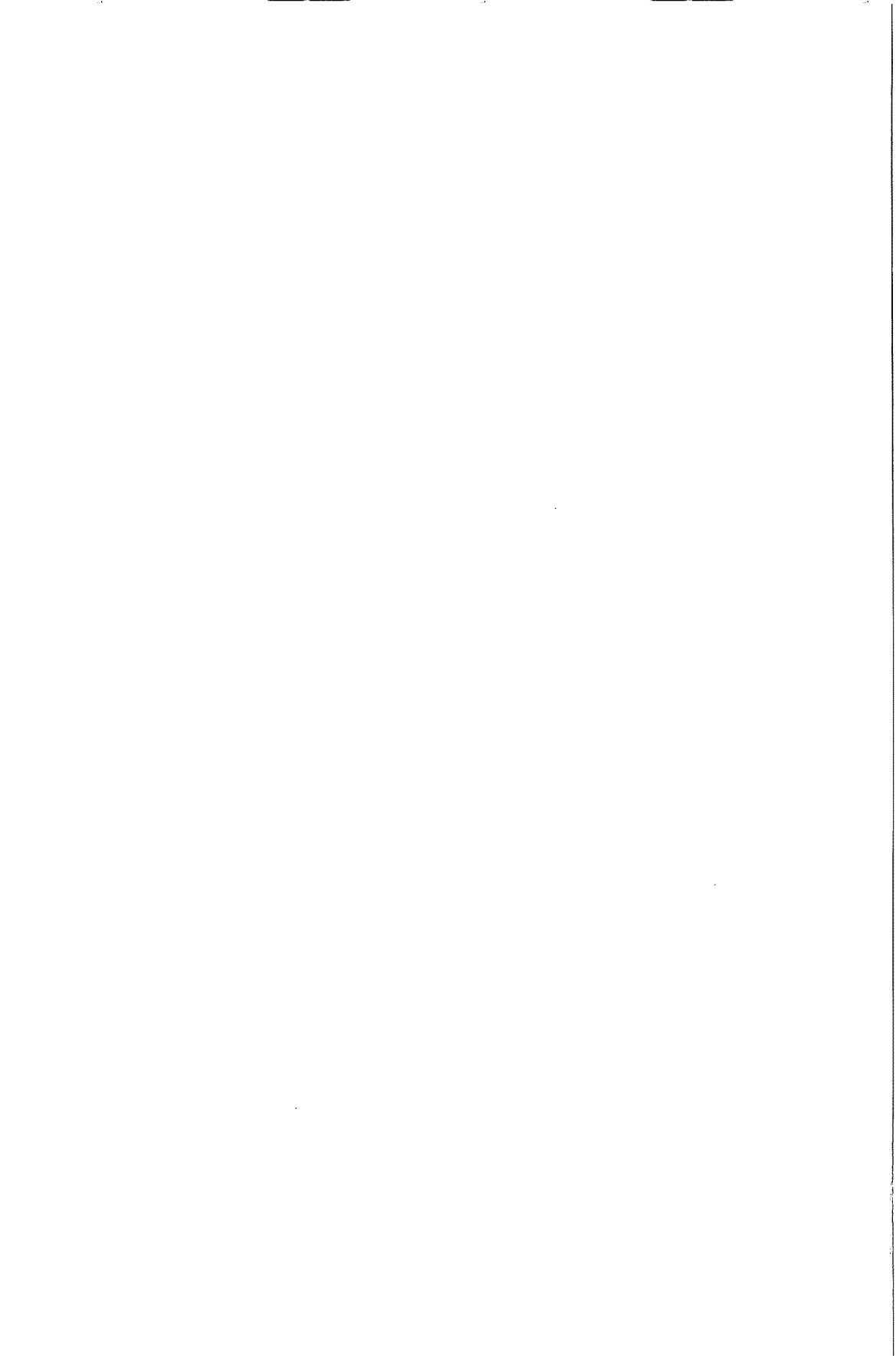
Bu çalışmada, literatürde bulunan sonlu elemanlar yöntemine dayalı ANSYS paket programı ve denge denklemleri ile elde edilen diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan Değişkenlerine Ayırma Yöntemi (D.A.Y) yardımıyla, ince plak teorisiyle çeşitli tipteki tabakalı plakların analizi yapılmış ve sonuçlar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

Değişkenlerine ayırma yöntemi tabakalı plaklar için bazı durumlarda çok iyi sonuçlar verirken bazı durumlarda biraz farklı sonuçlar vermektedir. Yani x ve y değişkenlerinin tam olarak ayrımı her zaman mümkün olmamaktadır.

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

#### 5. KAYNAKLAR

1. Ersoy,H.Y., "Kompozit Malzeme", Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama San. ve Tic. Ltd. Şti., 227, İstanbul, Türkiye, 2001.
2. Kaw,A.K., "Mechanics of Composite Materials", CRC Press, Boca Raton London New York, 329, Washington, D.C., 1997.
3. Jones,R.M., "Mechanics of Composite Materials", Scripta Book Company, 355, Washington D.C., 1975.
4. Jones,R.M., "Mechanics of Composite Materials", Taylor&Francis, Inc. 325 Chestnut Street, PA19106, 519, Philadelphia, 1999.
5. Ashton,J.E., "Anisotropik Plate Analysis – Boundary Conditions", Journal of Composite Materials, 4, 182-191, 1970.
6. Hyer,M.W., "Stress Analysis of Fiber-Reinforced Composite Materials", Mc Graw-Hill Book Comp, Virginia Polytechnic Institute and State University, 627, 1998.
7. Reddy,J.N., "A Simple Higher-Order Theory for Laminated Composite Plates", Journal of Applied Mechanics, 51, 745, 1984.
8. Timoshenko,Sr., "Theory of Plates and Shells", New York a .London, Mc Graw-Hill Book Comp., 1940.
9. Uğural.A.C., "Stresses In Plates and Shells", Mc Graw-Hill Book Comp, 317, New York, London, 1981.
10. ANSYS, Theory Reference Manual and ANSYS Element Reference.  
<http://www.ansys.com>



## SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE GÜÇLENDİRİCİ KİRİŞ KONUMUNUN VE BİNA YAPISAL DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ

Cevher Deha TÜRKÖZER ve H. Murat ARSLAN  
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** Sürekli bağlantı yöntemi (SBY), tek sıra boşluklu perdelerin yatay yükler etkisinde analizi için çok yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Güçlendirici kirişe sahip tek sıra boşluklu deprem perdelerinde, kiriş konumunun da uygun seçilmesi ile perdede oluşan yanal yerdeğiştirme ve taban momenti değerleri önemli ölçüde azaltılabilmekte ve en iyi yapısal davranış belirlenebilmektedir. Bu çalışmada, boşluklu deprem perdelerinin sürekli bağlantı yöntemi ile en iyi yapısal davranış için güçlendirici kiriş konumu belirlenmiş ve bu perdelerin rijit temele oturan binalar içersinde farkı konumlarda yerleşmesi durumunda SAP2000 de üç boyutlu bina çözümü yapılarak bina yapısal davranışı ve güçlendirici kiriş konumları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar tablo ve grafiklerle karşılaştırılmış ve sürekli bağlantı yöntemi ile düzlemsel perde davranışının, üç boyutlu bina yapısal davranışı ile tutarlılığı gözlenmiştir.

### DETERMINATION OF STIFFENING BEAM LOCATION AND STRUCTURAL BEHAVIOR OF BUILDING WITH CONTINUOUS CONNECTION METHOD

**ABSTRACT :** The continuous connection method is widely used for the analysis of coupled shear walls subject to lateral loads. In stiffened coupled shear walls, If stiffening beam location choose optimum position, lateral displacement and moment values can be reduced greatly and the best structural behaviour can be determinated. In the present study, location of stiffening beam on the coupled shear walls is determined for the best structural behaviour, by using continuous connection method and the same study has been carried out three dimensional modellig by using SAP2000 packet program. The obtained results have been compared with tables and graphics and consistency is observed in results.

\*Bu proje Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: MİM.2004.YL.30

## 1. GİRİŞ

Ülkelerin kalkınmasına paralel olarak hızlı kentleşme sonucu kentlerdeki yerleşim alanlarının azaldığı günümüzde, kentlerin yayılma sınırlarının zorlaşması ile düşey yerleşimin, konut, büro, otel, işyeri v.b. binaların yüksekliğinde artış kaçınılmaz olmaktadır.

Yüksek yapılarda kat sayısının artmasına bağlı olarak binaya daha fazla yatay kuvvet etkimekte ve düşey yükleri ileten kolonlar bu yatay kuvvetlerin oluşturduğu eğilme momentlerine karşı yeterli dayanım gösterememektedir. Dolayısıyla, bina yüksekliği boyunca yatay yerdeğiştirmeler yüksek mertebelerde olmaktadır. Bu sorunun çözümü için deprem perdeleri olarak adlandırılan eğilme rijitliği yüksek yapı elemanları kullanılmaktadır. Bu duvarlar içleri dolu olduğu zaman birer konsol kiriş gibi çalışırlar ve hesapları kolaydır. Ancak, perde içinde pencere, kapı ve koridorlarla ortaya çıkan boşluklar nedeniyle boşluklu perdeye dönüştükleri zaman yüksek dereceden hiperstatik oldukları için hesapları güçleşmektedir. Bu yüzden bilinmeyen sayısını azaltmak amacı ile araştırmalar tek sıra boşluklu veya iki sıra boşluklu simetrik perdeler üzerinde yoğunlaşmıştır. Hesaplama işlemini basitleştirmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

Yatay yükler etkisindeki boşluklu perdelerin analizi için çok yaygın olarak kullanılan bir yöntem sürekli bağlantı yöntemidir. Bu yöntemde, boşluklu perdeler birleşik perdeler gibi gözönüne 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.

Perdeler arası bağlantı rijitliğinin boşluklar nedeni ile yeterli seviyede olmadığı durumlarda bina tepesi noktası yerdeğiştirmesi ve tabandaki eğilme momenti yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Bu durumun önlenmesi amacı ile bina boyunca belirli yüksekliklere "Güçlendirici Kiriş" olarak adlandırılan eğilme rijitliği yüksek bağlantı elemanları konulmaktadır. Sürekli bağlantı yönteminde yapılan en önemli kabul bağlantı kirişlerini ve güçlendirici kirişleri eksenleri doğrultusunda rijit olarak ele almaktır. Bu kabule dayanarak perdenin herhangi bir seviyesindeki yatay yerdeğiştirmeler aynı değerde olacaktır. Buna bağlı olarak perdelerin aynı eğilme ve eğriliğe sahip olacağı kabul edilir. Bu durumun kat döşemelerinde yaygın olarak kullanılan rijit diyafram modeli ile de desteklendiği bilinen bir gerçektir.

Sürekli bağlantı yönteminde temel diferansiyel denklemler, bağlantı kirişlerinin orta noktasındaki düşey yerdeğiştirme için yazılan uygunluk denklemleridir. 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 sayesinde iki boyutlu problemden tek boyutlu probleme indirgenmiş olur.

Sürekli bağlantı yönteminin sağladığı bu kolaylık ve daha çabuk analiz yapması özellikle ön proje kısmında kullanılarak, binanın yapısal davranışı hakkında bilgi edinmemizi sağlamaktadır. Böylece düzlemsel olarak ele aldığımız boşluklu perde üzerinde binanın yapısal davranışı ve güçlendirici kiriş konumları hakkında bilgi sahibi



olmaktayız. Bu da binanın üç boyutlu analizi sırasında güçlendirici kiriş konumlarını ve bina yapısal davranışını bilmemizi sağlar.

Bu çalışmada sürekli bağlantı yöntemi ile düzlemsel olarak tek sıra boşluklu deprem perdeleri üzerinde güçlendirici kiriş her kat seviyesinde, tek güçlendirici ve ikili güçlendirici kiriş olarak ayrı ayrı uygulanmış, güçlendirici kiriş konumu ve bina yapısal davranışı belirlenmiştir. Aynı zamanda güçlendirici kiriş konumlarına göre perde taban momentleri de hesaplanmıştır. Daha sonra SAP2000 paket programı kullanılarak üç boyutlu analiz kısmında, deprem perdeleri binanın karşılıklı iki yanına simetrik koyularak, binanın yapısal davranışı ve güçlendirici kiriş olması durumunda güçlendirici kirişlerin konumları incelenmiştir. Sürekli bağlantı yöntemi ile elde edilen sonuçlar ile SAP2000 de üç boyutlu bina analizi kısmında elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak sürekli bağlantı yönteminin üç boyutlu analiz için de ne derece doğru ve birbiri ile örtüşen sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

## 2. SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE TEK SIRA BOŞLUKLU PERDE ANALİZİ

Son otuz beş yıl boyunca, boşluklu perde çözümü için kullanılan yöntemlerden biri sürekli bağlantı yöntemidir. Bu yöntem üzerinde üniversitelerde ve kuruluşların araştırma laboratuvarlarında çalışan mühendisler tarafından oldukça geniş çapta araştırma yapılmış ve bu konu üzerinde birçok makale yayınlanmıştır.

Yönteminin ana fikri, her kat seviyesinde perdeleri birbirlerine bağlayan bağ kirişlerinde ve/veya döşemelerde bulunan kesme kuvvetlerini sürekli dağıtılmış reaksiyonlar olarak modellemektir (Şekil 1).

Başlıca iki ana kısımdan oluşan yöntemin ilk aşamasında her bölgede bağlantı kirişlerinin orta noktasındaki düşey yerdeğiştirme için uygunluk denklemleri yazılır. Ve bu denklemlerin toplamı alınıp sıfıra eşitlenirse,

$$L_i \frac{dy_i}{dx} - \frac{b^3 h_i}{12EI_{ci}} q_i - \frac{1}{E} \sum_{j=i+1}^n \left[ \left\{ \frac{1}{A_{1j}} + \frac{1}{A_{2j}} \right\} \int_{x_{i+1}}^{x_j} T_j dx \right] - \frac{1}{E} \left\{ \frac{1}{A_{1i}} + \frac{1}{A_{2i}} \right\} \left[ \int_{L_{x_{i+1}}}^x T_i dx \right] - \delta_f = 0 \quad (1)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadede ilk terim perdenin dönmesinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirmeyi, ikinci terim bağlantı kirişlerindeki kesme kuvvetinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirmeyi, üçüncü ve dördüncü terimler perde eksenel kuvvetinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirmeyi, son terim de temel hareketinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirmeyi göstermektedir.

Yukardaki denklem  $x'$  e göre türevi alınıp çeşitli işlem ve düzenlemeler yapıldıktan sonra

$$\frac{d^2 T_i}{dx^2} - \alpha_i^2 T_i = -\beta_i M_{ci} \quad (2)$$

şeklinde perde aksenal kuvveti fonksiyonuna bağlı ikinci dereceden bir lineer diferansiyel denklem elde edilmektedir. Perde tabanında ve tepesinde yazılan sınır şartları ile heraber bölge birleşim yerlerinde yazılan süreklilik şartlarını da kullanarak yükseklik değişkenine bağlı perde aksenal kuvvet fonksiyonu elde edilir.

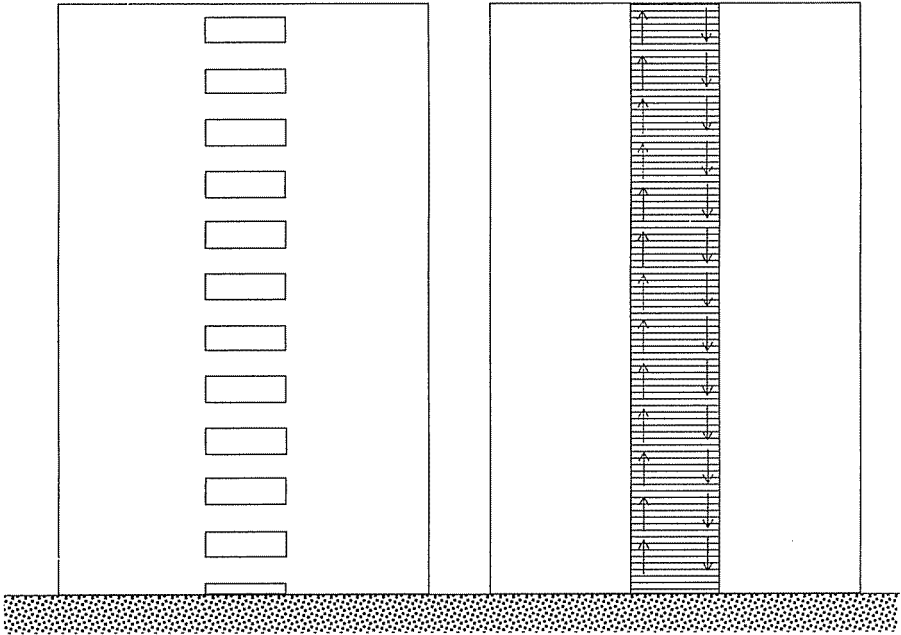
İkinci aşamada ise perde için yazılan moment-eğrilik ilişkisi;

$$EI_i \frac{d^2 y_i}{dx^2} = M_c - T_i L_i \quad (3)$$

kullanılarak yatay yerdeğiştirme fonksiyonu bulunur.

$$y_i = \frac{1}{EI_i} \int \left[ \int (M_c - T_i L_i) dx \right] dx + D_i x + G_i \quad (4)$$

Bu yöntemde bütün önemli büyüklükler yüksekliğe bağlı olarak ifade edilebilir. İki boyutlu bir sistem olan boşluklu perdelerin çözümü, sürekli bağlantı yöntemiyle tek boyuta indirilerek, problem lineer diferansiyel denklem takımı ile formüle edilip kapalı çözüm elde edilir.



**Şekil 1.** Bir boşluklu perdenin sürekli bağlantı yöntemi ile modellenmesi

### **3. SAP2000'DE ÜÇ BOYUTLU ANALİZ**

#### **3.1. Giriş**

Bu çalışmada Sürekli Bağlantı Yöntemi ile düzlemsel (iki boyutlu) analizi yapılan deprem perdeleri, bina içersine yerleştirilerek SAP2000 de üç boyutlu analiz yapılmıştır.

Sürekli bağlantı yönteminde yapılan en önemli kabul, bağlantı kirişleri ile güçlendirici kirişlerin eksenleri doğrultusunda sonsuz rijit gibi ele alınmalarıdır. Bu kabul kat döşemeleri için çok yaygın şekilde kullanılan rijit diyafram modeli ile eşdeğerdir.

#### **3.2. Rijit Diyafram Modeli**

Rijit diyafram kabulünde döşemelerin düzlemi içinde sonsuz rijit olduğu yani şekil değiştirmedeği kabul edilir. Böylece döşeme üzerinde seçilen bir "master Noktası"nın birbirine dik iki yatay öteleme ve döşeme düzlemine dik eksen etrafında dönme deplasmanlarının bilinmesi durumunda, döşeme üzerindeki diğer düğümlerin deplasmanları, master noktası deplasmanına bağlı olarak hesaplanabilir.

Ayrıca kirişler rijit diyafram içinde kaldığından dolayı bu elemanlarda eksenelel deformasyon meydana gelmemektedir. Bu kabul bazı kolaylıklar getirmektedir. Bunlar;

- Döşeme diyaframları dış yükler altında rijit cisim hareketi yapacağından kat kütleleri, bu diyaframın kütle merkezinde tanımlana bilmektedir.
- Bilinmeyen sayısı büyük ölçüde azalacağından, çözüm kolaylaşmaktadır.
- Döşemelerin varlığının hesaba katılması sağlanmaktadır. Aksi taktirde döşemelerin üç boyutlu kabuk elemanı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile sisteme dahil edilmesi gerekmektedir.

#### **3.3. SAP2000'de Analiz**

Bir yapı sisteminin SAP2000 yardımı ile analizinde, genel olarak, aşağıdaki yol izlenmektedir.

- Sistem Modelinin Oluşturulması
- Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması
- Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması
- Yüklerin Tanımlanması
- Analiz (Çözüm)

### **4. SAYISAL UYGULAMALAR**

Bu uygulama, 3 boyutlu ve rijit temele oturan bir binada, statik yük etkisinde tek sıralı boşluklu deprem perdelerinde tek güçlendirici kiriş konumunun, bina tepesi yanal deplasmanı ve taban momentine etkisini ve iki güçlendirici kiriş olması durumunda güçlendirici kirişlerin konumunu araştırmak amacı ile hazırlanmıştır.

SAP2000 paket programı kullanılarak bina modellenmiş ve analizler yapılmıştır. Binaya her kat seviyesinde, kütle merkezine 125 kN yük uygulanarak SAP2000'de üç boyutlu çözüm yapılmıştır. Daha sonra binanın her iki yanındaki deprem perdeleri Sürekli Bağlantı Yöntemi ile iki boyutlu olarak analiz edilmiş, bina yapısal davranışı ve güçlendirici kiriş konumları belirlenmiştir.

Her iki çözümde de elde edilen sonuçlar ve güçlendirici kiriş konumları, tablo ve grafik olarak sunulmuş, karşılaştırma yapılmıştır. Örnekte, aşağıdan yukarıya doğru her kat seviyesinde güçlendirici kiriş konularak tepe noktası yanal deplasmanı ve perde taban momentleri, ve ikili güçlendirici konumu incelenirken.

Elastisite Modülü(E) : 2850000 kN/m<sup>2</sup>

Kat yüksekliği : 3.25 m

Bina toplam yüksekliği: 65 m

Kolon boyutları :

A1,A2,A3,A4,A5,A6,A7,A8,A9,A10,A11 D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8,D9,D10,D11	24x60 cm
B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7,B8,B9,B10,B11 C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11	34x60 cm

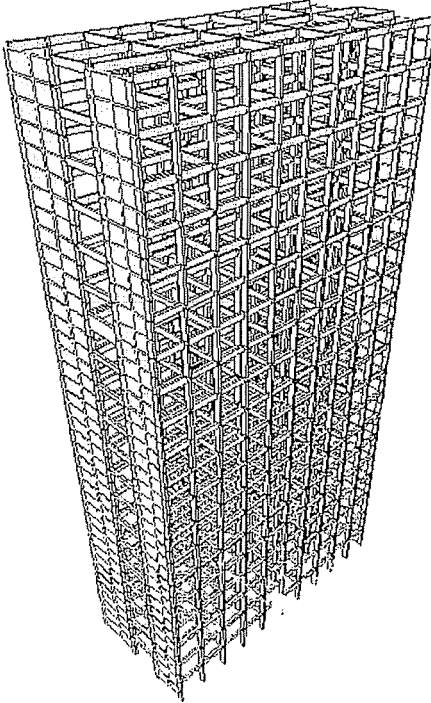
Kiriş boyutları : 60x25 cm

Perde genişliği : 25 cm

Güçlendirici kiriş yüksekliği: 25x150 cm olarak kullanılmıştır.

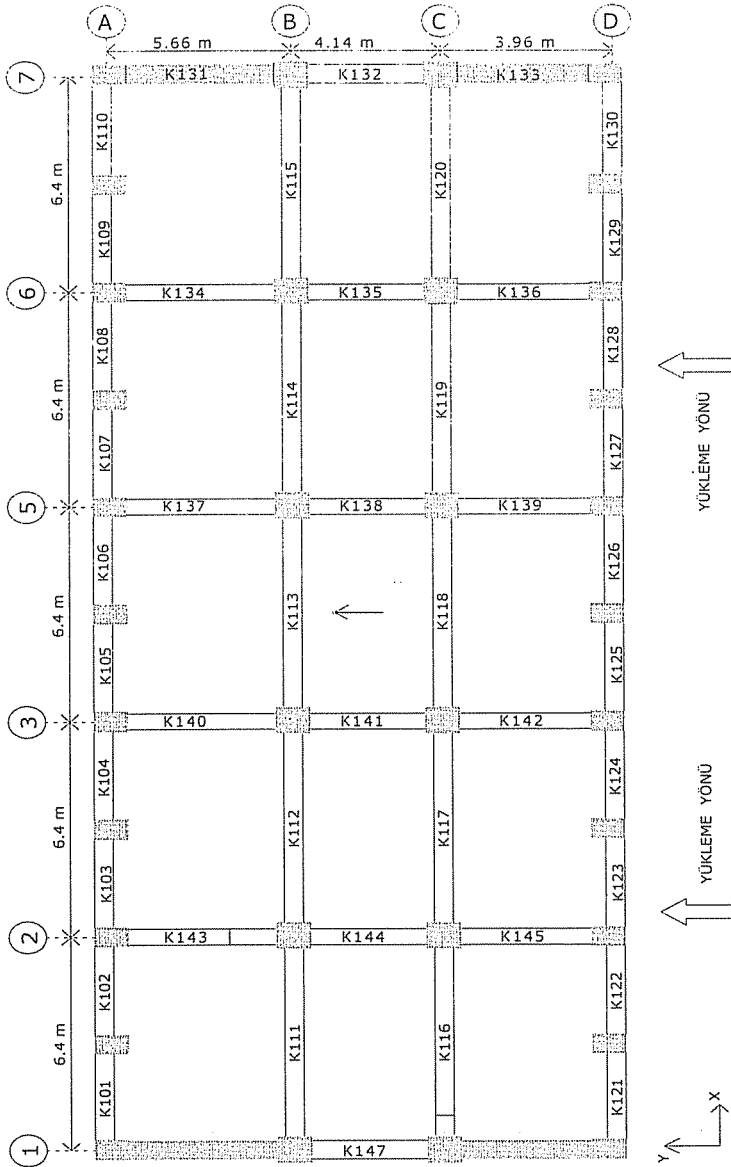
Yapının X doğrultusuna dik her iki tarafına tek sıra boşluklu perde duvar konulmuştur.

Yapıya Y doğrultusunda, her kat seviyesinde, kat kütle merkezlerine 125 kN yük uygulanmıştır.Uygulanan bu yükler etkisinde SAP2000 programında analizler yapılmış. Yapının kütle merkezi koordinatları (16.0 . 6.75) m'dir.



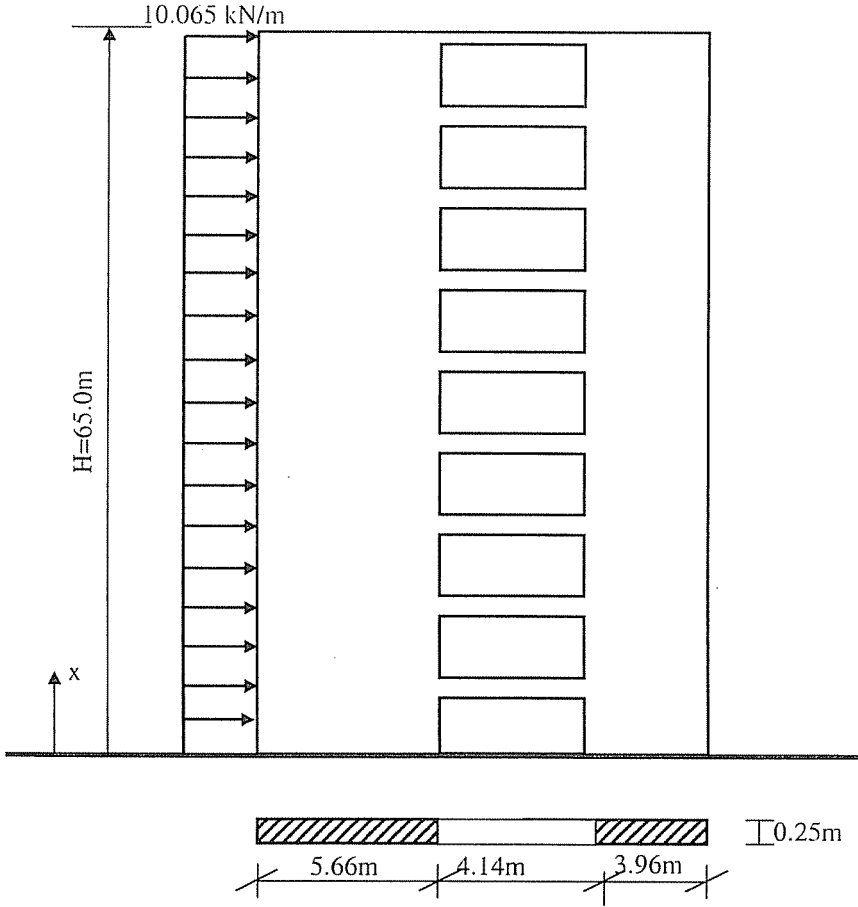
Şekil 2. Binanın üç boyutlu görünüşü

SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE GÜÇLENDİRİCİ KİRİŞ KONUMUNUN VE  
BİNA YAPISAL DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ



Şekil 3. Kat kalıp planı

Binaya gelen yük düşey taşıyıcı elemanların rijitlikleri oranında dağıtılarak, düzlemsel perdeye gelen yük hesaplanmış, sürekli bağlantı yöntemi ile düzlemsel perdenin analizi yapılmıştır.

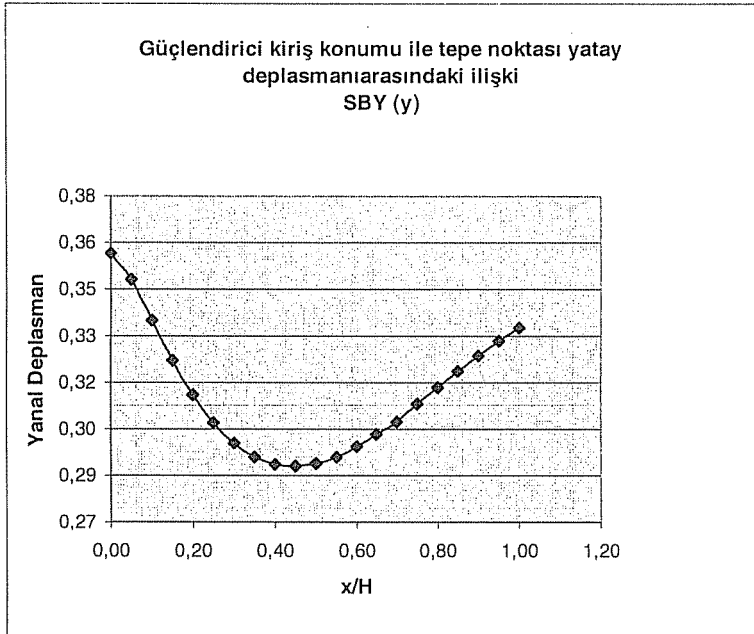
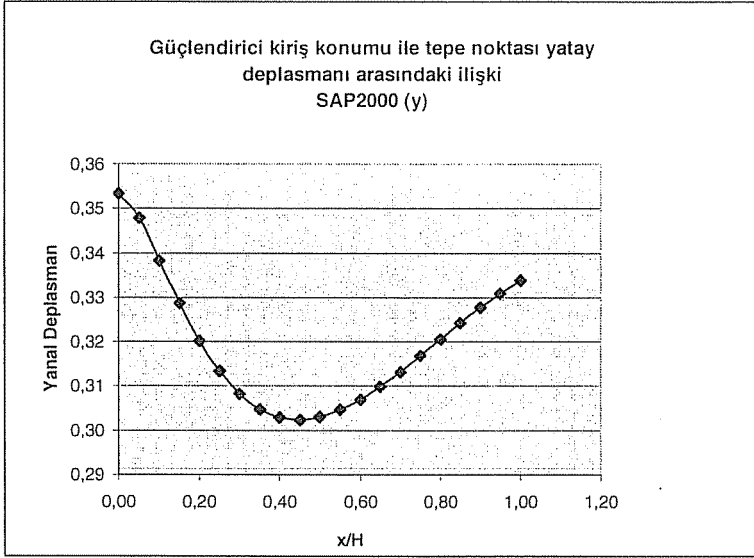


Şekil 4. S.B.Y ile çözülen iki boyutlu tek sıra boşluklu perde modeli

Sürekli bağlantı yöntemi ile düzlemsel problemde güçlendirici kirişler her kat seviyesinde uygulanmış ve tepe noktası yanal deplasmanları hesaplanmıştır. Aynı şekilde boşluklu perdenin binanın karşılıklı iki yanında bulunması durumunda üç boyutlu olarak SAP2000'de çözüm yapılmıştır. Elde edilen değerler aşağıda tablo olarak sunulmaktadır. Minimum tepe noktası deplasmanı SAP2000 de güçlendirici kiriş **9.katta** olması durumunda, SBY'de de **9.katta** olması durumunda sağlanmaktadır.

**Çizelge 1.** Tepe noktası yanal deplasmanlarına göre güçlendirici kiriş konumlarının karşılaştırılması

Kat No	x	x/H	SAP2000	SBY
			Yanal deplasman	Yanal deplasman
			(m)	(m)
0	0.00	0.00	0.35336	0.35670
1	3.25	0.05	0.34791	0.34819
2	6.50	0.10	0.33835	0.33488
3	9.75	0.15	0.32866	0.32205
4	13.00	0.20	0.32016	0.31099
5	16.25	0.25	0.31331	0.30210
6	19.50	0.30	0.30821	0.29548
7	22.75	0.35	0.30480	0.29106
8	26.00	0.40	0.30293	0,28865
9	29.25	0.45	<b>0.30242</b>	<b>0.28803</b>
10	32.50	0.50	0.30306	0.28896
11	35.75	0.55	0.30466	0.29116
12	39.00	0.60	0.30700	0.29442
13	42.25	0.65	0.30993	0.29848
14	45.50	0.70	0.31326	0.30240
15	48.75	0.75	0.31684	0.30821
16	52.00	0.80	0.32054	0.31346
17	55.25	0.85	0.32420	0.31873
18	58.50	0.90	0.32770	0.32379
19	61.75	0.95	0.33095	0.32848
20	65.00	1.00	0.33386	0.33262



**Şekil 5.** Tepe noktası yanal deplasmanlarının karşılaştırılması

Sürekli bağlantı yöntemi ile düzlemsel problemde güçlendirici kirişler her kat seviyesinde uygulanmış ve perde taban momentleri hesaplanmıştır. Aynı şekilde



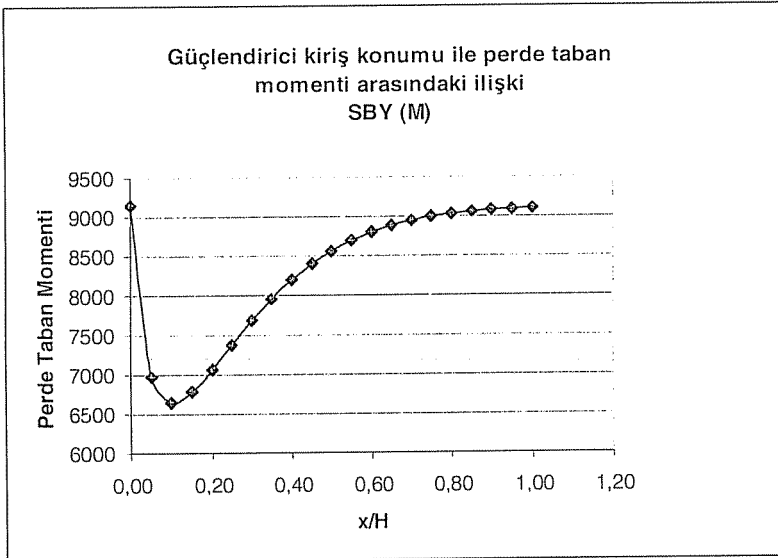
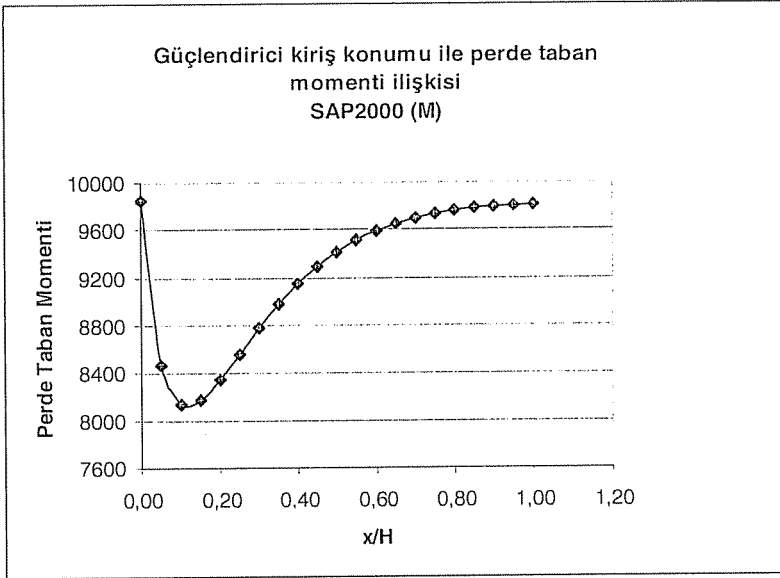
*SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE GÜÇLENDİRİCİ KİRİŞ KONUMUNUN VE  
BİNA YAPISAL DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ*

boşluklu perdenin binanın karşılıklı iki yanında bulunması durumunda üç boyutlu olarak SAP2000'de çözüm yapılmıştır. Güçlendirici kiriş konumlarına göre perde taban momentleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

SAP2000'de ve SBY'de güçlendirici kiriş **2.katta** olması durumunda perde taban momentleri minimum çıkmaktadır.

**Çizelge 2.** Perde taban momentlerine göre güçlendirici kiriş konumlarının karşılaştırılması

Kat No	x	x/H	SAP2000	SBY
			$\Sigma M$	$\Sigma M$
			(kN-m)	(kN-m)
0	0.00	0.00	9851.278	9149.966
1	3.25	0.05	8471.668	6967.196
2	6.50	0.10	<b>8138.887</b>	<b>6641.975</b>
3	9.75	0.15	8177.191	6778.264
4	13.00	0.20	8347.725	7060.242
5	16.25	0.25	8562.151	7377.752
6	19.50	0.30	8777.420	7684.848
7	22.75	0.35	8975.163	7961.773
8	26.00	0.40	9147.736	8201.236
9	29.25	0.45	9293.458	8402.337
10	32.50	0.50	9413.595	8567.458
11	35.75	0.55	9510.777	8700.532
12	39.00	0.60	9588.146	8806.043
13	42.25	0.65	9648.867	8888.456
14	45.50	0.70	9695.883	8951.907
15	48.75	0.75	9731.801	9000.059
16	52.00	0.80	9758.849	9036.051
17	55.25	0.85	9778.896	9062.510
18	58.50	0.90	9793.461	9081.586
19	61.75	0.95	9803.781	9094.997
20	65.00	1.00	9810.779	9104.092



Şekil 6. Perde taban momentlerinin karşılaştırılması

**Çizelge 3.** İki güçlendirici kiriş olması durumunda tepe noktası deplasmanına göre güçlendirici kirişlerin konumu

Güçlendirici Konumları	Tepe Noktası Deplasmanı (SAP2000) (m)		Tepe Noktası Deplasmanı (SBY) (m)	
H (20.kat) H/2 (10.kat)	0.29115		0.27405	
H/2 (10.kat) H/10 (2.kat)	0.29154		0.27281	
H/4 (5.kat) H/10 (2.kat)	0.30515		0.29274	
H/5 (4.kat) H/3 (7.kat)	0.28642		0.27004	
H (20.kat) H/20 (1.kat)	0.32867		0.32438	
H (20.kat) 2H/3 (7.kat)	0.29012		0.27220	
(14.kat) (7.kat)	0.27603		0.25328	
(18.kat) (2.kat)	0.31375		0.30311	
(12.kat) (7.kat)	0.27389		0.25193	
(13.kat) (8.kat)	0.27531		0.25374	
(10.kat) (4.kat)	0.27960		0.25845	
(12.kat) (8.kat)	0.27502		0.25438	
(12.kat) (6.kat)	<b>0.27440</b>	<b>60%</b> <b>30%</b>	<b>0.25176</b>	<b>60%</b> <b>30%</b>
(10.kat) (9.kat)	0.28080		0.26586	
(12.kat) (5.kat)	0.27672		0.25410	
(11.kat) (8.kat)	0.27566		0.25646	
(13.kat) (6.kat)	0.27552		0.25256	
(7.kat) (13.kat)	0.27460		0.25200	

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, tek sıra boşluklu deprem perdelerinin iki boyutlu olarak sürekli bağlantı yöntemi ile en iyi yapısal davranış için güçlendirici kiriş konumu belirlenmiş ve bu perdelerin rijit temele oturan binalar içerisinde farklı konumlarda yerleşmesi durumunda SAP2000 de üç boyutlu bina çözümü yapılarak bina yapısal davranışı ve güçlendirici kiriş konumları belirlenmiştir.

Örneklere ilk kattan itibaren, her hat seviyesinde ayrı ayrı güçlendirici kiriş uygulanmış, her kat seviyesinde ayrı çözüm yapılmıştır. Sürekli bağlantı yöntemi ile düzlemsel perdede tek güçlendirici kiriş olması halinde tepe noktası yanal deplasmanları, perde taban momenti ve ikili güçlendirici olması durumunda tepe noktası yanal deplasmanı hesaplanmıştır. Aynı şekilde boşluklu perdenin binanın karşılıklı iki yanında bulunması durumunda üç boyutlu olarak SAP2000 de çözüm yapılmıştır.

Düzlemsel olarak sürekli bağlantı yöntemi ile en iyi yapısal davranış için elde edilen güçlendirici kiriş konumları ve yapısal davranışı, üç boyutlu bina davranışına çok çok yakın özellik göstermektedir. Bu da sürekli bağlantı yöntemini özellikle ön tasarım sırasında cazip kılmaktadır.

Sürekli Bağlantı Yöntemiyle yapılan çözüm süresinin diğer yöntemlere göre daha kısa olması, değişik olasılıkları denemek için perdede bazı değişiklikler yapılması gerektiğinde yeni data hazırlanırken eskisinde bazı küçük değişiklikler yapılmasının yeterli olması nedeniyle bu yöntem öntasarım amacı ile çok etkin bir şekilde kullanılabilir.

Güçlendirici kirişe sahip tek sıra boşluklu deprem perdelerinde, kiriş konumunun da uygun seçilmesi ile perdede oluşan yanal yerdeğiştirme ve taban momenti değerleri önemli ölçüde azaltılabilmekte ve en iyi yapısal davranış belirlenebilmektedir.

Tek güçlendirici kiriş olması halinde tepe noktası yanal deplasmanına göre en uygun pozisyon bina yüksekliğinin 0.4-0.5'i arasında olmaktadır. İkili güçlendirici olması halinde de en uygun pozisyon bina yüksekliğinin ilk üçtebiri (H/3) ile ikinci üçtebirinde (2H/3) olmaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

- 1) Aksoğan, O., Arslan, H.M. and Salari, N., "Free Vibrations of Stiffened Coupled Shear Walls on Flexible Foundations", *Third International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, Tehran, Iran, pp.623-630, May, 1999.*
- 2) Arslan, H.M. ve Aksoğan, O., "Boşluklu Deprem Perdelerinin Yatay Yüklere Karşı Güçlendirilmesi", *9. Ulusal Mekanik Kongresi, Ürgüp, Eylül 1995.*
- 3) Arslan, H.M., "Boşluklu Deprem Perdelerinin Yatay Yüklere Karşı Güçlendirilmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 96 s., 1996.*
- 4) Bıkçe, M., "Çok Sıra Boşluklu Deprem Perdelerinin Statik ve Dinamik Analizi", *Doktora Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 206 s., Adana, 2002.*
- 5) Chan, H.C. and Kuang, J.J., "Stiffened Coupled Shear Walls", *Journal of Structural Engineering, Vol.155, No.4, pp.689-703, April, 1989.*
- 6) Choo, B.S. and Coull, A., "Stiffening of Laterally Loaded Coupled Shear Walls on Elastic Foundations", *Building and Environment, Vol.19, No.4, pp.251-256, 1984.*
- 7) Coull, A. and Bensmail, L., "Stiffened Coupled Shear Walls", *Journal of Structural Engineering, Vol.117, No.8, pp.2205-2223, 1991.*

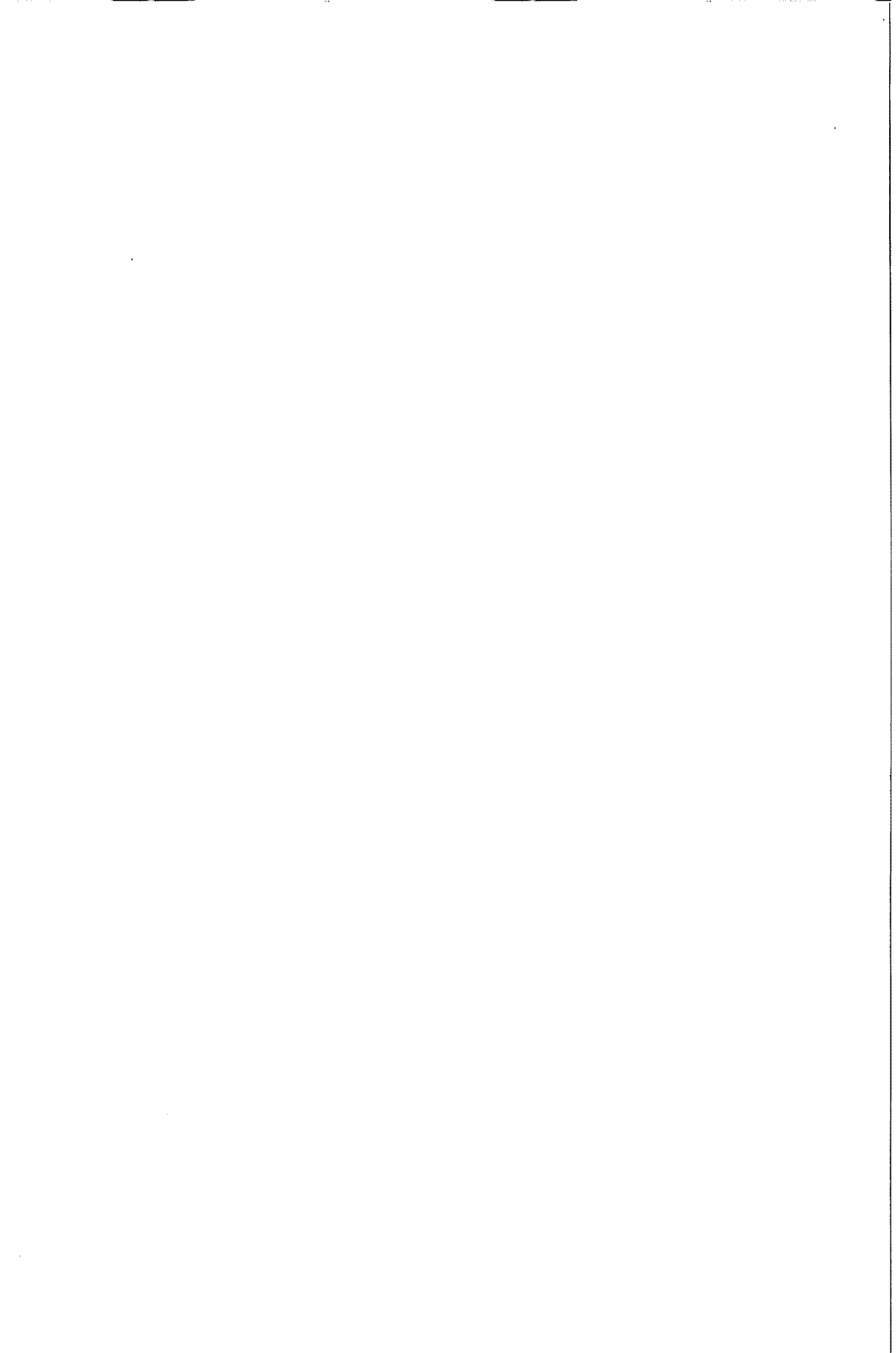
8) Çağatay, İ.H. ve Güzeldağ, S., "Yeni Deprem Yönetmeliği" (TDY-98), 2002.

9) Romsan, R., "Approximate Analysis of Shear Walls Subject to Lateral Loads", *Journal of the American Concrete Institute*, Vol.61, No.6, pp.717-732, June 1964.

10) Özmen, G., Orakdöğen, E. ve Darılmaz, K., "Örneklerle SAP2000" Birsen Yayınevi.

11) Tuna, M.E., "Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı", Kasım 2000.

12) Yılmaz, Ç., Çıtırnoğlu, E. ve Doğan, E., "Delikli Betonarme Perde Duvarların Elastik Analizi", (S.T. WASTI, M.R. AYDIN ve İ. ÖZDEMİR editörler), Yapı Mekaniği Semineri 94, Dumlupınar Üniversitesi, Yayın No:2, Kütahya, Sayfa 175-190, Haziran, 1994.



## BAYINDIRLIK İŞLERİ BİRİM FİYAT ANALİZLERİNDEKİ İŞGÜCÜ VERİMLİLİKLERİNİN İRDELENMESİ

M.Emin ÖCAL, Ali TAT ve Ercan ERDİŞ  
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

**ÖZET :** Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Birim Fiyatlarından halen özel sektör ve kamu sektöründe yaygın olarak yararlanılmaktadır. Bu fiyatlara esas teşkil eden analizlerin sık güncellenmemesi nedeniyle, söz konusu birim fiyatların piyasada teşekkül eden fiyatları yansıtmadığı yönündeki kuşkular sıkça dile getirilmektedir. Belirtilen nedenle bu çalışmada, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Birim Fiyat Analizinde yer alan işgücü sürelerinin, uygulamadaki süreler ile karşılaştırılarak sapma düzeylerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

### EXAMINATION OF LABOR FORCE PRODUCTIVITY IN UNIT PRICE ANALYSIS OF PUBLIC WORKS

**ABSTRACT :** Unit prices of the Ministry of Public Works and Settlements (UPMPWS) are presently used in public and private sector. It was usually argued that the unit prices (UPMPWS) do not reflected the market prices as they are not updated frequently. Thus, the aim of this study was to compare the labor output rates in the Ministry of Public Works and Settlements with the output rates in practice durations, and to determine the level of deviation between these durations

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde Bayındırlık ve İskan Bakanlığınca her yıl hazırlanıp yayınlanmakta olan birim fiyatlar, ilgili kamu kuruluşlarınca ön keşif ve bütçe hazırlama çalışmalarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu birim fiyatlar, aynı bakanlığa ait fiyat analizlerinde yer alan işçilik, makine gücü ve malzeme miktarları baz alınarak belirlenmektedir. Belirli periyotlarda güncellenmeyen Bakanlık analizlerinin pek çoğu, yıllar öncesinin değerlendirmelerini yansıtmaktadır. Bu nedenle, analizlerde yer alan birim fiyat girdi miktarları ve bunlar baz alınarak belirlenen birim fiyatların, gerçek piyasa değerlerini yansıtmadığı yönünde yaygın bir kanaat vardır. Bu durum, çoğu kez, birim fiyatlara dayanılarak hazırlanan bütçelerin gerçekleşme düzeyinin düşük olması veya kamu ihalelerindeki tenzilat oranlarının yüksek olmasına bahane ya da dayanak olarak gösterilmektedir.

Ayrıca, inşaat sektöründe sağlıklı bir kaynak ve süre planlaması yapabilmek için üretim sürecinde kullanılacak kaynakların miktar ve niteliğinin bilinmesi önem arz etmektedir. Kaynak miktarları belirlenirken bu konuda referans kabul edilen önemli dokümanlardan birisi de birim fiyat analizleridir. Dolayısıyla, analiz verilerinin gerçekçi olup olmaması, bunların referans alındığı her türlü çalışmanın güvenilirlik düzeyini de etkileyecektir.

Bu çalışmada, bayındırlık birim fiyat analizlerinde yer alan kaynak miktarlarının mevcut piyasa değerlerini ne ölçüde yansıttığı ve şayet bir sapma varsa bunun düzeyinin ne olduğu konusunda değerlendirmeye olanak sağlayacak veri oluşturulması hedeflenmiştir. Bu bağlamda, bayındırlık analizlerinde yer alan 18 adet iş kaleminin, gerçek uygulama koşullarını yansıtan şantiyelerde iş ölçümleri yapılmış ve bulunan sonuçlar bayındırlık analizleri ile kıyaslanarak yorumlanmıştır.

## 2. BAYINDIRLIK VE İSKAN BAKANLIĞI BİRİM FİYAT SİSTEMİ

Bayındırlık ve İskan Bakanlığınca oluşturulmuş bulunan birim fiyatlar, birbiriyle ilintili çeşitli dokümanlarda yer alan bilgilere dayanmaktadır. Dolayısıyla, birim fiyatlar ile ilgili değerlendirme yapabilmek için, konunun dayanaklarıyla birlikte ve bir sistem bütünlüğü içinde ele alınması gerekmektedir (1). Birim fiyat sistemi içinde yer alan en önemli dokümanlar ve bunların içerikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- **Teknik Şartname:** Yapı üretiminde yer alabilecek her türlü imalatın, teknik sağlık ve estetik gereklilikler göz önünde bulundurularak niteliklerinin tanımlanmış bulunduğu dokümandır (2).

- **Birim Fiyat Analizi:** Kalite standartları teknik şartnamede belirlenmiş bulunan imalatların bir biriminin üretilmesi için gerekli olan kaynakların (malzeme, işçilik ve makine olmak üzere), cins, miktar ve niteliklerinin ayrıntılı olarak belirlenmiş olduğu (analiz edildiği) dokümandır. Analizde yer alan kaynak miktarları ve/veya kullanım süreleri belirlenirken, bunların şantiyede hazır bulunduruldukları ve işlerin normal koşullarda gerçekleştirileceği kabul edilmiştir. Fiyat analizleri periyodik olarak güncellenmemekte, yapı üretimine yeni giren imalatlar olduğunda bunların analizleri yapılarak söz konusu dokümana ilave edilmektedir (3).

- **Rayiç Listesi:** Birim fiyat analizinde tanımlanmış bulunan işçilik, makine ve malzemelerin birim fiyatlarının yer aldığı dokümandır. Rayiç fiyatlar ülke genelinden



toplanan verilere göre belirlenmekte ve bir takvim yılı süresince ülke genelinde geçerli olmaktadır (4).

• **Birim Fiyat Listesi:** Birim fiyat analizinde belirlenen kaynak miktarları ile, rayiç listesindeki aynı kaynaklara ait fiyatlar kullanılarak yapı üretiminde yer alan imalatların birim fiyatları oluşturulmaktadır. Bu fiyatlar ülke genelinde ve bir takvim yılı süresince geçerli olmaktadır (5).

• **Birim Fiyat Tarifleri:** Yapılacak imalatın birimi için ödenecek fiyatın hakedilebilmesi için, işin hangi kapsamda yapılması gerektiğinin tarif edildiği dokümandır. Bu doküman periyodik olarak güncellenmemekte, yapı üretimine yeni giren imalatlara yönelik birim fiyatlar oluşturulduğunda, bunların tarifleri de hazırlanmaktadır (6).

Anlaşılabileceği gibi, bayındırlık fiyatlarını etkileyen dört ayrı değişken bulunmaktadır. Teknik şartname ve birim fiyat tariflerinde yer alan tanım ve koşulların her durumda sağlanması gerektiği, diğer bir ifadeyle bunların birer sabit girdi olarak kabul edileceği varsayıldığında, birim fiyatın oluşmasında çarpan etkisine sahip iki değişkenden birisi rayiç fiyatlar, diğeri ise, analizlerde yer alan kaynak miktarları olmaktadır. Rayiç fiyatların, ülke genelindeki ortalama bir değerleri yansıtılmaları nedeniyle, yöreye ve yerel koşullara bağlı olarak belirli ölçülerde değişkenlik göstermeleri kaçınılmazdır. Bu durumda, birim fiyatların düzeyini doğrudan etkileyen ve standardize edilebilecek değişkenler, birim fiyat analizinde yer alan kaynak miktarları olmaktadır.

### **3. MATERYAL VE METOT**

#### **3.1. İş Ölçümü Yapılacak İş Kalemlerinin Belirlenmesinde Göz Önünde**

##### **Bulundurulacak Kriterler**

Bayındırlık ve İskan Bakanlığının bina yapılarına yönelik 1200 adetten fazla analizi bulunmaktadır (3). Ancak bunlardan bazıları (duvar, sıva, doğrama yapımı gibi) bina elemanlarının doğrudan üretimi ile ilgili işlere ait, bir bölümü ise, (iskele yapımı, harç hazırlanması gibi) yardımcı işlere ait analizlerdir. Doğrudan üretimle ilgili analizlerin sayısı 70 düzeyindedir.

Birim fiyat analizlerinde kaynaklar işgücü, makine gücü ve malzeme olmak üzere üç grup altında toplanmıştır. Malzeme miktarları, fiziki boyutları bilinen yapı elemanları esas alınarak ve somut ölçüm yöntemleriyle belirlenmiş bulunduğundan bunlarla ilgili metrajlarda hata olasılığı oldukça düşüktür.

Özellikle ülkemizde inşaat sektöründe emek yoğun bir üretim yapılmakta olduğundan bünyesinde makine kullanılan iş kalemi sayısı oldukça sınırlıdır.

Belirtilen nedenler ve şantiye ortamında iş ölçümü yapmanın zorlukları göz önünde bulunmaktadır, bayındırlık analizleri ile kıyaslanmak üzere iş ölçümü yapılacak iş kalemleri seçilirken, iş gücü ile gerçekleştirilen, doğrudan yapı üretimine giren, fazla karmaşık olmayan ve izlenmesi kolay işlere öncelik verilmiştir. Bu kapsamda, Tablo-1'de görülen 18 kalem işin iş ölçümünün yapılması öngörülmüştür (3).

Tablo 1. İş Ölçümü Yapılacak İş Kalemleri Ve Tanımları

İş Kalemi	Poz No	İlgili Olduğu İmalat
1	16.001	150 doz demirsiz beton
2	16.022/1	Demirli BS 14 (B160) betonu
3	17.136	Ocak taşı ile blokaç
4	18.071/1	Yatay delikli 19*19*8.5 tuğla duvar yapılması
5	18.071/2	Yatay delikli 19*19*13.5 tuğla duvar yapılması
6	18.081/6	Yatay delikli 19*29*13.5 tuğla duvar yapılması
7	21.011	Düz yüzeyli betonarme kalıbı
8	21.054	Ahşap kalıp iskelesi
9	23.002	İnce betonarme demiri
10	25.021	3 kat yağlı boya yapılması
11	25.045	3 kat kireç badana yapılması
12	25.048/1	3 kat plastik badana yapılması
13	26.071	Beyaz karo fayansla döşeme kaplaması yapılması
14	26.191/1	Seramik döşeme kaplaması yapılması
15	26.502	Karo döşeme kaplaması yapılması
16	27.501	Dış sıva yapılması
17	27.531	İç sıva yapılması
18	27.535	Tavan sıvası yapılması

### 3.2. İş Ölçümü İle İlgili Kabul ve Kısıtlar

İş ölçümünde çeşitli yöntemler kullanılmakta olup, bunların bir bölümü doğrudan ölçüme, bir bölümü de teorik kabullere dayanmaktadır (7). Bu çalışma kapsamında yapılan iş ölçümlerinde doğrudan ölçüm yöntemi benimsenmiştir. Doğrudan iş ölçümünde, ölçümü yapılacak işlerin, gerçek uygulanma koşullarında izlenerek işlem sürelerinin kronometrik olarak ölçülmesi ve ölçüm sonucu bulunan değerlerin standart zamanlara dönüştürülmesi öngörülmektedir.

İş sürelerinin kronometrik olarak şantiye ortamında ölçülmesi, imalat sanayinde olduğu gibi kolay ve pratik olamayacağı kuşkusuzdur. Ayrıca, inşaat işleri, nitelikleri gereği bir ekip çalışması ile gerçekleştirildikleri için, ortaya çıkan her iş, ekip performansını yansıtmaktadır. Dolayısıyla, ekip üyelerinin her birinin aktif olarak işe katılım sürelerinin ölçülmesinin pratik bir yararı bulunmamaktadır. Ekiple gerçekleştirilen işlerde önemli olan husus, ekibi oluşturan elemanların nitelik ve sayılarının, ekip verimini maksimum düzeye çıkaracak şekilde belirlenmesidir. Burada yapılan ölçümün amacı, uygulama koşullarındaki performansın saptanması olduğundan, şantiyelerde yüklenici ve taşeronların deneyim ve sezgilerine dayanarak oluşturdukları ekiplerin nitelik ve nicelik olarak kompozisyonun uygun yapıda olduğu kabul edilmiştir.

### 3.3. Ölçüm Sayılarının Saptanması

Yapılacak iş ölçüm sonuçları Bayındırlık ve İskan Bakanlığı analiz sonuçları ile kıyaslanacağı için, iş ölçümlerinin, Bayındırlık Birim Fiyat Tariflerinde öngörülen kapsamda yapıldığı şantiye ve ortamlarda gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. İş ölçümü yapılacak 18 iş kaleminden her birinin yapım süreci, belirtilen nitelikteki 30 ayrı şantiyede izlenerek elde edilen bulgular kaydedilmiştir.

Ayrıca farklı işyeri koşullarının ekip verimliliklerine yansımalarını daha etkin biçimde dikkate alarak ölçüm sonuçlarının güvenilirlik ve temsil gücünü artırmak amacıyla, deneyimlerine güvenilen 18 taşeronun (uzman ekibin) söz konusu iş kalemlerine yönelik ekip kompozisyonu ve performansı konusundaki öngörülerini alınmıştır. Böylece, her bir işin biriminin gerçekleştirilmesi için gerekli olan iş gücü miktarı ile ilgili 48 adet veri elde edilmiştir.

### 3.4. İş Ölçümünün Gerçekleştirilmesi

#### 3.4.1. Standart Zamanın Hesaplanması

• İş ölçümü sonucu ulaşılmak istenen ve genellenebilir nitelikteki kaynak kullanım süresi “Standart Zamanı (ST)” olarak adlandırılmakta ve aşağıdaki eşitlikte yer alan değişkenlere bağlı olarak belirlenmektedir (7)

$$NZ = \ddot{O}Z \times R \quad (1)$$

$$ST = NZ (1 + \alpha) \quad (2)$$

Burada,

ST = Standart Zamanı,

ÖZ = Ölçülen Zamanı,

R = Tempoyu,

$\alpha$  = Toleransları

ifade etmektedir.

• Şantiyelerde gözlem sonucu belirlenen ve deneyime dayalı olarak taşeronlardan alınan bilgilere göre iş süreleri, Ölçülen Zaman (ÖZ) olarak tanımlanmıştır.

İş ölçümlerinde, izlenen işin gerçekleştirilme hızının, olması gerekene ne düzeye yaklaştığının bilinmesi önem taşımaktadır. Ancak, çalışma koşullarına, çalışanların gücüne, gayretine ve işi öğrenme düzeylerine bağlı olarak iş veriminde önemli değişiklikler olabilmektedir. Ölçümü yapılan işin gözlemlenen gerçekleştirilme süresinin, normal gerçekleşme süresine oranına “Tempo” denilmektedir. İnşaat işlerinin özelliği gereği, işlerin normal gerçekleştirilme sürelerinin tespitinin çeşitli güçlükleri bulunması nedeniyle ve taşeronların benzer işleri defalarca yapmaları sonucu öğrenme sürecini tamamlamış olacakları düşünülerek, bu çalışmada, **Ölçülen Zamanın (ÖZ) Normal Zamana (NZ) eşit** olduğu kabul edilmiş, diğer bir ifadeyle tempo “1” olarak alınmıştır.

• Ölçümü yapılan işlerin gerçekleştirilme koşullarındaki küçük değişiklikler ve çalışanların yorulmasına bağlı tempo düşmelerini dikkate alabilmek için, Normal zaman (NZ) değerlerinin, “Tolerans” olarak ifade edilen bazı düzeltme katsayılarıyla çarpılması gerekmektedir. Toleranslar genelde, Kişisel İhtiyaç Toleransları, Yorulma

Toleransları ve Gecikme Toleransları olarak gruplandırılmaktadırlar. Literatürde, kişisel ihtiyaç toleransları % 2 ile %5 arasında değiştiği; yorulma toleransları, işin niteliği ve gerçekleştirilme koşulları dikkate alınarak Tablo-2'de görülen sınır değerleri arasında olabileceği; gecikme toleransları ise, işin yapım sürecinde beklenen ya da beklenmeyen nedenlere dayalı olarak bir gecikme toleransının öngörülebileceği ifade edilmektedir (7). Bu çalışmada, yapılan işlerin nitelikleri ve çalışma koşulları dikkate alınarak, Tablo-3'de görülen toleranslar uygulanmıştır.

**Tablo 2.** Yorulma Toleransları

Yorulma Toleransları Grubu		Tanımı	Değeri (%)
1. Grup	Bedensel Çaba Yorgunluğu ve Beceri	Çok hafif	2
		Hafif ve ustalık isteyen	4
		Orta ağırlıkta ve ustalık isteyen	8
		Ağır	16
		Çok ağır	24
2. Grup	Düşünsel Çaba Yorgunluğu	%30-40 yoğunluk için	1
		%41-50 yoğunluk için	2
		%51-75 yoğunluk için	4
		%76' dan fazla	8
3. Grup	Çalışma Esnasındaki Duruş Pozisyonu	Oturma	1
		Ayakta	2
		Eğilme veya uzanma	3
		Yürüme	10
4. Grup	Gürültü	Normal sesle konuşmak mümkünse tolerans verilmez	-
		Konuşmak için ses yükseltmek gerekiyorsa	1
		Ancak bağırarak konuşulabiliyorsa	2
		Gürültü konuşmayı engelliyorsa	4
		Düzensiz sürekli normal gürültü varsa	1
5. Grp.	Göz Yorgunluğu	Çıplak gözle yapılan işler için tolerans verilmez	-
		Gözlük vb. aletler kullanılıyorsa	4
		Mikroskop vb. aletler kullanılıyorsa	6
6. Grup	Çevre Şartları	Büro vb yerler için tolerans verilmez	-
		Duman, yağ kokusu vb.' ye maruz yerlerde	3
		Aşırı rahatsızlık veren unsurlar varsa	6
		Aşırı sıcak ve soğuğa maruz yerler	6
		Zararlı kimyasal maddelerin bulunduğu yerler	6

**Tablo 3.** İş Gücü Sürelerinde Kullanılan Toleranslar

Tolerans Grubu		Öngörülen Tolerans (%)	
		Usta	İşçi-Yrd.
Kişisel İhtiyaçlar Toleransı		2	2
Yorulma Toleransları	1. Grup	8	8
	2. Grup	-	-
	3. Grup	2	3
	4. Grup	-	-
	5. Grup	-	-
	6. Grup	6	6
Gecikme Toleransı		-	-
<b>Toplam</b>		<b>18</b>	<b>19</b>

#### 3.4.2. Verilerin Toplanması ve İşlenmesi

İş ölçümüne esas olacak yerlerin toplanması amacıyla iki form geliştirmiştir (Tablo-4 ve Tablo-5). Bunlardan birisine, Tablo-1’de görülen işlerin her birinin, 30 ayrı şantiyede iş süreçleri izlenerek yapılan ölçüm sonuçları; diğerine ise, gene aynı işlere ait 18 taşerondan alınan performans bilgileri işlenmiştir. Formlar oluşturulurken, iş ekiplerinin niteliği ve kompozisyonu ile her ekibinin 8 saatlik günlük çalışma süresinde yaptığı iş miktarının belirlenmesi hedeflenmiştir.

Önce her iş kaleminin, gözlem ve taşeron deneyimine dayalı iş verimi sonuçları dikkate alınarak ortalama Ölçülen Zaman (ÖZ) bulunmuş, sonra, (1) ve (2) formüller uygulanmak suretiyle Standart Zamanı (ST) saptanmıştır (Tablo-6 ve Tablo-7). Daha sonra da, her bir işin gözlem ve taşeron verilerine dayalı standart zamanlarının ortalaması alınarak, bu işlere ait işgücü kullanımına esas Standart Zamanlar (SZ), Tablo-8’de görüldüğü şekilde bulunmuştur (8).

**Tablo 4.** Gözleme Dayalı İş Gücü Süre Ölçüm Formu

Sıra No	Ölçümün Alındığı İnşaat	Gerçekleştirilen İmalat Miktarı	Birimi	Ekip Elemanı Sayısı			Süre (Gün)
				Usta	Yrd.	İşçi	

**Tablo 5.** Taşeron Performansına İş Gücü Süre Ölçüm Formu

Sıra No	Poz No	Tanım	Bir Günde Gerçekleştirilen İmalat Miktarı	Birimi	Günlük Üretimde İstihdam Edilen Elemanların Sayısı ve Niteliği

**Tablo 6.** Gözleme Dayalı Ölçüm Sonuçları Değerlendirme Formu

İmalatın Tanımı: .....

Sıra No	Ölçümün Yapıldığı İnşaat	Ekip Elemanları ve Sayısı			Süre (Gün)	İmalat Miktarı	Birim İmalatta Kullanılan İş Gücü			Birim İmalatın Gerçekleştirilme Süresi		
		Usta (Ad.)	Yrd. (Ad.)	İşçi (Ad.)			Gün*8 saat*İşçilik			Usta (Ad.)	Yrd. (Ad.)	İşçi (Ad.)
							Usta (Adet)	Yrd. (Adet)	İşçi (Adet)			
1												
2												
3												
30												
Değerlendirme	TOPLAM SÜRE (SAAT)											
	ORTALAMA NORMAL ZAMAN=TOPLAM SÜRE/ÖLÇÜM ADEDİ											
	STANDART ZAMAN=NORMAL ZAMAN*(1+TOLERANS DEĞERİ)											

**Tablo 7.** Taşeron Performanslarına Dayalı Sonuçların Değerlendirme Formu

İmalatın Tanımı: .....

Sıra No	Performansın Ait Olduğu taşeron	Ekip Elemanları ve Sayısı			Süre (Gün)	İmalat Miktarı	Birim İmalatta Kullanılan İş Gücü			Birim İmalatın Gerçekleştirilme Süresi		
		Usta (Ad.)	Yrd. (Ad.)	İşçi (Ad.)			Gün*8 saat*İşçilik			Usta (Ad.)	Yrd. (Ad.)	İşçi (Ad.)
							Usta (Adet)	Yrd. (Adet)	İşçi (Adet)			
1												
2												
3												
18												
Değerlendirme	TOPLAM SÜRE (SAAT)											
	ORTALAMA NORMAL ZAMAN=TOPLAM SÜRE/ÖLÇÜM ADEDİ											
	STANDART ZAMAN=NORMAL ZAMAN*(1+TOLERANS DEĞERİ)											

**Tablo 8.** İncelenen Pozlara Ait Ölçüm Sonuçları İcmali

İncelenen Pozlara Ait Ölçüm Sonuçları					
No	Poz No	İmalatın Tanımı	Usta (Saat)	Yrd. (Saat)	İşçi (Saat)
1	16.001	150 doz demirsiz beton dökülmesi	0.530	----	2.155
2	16.022/1	Demirli BS 14 (B160) betonu dökülmesi	0.740	0.608	2.427
3	17.136	Ocak taşı ile blokaj yapılması	1.279	----	2.355
4	18.071/1	Yatay delikli 19*19*8.5 tuğla duvar yapılması	0.379	----	0.560
5	18.071/2	Yatay delikli 19*19*13.5 tuğla duvar yapılması	1.936	----	2.508
6	18.081/6	Yatay delikli 19*29*13.5 tuğla duvar yapılması	1.505	----	2.241
7	21.011	Düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması	0.558	----	0.623
8	21.054	Ahşap kalıp iskelesi yapılması	0.234	0.242	0.246
9	23.002	İnce betonarme demirlerinin işlenmesi	12.258	15.531	12.145
10	25.021	3 kat yağlı boya yapılması	0.704	----	----
11	25.045	3 kat kireç badana yapılması	0.122	----	0.123
12	25.048/1	3 kat plastik badana yapılması	0.172	----	0.187
13	26.071	Beyaz karo fayansla döşeme kaplaması yapılması	0.836	----	0.681
14	26.191/1	Seramik döşeme kaplaması yapılması	0.618	----	0.504
15	26.502	Karo döşeme kaplaması yapılması	0.424	----	0.650
16	27.501	Dış sıva yapılması	0.626	----	0.433
17	27.531	İç sıva yapılması	0.573	----	0.379
18	27.535	Tavan sıvası yapılması	0.747	----	0.503

#### 4. BULGULAR

Belirtilen kabuller doğrultusunda yapılan iş ölçümü ile bulunan 18 iş kalemine ait kaynak kullanım süreleri ile Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Birim Fiyat Analizindeki aynı işlere ait kaynak kullanım süreleri, kıyaslanmalarına olanak verecek şekilde Tablo-9'da verilmiştir. 18 iş kaleminden, usta mesaisi gerektiren 3 iş, çırak mesaisi gerektiren 1 iş dışında kalan ve düz işçi mesaisi gerektiren işlerin tümünde Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Analizlerinde öngörülen kaynak kullanım sürelerinin, gerçek uygulama koşullarında harcanan kaynak kullanım sürelerinden daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle 9,13,14 sıra nolu işlerin usta mesaisinde, 9 1, 2, sıra nolu işin çırak mesaisinde, 1,2,3 ve 9 sıra nolu işlerin düz işçi mesaisindeki farklar oldukça büyük boyutlardadır. 9 sıra nolu işin dışındaki işlerde, usta, çırak ve düz işçi kullanım sürelerindeki değişim rastgele dağılmış durumda; ancak, 9 nolu "İnce Betonarme Demirlerinin İşlenmesi" işine ait usta, çırak ve düz işçi-saat sürelerinin hepsinde ve oldukça büyük boyutlarda sapma olduğu görülmektedir.

**Tablo 9.** Bayındırlık Fiyat Analizler İle İş Ölçümü Sonuçlarının Kıyaslanması

Analiz Verileri ve Ölçüm Sonucu Bulunan İş Gücü kullanım Süreleri ve Aralarındaki Fark										
No	Poz No	Usta-Saat			Yardımcı (Çırak)-Saat			Diğer İşçi-Saat		
		B.F.A. <sup>1)</sup> (a)	Ölçüm <sup>2)</sup> (b)	Fark (a-b)	B.F.A. <sup>1)</sup> (a)	Ölçüm <sup>2)</sup> (b)	Fark (a-b)	B.F.A. <sup>1)</sup> (a)	Ölçüm <sup>2)</sup> (b)	Fark (a-b)
1	16.001	0.50	0.530	-0.03		----		8.000	2.155	5.85
2	16.022/1	1.00	0.740	0.26	0.720	0.608	0.11	8.500	2.427	6.07
3	17.136	2.00	1.279	0.721	----	----		4.000	2.355	1.65
4	18.071/1	0.40	0.379	0.021	----	----		1.120	0.560	0.56
5	18.071/2	2.00	1.936	0.064	----	----		5.341	2.508	2.83
6	18.081/6	1.40	1.505	- 0.105	----	----		3.860	2.241	1.62
7	21.011	0.75	0.558	0.192	----	----		0.750	0.623	0.13
8	21.054	0.12	0.234	- 0.114	0.036	0.242	-0.21	0.600	0.246	0.43
9	23.002	20.00	12.258	7.742	30.00	15.531	14.47	35.000	12.145	22.86
10	25.021	1.40	0.704	0.696	----	----	----	----	----	
11	25.045	0.12	0.122	- 0.002	----	----	----	0.120	0.123	0.00
12	25.048/1	0.50	0.172	0.328	----	----	----	0.500	0.187	0.31
13	26.071	2.00	0.836	1.164	----	----	----	1.492	0.681	0.81
14	26.191/1	2.00	0.618	1.382	----	----	----	1.247	0.504	0.74
15	26.502	1.25	0.424	0.826	----	----	----	3.014	0.650	2.36
16	27.501	1.00	0.626	0.374	----	----	----	0.755	0.433	0.32
17	27.531	0.70	0.573	0.127	----	----	----	0.575	0.379	0.20
18	27.535	0.80	0.747	0.053	----	----	----	0.642	0.503	0.14

<sup>1)</sup> Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Genel Fiyat Analiz Verileri

<sup>2)</sup> Uygulama Koşullarında Yapılan Ölçüm sonucu Bulunan Değerler

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Genelde inşaat sektörü iş gücü-yoğun bir sektördür. Sektörün bu özelliği ülkemizde çok daha belirgindir. İş gücü kaynağının gerçekçi saptanmadığı analizlere dayalı olarak oluşturulan fiyatların baz alındığı bütçe, keşif ve iş programlarında uygulama aşamasında önemli sapmaların meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bu durum, gerçekçi bir kaynak planlaması ve yönetimi için önemli bir engeldir.

Bu çalışma kapsamında yapılan iş ölçümleri sonunda bulunan işgücü kullanım süreleri ile Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Analizlerinde öngörülen süreler arasında önemli farklılıklar olduğu saptanmıştır. Bu farkların imalatların bir birimi için söz konusu olduğu, sıradan bir inşaatta bile örneklenen imalatların büyük miktarlarda üretildiği düşünülürse, bu analiz farklılıklarından kaynaklanacak maliyet sapmalarının büyük miktarlara ulaşacağı malumdur.

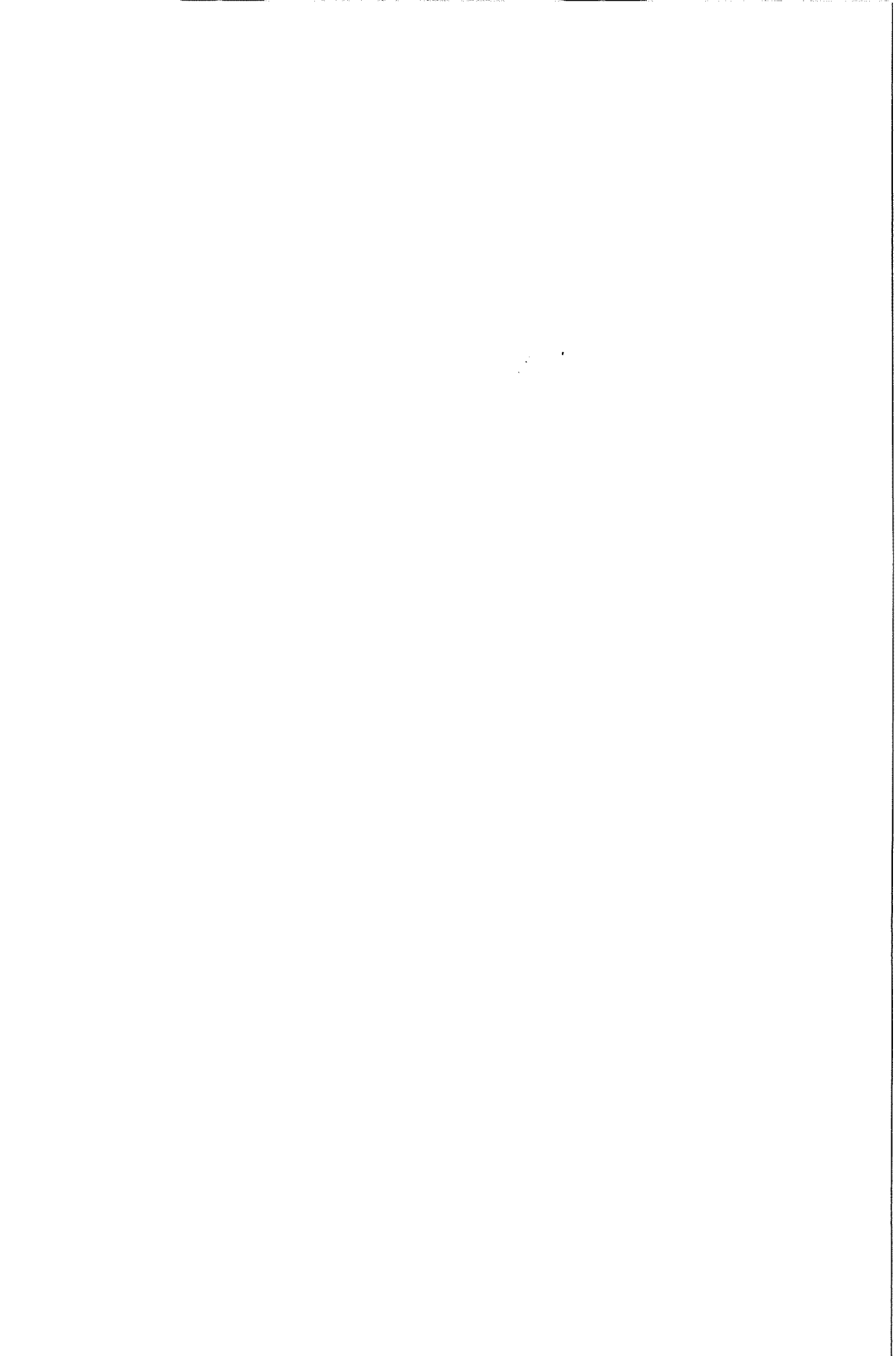
Zamanla, işgücünün eğitim düzeyindeki gelişmeler, yüklenicilerin eğitim düzeyi ve yönetim formasyonlarında meydana gelen iyileşmeler ve işlerin uygulanmasında kazanılan pratiklik, inşaat işlerinde işgücü kaynağı kullanım sürelerinde kısaltmaya



neden olması doğaldır. Dolayısıyla, uzun süreden beri güncellenmemiş olan bayındırlık analizlerinin, gözden geçirilerek gerçekçi bir zemine oturtulması ve belirli aralıklarla güncellenmeleri gerekmektedir. Aksi halde, kamu sektörü yanında özel sektör tarafından da çeşitli amaçlarla kullanılmakta olan bayındırlık birim fiyatların dayanaklarının gerçekçi olmaması, bunların baz alındığı değerlendirmelerin hata payı gittikçe artacaktır.

## **6. KAYNAKLAR**

1. Pancarcı,A., Öcal,M.E., “Yapı İşletmesi ve Maloluş Hesapları”, Birsen Yayınevi, İstanbul,1999.
2. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Genel Teknik Şartname, 2000.
3. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Genel Fiyat Analizleri, 1998.
4. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, İnşaat Birim Fiyatlarına Esas Rayiç Listesi 2004.
5. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, İnşaat Birim Fiyatları, 2004.
6. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, İnşaat Birim Fiyatları Eki Birim Fiyat Tarifleri, 2000.
7. Kabu,B., “Üretim Yönetimi”, Avcıol Basım-yayın, İstanbul, 1999.
8. Tat,A., “Bayındırlık İşleri Birim Fiyat Analizlerindeki İşgücü ve Makine Gücü Verimliliklerinin İrdelenmesi”, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 152 s., Adana, 2000.



## İNŞAAT PROJELERİNDE YATIRIM KARARI SÜRECİNİN ANALİZİ İLE İLGİLİ BİR MODEL ÖNERİSİ

**M. Emin ÖCAL ve İlker GÖNEN**

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

**ÖZET :** *Bu çalışmada özellikle inşaat sektöründe yatırım kararları alınırken bilimsel yöntemlerle fizibilite etüdü yapılması alışkanlığının yaygınlaştırılmasına katkı sağlanması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda yapı üretimine özgü koşulların göz önünde bulundurulduğu bir yapılabirlik etüt çalışması modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model uygulama içinden gerçek bir inşaat projesine uygulanmıştır.*

### **A MODEL SUGGESTION ON THE ANALYSIS PROCESS OF INVESTMENT DECISIONS IN CONSTRUCTION PROJECTS**

**ABSTRACT :** *The aim of this study is to support the use of the feasibility studies based on scientific methods while taking investment decisions especially in construction sector. In order to achieve this, a feasibility study model that includes the specific characteristics of construction have been developed. The model has been validated by applying it to a construction project.*

## 1. GİRİŞ

Yatırıma ayrılan kaynakların verimli ve etkin kullanılabilmesi için, seçilen projelerin gerekliliği ve önceliği doğru saptanmalıdır. Bunun sağlanabilmesi için, öngörülen yatırımın hangi amaç ya da amaçlarla yapılacağı, nerede ve ne kadar kaynak kullanılarak gerçekleştirilebileceği; bunun sosyal, ekonomik ve çevresel yönden getirisinin neler olacağı konularında veri toplanması ve bunların gerçekçi biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir. Yatırım kararının oluşturulması aşamasında yapılan bu çalışmaya, “Yapılabilirlik Etüdü (Fizibilite)” denilmektedir. Yapılabilirlik etüdünün sonucuna göre söz konusu yatırımın yapılmasına, ertelenmesine ya da hiç yapılmamasına karar verilmektedir. Bu bağlamda yapılabilirlik etüdü, alternatifler arasından en uygun yatırım alanının seçilmesi ve yatırıma karar verilen projenin, beklentileri ne düzeyde karşılayacağını önceden bilinmesine; üstlenilen risklerin değerlendirilmesine ve gerekli önlemlerin geliştirilmesine olanak sağlayan önemli bir araçtır.

Her müteşebbisin, hangi boyutta olursa olsun, yatırım kararı almadan bazı ön araştırmalar yapacağı kuşkusuzdur. Ancak, bu araştırmaların belirli bir sistematığe göre yapılmaması durumunda veri toplama ve değerlendirmede önemli gözden kaçmalar olabilmekte ve buna bağlı olarak ciddi hatalar yapılmaktadır. Bu nedenle günümüzde, yatırımın türü veya kapsamına göre detayda bazı farklılıklar olmakla birlikte, olabilirlik çalışmalarına yönelik genel bir sistematik oluşmuştur.”

Türkiye’de, kamu kuruluşları da dahil olmak üzere, müteşebbislerin çok büyük kısmının olması gereken kapsam ve içerikte olabilirlik etüdüne dayalı yatırım yaptıklarını söylemek güçtür. Özellikle inşaat sektöründe bina yapısı üreten küçük yüklenicilerin, bir projeye karar verirken tamamen kendi önsezilerine dayalı ve içgüdüsel bir tutumla hareket ettikleri bilinmektedir. Bunun sonucu olarak başlanılan projelerden beklenen sonuç alınmadığı için yüklenici ile birlikte projeye taraf olanlar ciddi kayıplara uğramaktadırlar.

Belirtilen nedenlerle bu çalışmada, özellikle bina inşaat yatırımı yapan yükleniciler tarafından kullanılacak bir yapılabilirlik etüdü modeli geliştirilmesi hedeflenmiştir. Böylece, ülkemizde, sözü edilen çevrede konunun öneminin anlaşılmasına ve yapılabilirlik etüdü yapma alışkanlığının yaygınlaşmasına katkı sağlanabileceği umulmaktadır. Bu bağlamda önce, yapılabilirlik etüdünün genel sistematığı özetlenmiş, sonra, inşaat sektöründe yapılabilirlik çalışmasında uygulanabilecek model tanımlanmış; daha sonra da, önerilen model gerçek bir projeye uygulanarak elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

## 2. YAPILABİLİRLİK (FİZİBİLİTE) ETÜDÜNÜN KAPSAM VE AŞAMALARI

Yapılabilirlik etüdü, bu çalışmaya konu olan projenin bulunduğu aşama ve toplanması istenen verilerin ayrıntı düzeyine göre farklı süreçlerden geçilerek ve farklı kapsamda yapılmaktadır. Bu konuda oluşmuş genel yaklaşım aşağıda özetlenmiştir.

### 2.1. Olanak Etütleri (OE)

Yatırım süreci, yatırım yapılabilecek projeler ile ilgili fikirler toplanarak bunların değerlendirildiği ve bir ön elemeye tabi tutulduğu ‘Proje Oluşturma’ aşaması ile başlamaktadır. Bu aşamada, ileride tekrar değerlendirmeye tabi tutulacak projeler

listelenmektedir. Proje listesi ve bunların kabaca tahmin edilmiş maliyetlerinin yer aldığı bu çalışmaya ‘Proje Olanakları Etüdü’ veya ‘Olanak Etüdü’ denilmektedir (1, 2). Olanak etütleri taslak niteliğinde olup ayrıntılı analizlerden çok, tahminlere dayamaktadırlar.

Proje listesi oluşturulurken uygulanan ön eleme, başarılı olma umudu verebilen fikirleri bir proje çalışması aşamasına indirgeme faaliyeti olarak tanımlanabilir (3).

## **2.2. Ön Yapılabilirlik Etüdü (ÖYE)**

Yapılabilirlik etütleri, zaman alıcı ve belirli bir maliyet yükü getiren çalışmalardır. Yapılan çalışmanın ayrıntı düzeyi artıkça harcanan zaman ve parasal kaynak da artmaktadır. Bu nedenle, kabul edilebilirliği henüz belirsiz olan bir projenin yapılabilirlik etüdü için gereğinden fazla kaynak ayırmamak için, bir ön yapılabilirlik çalışmasının yapılması uygun olmaktadır. ÖYE ile, yatırım konusunun incelemeye değer olup olmadığı araştırılmaktadır. ÖYE’den olumlu sonuç alınması halinde, ayrıntılı yapılabilirlik etüdü çalışmasına başlanılmaktadır.

## **2.3. Ayrıntılı Yapılabilirlik Etüdü (AYE)**

AYE; yatırımcının ne üreteceğini, nereye satacağını, nasıl üreteceğini, ne boyutta bir yatırım yapacağını, yatırımı nereye yapacağını ve ne kazanacağını gösteren bir rapor olarak tanımlanabilir. Başka bir ifadeyle; AYE, kesin yatırım kararı verilip uygulamaya esas teknik çizimlerin hazırlanması için yapılan ve yatırım projesinin teknik, ticari, finansal, ekonomik, sosyal ve kurumsal yapılabilirliklerini analiz eden kapsamlı bir çalışmadır (3). Bu çalışmaların bir metin içerisinde toplanmış haline ise ‘‘Yapılabilirlik Etüdü Projesi’’ denilmektedir (4).

## **2.4. Yapılabilirlik Etütlerinin Kapsamı**

Yapılabilirlik etüdü çalışmasında incelenecek konular ve bunların ayrıntı düzeyi, yatırım kararında bulunulan aşama, yatırım konusunun özellikli veya sıradan oluşu ve parasal boyutuna göre değişmektedir. Bu aşamada gereksiz zaman ve para kaybına neden olmamak için, yapılacak çalışmalarının kapsamının doğru belirlenmesi gerekir. Ancak, yapılacak çalışmaların kapsamı ne olursa olsun, bunun belirli bir sistematik içinde yürütülmesi gerekmektedir. Halen bu konuda yaygın kullanılmakta olan ve kabul görmüş genel şablona göre yapılabilirlik etütleri, Ekonomik, Teknik ve Finansal Analiz olmak üzere üç ana başlık altında yürütülen detay çalışmalarını içermektedir (1).

Şüphesiz her boyuttaki yatırım için aynı kapsamda araştırma yapılması gerekemeyebilir. Örneğin, küçük bir işletme oluşturulmasına yönelik ön araştırmalar, girişimcinin kendisinin tamamlayabileceği boyut ve kapsamda olurken, büyük ölçekli bir yatırım projesinin yapılabilirlik çalışmaları, mühendis ve/veya matematikçi, iktisatçı, mali analist veya işletmeci gibi farklı disiplinlere mensup elemanlardan oluşan bir ekip tarafından yapılabilecek boyutta detaylar içermektedir (5).

### 3. İNŞAAT PROJELERİNDE YAPILABİLİRLİK ETÜDÜ ÇALIŞMASI İLE İLGİLİ MODEL ÖNERİSİ

#### 3.1. Modelin Varsayımları

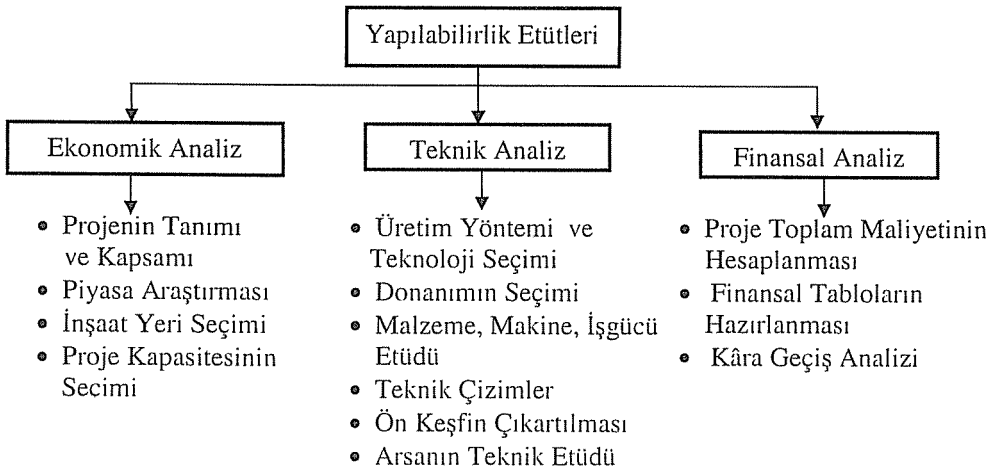
İnşaat giderleri, projenin ilgili olduğu sektörlerle ve sanayi kollarına göre değişmekle birlikte her yatırım içinde önemli bir yere sahiptir. Mal ve hizmet üretimi yatırımlarında yapılabİLİRLİK etütlerinin odaklandığı nokta, yatırım sonucunda üretilecek ürün olmasına karşın, inşaat yatırımlarında inşaat eserinin kendisi olmaktadır. Dolayısıyla inşaat projelerinde uygulanacak yapılabİLİRLİK etütlerinde de bu konudaki genel şablonun kullanılması mümkün görünmektedir. Belirtilen nedenle bu çalışmada oluşturulan modelde, yapılabİLİRLİK etüdü genel şablonu kullanılmış ancak, verilerin toplanması ve bunların değerlendirilmesinde, yapı üretiminin kendine özgü koşulları ön plana çıkarılmıştır.

#### 3.2. Modelin Kısıtları

İnşaat projelerinin niteliğinin, yapılabİLİRLİK etüdü çalışmalarının kapsam ve niteliğini de etkilemesi; örneğin, bir su yapısı veya ulaştırma yapısı ile konut yapısı yatırım kararları için toplanacak veri ve değerlendirme yöntemlerinde bazı farklılıkların olması kaçınılmazdır. Bu çalışmada oluşturulan model, genel yaklaşımı itibariyle her türlü inşaat projesinin yapılabİLİRLİK etüdüde kullanılabilir olmakla birlikte, özgün olarak, gerçek veya tüzel kişiliğe sahip yükleniciler tarafından üretilecek yap-sat veya sat-yap türü münferit ya da toplu konut yapılarında kullanılmak üzere kurgulanmıştır.

#### 3.3. Modelin Kapsamı

Yukarıda ifade edilen nedenlerle modelin ana çatısını Şekil 1'de görüldüğü gibi ekonomik, teknik ve finansal analiz ile ilgili çalışmalar oluşturmaktadır. Bu ana başlıklar altında yer alan konulara, hedeflenen yapı üretimini ilgilendirdiği ölçüde yer verilmiştir. Ekonomik, teknik ve finansal analiz sonuçları çoğu kez birbirleri için veri oluşturduğundan bu çalışmaların paralel yürütülmesi gerekmektedir.



Şekil 1. Yapılabilirlik Etütlerinin Aşamaları

### **3.4. Ekonomik Analiz**

Bu başlık altında yapılması gereken çalışmalarda, projenin tanımı ve kapsamı, piyasa araştırması, inşaat yeri seçimi ve proje kapasitesinin belirlenmesi ile ilgili araştırmaların yapılması öngörülmektedir.

#### **3.4.1. Projenin Tanımı ve Kapsamı**

Bu aşamada, üretilecek yapıyı tanımlayıcı bilgilere yer verilecektir. Bu bilgilerin bazıları diğer aşamalarda yapılacak çalışmaları yönlendirici nitelikte olduğundan, bunların yeterli ayrıntı ve açıklıkta olması gerekir. Bu başlık altında yer alacak bilgileri aşağıdaki başlıklarda toplamak mümkündür:

- Yatırımcı Kişi ve Kuruluşun Adı.
- Yatırımcı Kişi ve Kuruluşun Merkezinin Bulunduğu Yer.
- Projenin Adı.
- Projenin Amacı (Piyasaya girme, ticari hayatı idame, öncü olma, fırsatları değerlendirme, ek faaliyet alanı oluşturma, mevcut müşteri potansiyelini kaybetmeme, ileri hedeflere ulaşmak için zemin oluşturma vb.).
- Üretilmek İstenen Bağımsız Bölüm Sayısı (Daire, işyeri, depo vb. olarak her birinin sayıları).
- Üretilmek İstenen Bağımsız Bölümlerin Niteliği (İç mekanların sayısı, büyüklüğü inşaat kalitesi, donanımı vb.).
- Yapı Düzeni (Blok, Ayrık, İkiz, Bahçeli Nizam; Villa, Atriyum vb.).
- Projenin Gerçekleştirilme Şekli (Yap - Sat, Sat - Yap, kooperatif, Arsa karşılıklı konut vb.).
- Yatırımın Gerçekleştirilme Süresi.
- Öngörülen Finansman Kaynakları (Öz sermaye, Üye aidatları veya Satış gelirleri, Kredi kullanımı vb.).

#### **3.4.2. Piyasa Araştırması**

Yapılacak yatırımın hedeflerinin gerçekçi biçimde belirlenmesinde sağlıklı bir piyasa araştırmasının önemi oldukça büyüktür. Piyasa araştırması ile aşağıdaki konularda bilgi toplanmalıdır:

- Üretilcek konutların satılacağı hedef kitle tanımlanmalı,
- Belirlenen hedef kitlenin gelir durumu, sosyal durumu, dini inançları ve gelenekleri vb. sosyal nitelikleri irdelenmeli,
- Hedef kitlenin öngörülen konut tipine talep düzeyi araştırılmalı,
- Özellikle toplu konut üretiminin planlandığı durumlarda konut üretimi ve ihtiyacı arasındaki ilişkiyi saptamaya dönük istatistikler incelenmeli,
- Benzer yapı tipine ait yaklaşık piyasa fiyatları ve diğer rekabet koşulları, araştırılmalı,
- Üretimi öngörülen tipteki konutların hangi bölgelerde yapılmasının uygun olacağı araştırılmalıdır.

### 3.4.3. İnşaat Yeri Seçimi

Öngörülen proje için yer ve arsa seçimi aşamasında aşağıda belirtilen çalışma ve araştırmalar yapılmalıdır:

- Amaca uygun görünen arsa seçeneklerinin her birinin bulunduğu yerlerin yapılaşma bakımından durumlarına göre varsa, bölge planı, çevre düzeni planı, nazım imar planı ya da imar planı verileri incelenerek, öngörülen yapılaşmanın projede belirlenen hedeflere uygun olup olmadığı belirlenmeli,
- Yapılaşma bakımından uygun bulunan arsalar parsel bazında incelenerek, orada öngörülen yapı düzeni ve buna bağlı arsa kullanım düzeyinin belirlenmesine yönelik bilgi toplanmalı,
- Arsa kullanım düzeyi uygun bulunan arsaların mülkiyet durumları incelenerek; malikinin kim ya da kimlere ait olduğu, ipotekli olup olmadığı konularında bilgi toplanmalı,
- Mülkiyet sorunu olmayan arsalar, ulaşım koşulları; su, elektrik kanalizasyon gibi altyapının mevcut durumu ve/veya bunların sağlanmasının güçlük düzeylerini değerlendirmeye olanak verecek bilgiler derlenmeli,
- Arsaların bulunduğu yer ya da yörenin iklim koşulları, topografik yapısı mevcut ve gelecekte şekillenecek manzara durumu ile ilgili bilgi edinilmeli,
- Arsanın bulunduğu yer veya bölgenin deprem riski, temel yapısına yansıtacak zemin koşulları hakkında ön bilgi edinilmeli,
- Arsaların bulunduğu yer ya da yörede inşaat aşamasında gerekli işgücünün temin koşulları, istihdam olanakları ve yaklaşık maliyeti; kullanılacak malzemenin temin ve sevk koşulları, taşıma mesafeleri konusunda da bilgi toplanmalı,
- Özellikle toplu konut üretimlerinde ülkede genelinde veya yerel idarelerin arsa temini konusunda sağladıkları olanaklar varsa bunlar araştırmalı ve koşulları öğrenilmeli.

Yukarıda belirtilen koşullar açısından uygun bulunan arsaların yaklaşık maliyetleri hakkında bilgi edinilmelidir. Ancak, bu konuda bilgi edinilirken, arsanın mülkiyetinin alınması aşamasında yapılacak muhtemel gider ile şayet gerekecekse topoğrafik ve zemin yapısı nedeniyle yapılması gerekecek iyileştirme giderleri de dikkâte alınmalıdır.

### 3.4.4. Proje Kapasitenin Belirlenmesi

Genel anlamda kapasite üretim gücü ölçüsüdür. Ancak, bir inşaat projesinin yapılabilirlik etüdüne esas kapasitesi denilince, çeşitli değişkenler dikkate alınarak bir arsanın verebileceği maksimum inşaat alanına bağlı olarak elde edilebilecek bağımsız bölüm sayısının belirlenmesi kast edilmektedir. Diğer bir ifadeyle proje kapasitesi, projede hedeflenen yapı tarzı ve niteliği ile öngörülen arsadan yararlanılma düzeyi kıyaslanarak üretilebilecek konut ya da bağımsız bölüm sayısının belirlenmesidir.

Bu aşamada aşağıdaki değişkenler ile bilgi toplanmalıdır:

- Konutların satılacağı hedef kitlenin beklentileri,
- Öngörülen konut tarzı (Tek apartman, birkaç bloktan oluşan site, bahçeli ve tek katlı, duplex veya tripleks, müstemilat binaları vb),
- Her konut ve buna bağlı olarak her bina için gerekli alan,



- Temini mümkün görünen arsanın yapılaşmaya dönük kısıtları (Yapı yoğunluğu, topoğrafik durum, zemin koşulları, manzara durumu, iklim koşullar vb.).
- Yapı üretimine ilişkin resmi mevzuatın öngörülmesi (Açık ve kapalı çıkmalar, yol genişlikleri, yaklaşma mesafeleri, subasman ve kat yükseklikleri, inşaat alanına yönelik tanımlar, yapı kültesi boyutları vb.),
- Öngörülen inşaat tarzı (Betonarme, çelik, ahşap ya da karma sistem),
- Proje için öngörülen tamamlanma süresi.
- Finansman olanakları.

### **3.5. Teknik Analiz**

Bu aşamadaki çalışmalar, projenin gerçekleştirilebilmesi için yapılması gerekli teknik içerikli çalışmalar ve söz konusu olabilecek seçeneklerin değerlendirilmesine yöneliktir. Bu bağlamda yapılacak çalışmalar, üretim yöntemi ve teknoloji seçimi; malzeme, işçilik ve iş makineleri ile ilgili seçeneklerin değerlendirilmesi; donanım seçimi; teknik çizimlerin hazırlanması; ön keşfin çıkartılması; inşaatın yapılacağı arsaya yönelik araştırmalar başlıkları altında toplanabilir.

Bu değişkenlerin her biri, projenin süresi ile kullanılacak kaynakların miktar, çeşit ve dolayısıyla parasal tutarını etkilemektedir. Bu nedenle gerçekçi analiz ve verilere dayandırılarak irdelenmelidir.

### **3.6. Finansal Analiz**

Bu aşamada, daha önceki aşamalarda yapılan çalışmalar sonucunda toplanan veriler değerlendirilerek bunların parasal analizinin yapılması öngörülmektedir. Bu doğrultuda yapılacak çalışmalar, proje toplam yatırım tutarının hesaplanması, finansal tabloların hazırlanması ve gerekli görülmesi halinde başabaş noktası (BBN) analizinin yapılması başlıkları altında toplanmıştır.

Bina toplam maliyetinin belirlenmesinde dikkate alınması gereken ana ve alt başlıklar Tablo 1’de görülmektedir. Tabloda yer “Şarj Edilmiş Değişken Gider İfadesiyle”; bir defada yapılan giderlerin, toplam üretim maliyetine eklenerek, birim maliyete yansıtılması kast edilmektedir.

Vergi giderleri belirlenirken, yapı üretimine özgü düzenlemeler göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü gerek vergilendirme dönemi gerekse gelir ve kurumlar vergisi ile KDV oranlarında, üretilen yapının amacı, gerçekleştirilme süresi, inşaat alanı gibi değişkenlere bağlı farklılıklar mevcuttur.

Yapılması planlanan yatırımın kârlılığını belirleyebilmek için proje ile ilgili gelir ve giderler belirlendikten sonra bunların bir tabloda toplanması öngörülmüştür (Tablo 2).

Tablo 1. Yatırım Tutarını Oluşturan Gider Grupları

H ARCAMA TÜRÜ	BEDEL
<b>SABİT GİDERLER</b>	
• Genel Giderler Kira ve Aidatlar..... Elektrik, Su, Kırtasiye Yakıt Giderleri; Sürekli Çalışan Personel Maaşları... İkram Giderleri..... Akaryakıt giderleri..... Ofis personeli maaşları.....	
• Amortismanlar Mevcut demirbaşların amortismanları.....	
<b>Sabit Giderler Toplamı</b>	
<b>ÜRETİM MALİYETİNE ŞARJ EDİLMİŞ DEĞİŞKEN GİDERLER</b>	
• Etüt Giderleri Fizibilite Etüdü..... Zemin Etüdü.....	
• Proje Giderleri ( Çizim bedelleri ve her türlü harçlar) Mimari Proje..... Statik Proje..... Tesisat Projeleri..... Peyzaj Projesi ve ÇED Raporu..... Yapı Denetim veya TUS Giderleri ..... Ruhsat Giderleri.....	
Teminat Giderleri (Teminat Öngörülecekse)	
Şantiye Kuruluş Giderleri	
Arsa Bedeli	
Arsanın Düzenlenmesi Giderleri (Topoğrafik durum nedeniyle)	
Ulaştırma Yapıları Giderleri	
İthalat ve Gümrükleme Giderleri	
<b>Toplam</b>	
<b>DİĞER DEĞİŞKEN GİDERLER</b>	
Proje İçin Alınacak İlave Demirbaşların Amortismanları	
İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı Giderleri	
Kabul Süresine Kadar Yapılan Tamiratlar	
Satış ve Pazarlama Giderleri	
SSK primleri (İşe alınacak ilave personelin maaşları ve SSK primleri)	
Beklenmeyen Giderler	
• Üretim Giderleri Malzeme..... İşgücü..... Makine.....	
<b>DEĞİŞKEN GİDERLER TOPLAMI</b>	

TOPLAM YATIRIM TUTARI

Tablo 2. Finansal Veriler

Gelirler ve Giderler	200..
Brüt Satışlar (+)	
Satılan Malların Maliyeti (-)	
Brüt Satış Kârı veya Zararı	
Faiz Giderleri (-)	
Dönem Kârı / Zararı	
Dönem Kârı Vergisi /Diğer Yasal kesintiler. (-)	
Net Kâr / Net Zarar	

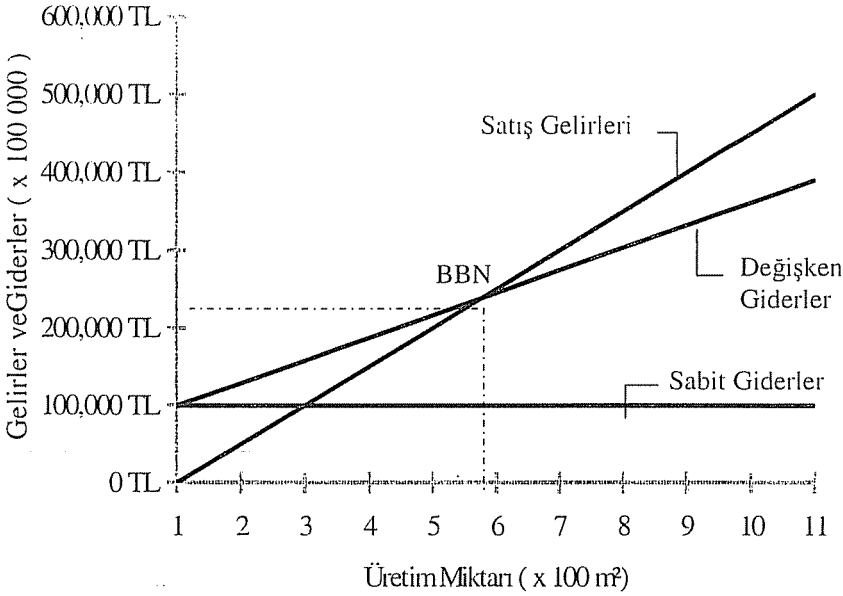
Finansal tabloda yer alan değerlerin pek çoğu inşaat sürecinde oluşacaktır. Örneğin vergi gideri, inşaatın kesin kabulünün yapıldığı veya iskân izninin alınmasından sonra tahakkuk edecektir. Benzer şekilde, üretim giderleri ve satış gelirleri, proje sürecinde oluşacak, bu konuda izlenecek pazarlama politikası belirleyici olacaktır. Şüphesiz bu konuda en gerçekçi yaklaşım, gelir ve giderlerin gerçekleşeceği gereç zaman dilimi tahmin edilerek bunların uygun görülecek faiz veya iskonto oranı ile belirli bir zaman kesitine taşıyarak değerlendirmektir. İzlenebilecek bir yol da yapılabirlik etüdüne esas olacak tüm gelir ve giderlerin bugünkü değer üzerinden ifade edilip, uygulama aşamasında bunların uygun bir yöntemle güncelleştirilmesidir. Ayrıca, her gelir ve giderin fazla değişim beklenmeyen sağlam para değeriyle ifade edilerek değerlendirilmesi de mümkündür.

### 3.6.1. Başabaş Noktası Analizi (BBN)

Yapılabilirlik etüdü aşamasında hangi satış düzeyinden sonra kâra geçilebileceğinin bilinmesi, girişimci açısından çeşitli yararlar sağlayabilir. Başa-Baş Noktası (BBN) Analizi bu konuda sıkça kullanılan araçlardan birisidir. Ancak BBN analizi, yöntemin hassasiyetini sınırlayan bazı kabullere dayanmaktadır. Bunlardan en önemli ikisi, yapılan üretim hızı ve birim satış fiyatının değişmediği, yani doğrusal olarak gelişeceğidir. Finansal planlama aracı olarak yapı üretiminde de BBN analizinden yararlanılması mümkün görünmektedir. Ancak bu durumda, yöntemin genel kabulleri gereği üretim ve satış miktarlarının m<sup>2</sup> bazında değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu koşullarla oluşturulan Şekil 2'deki grafikte tanımlanan BBN'daki satış gelirleri ve üretim miktarı aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$\text{Satış gelirleri açısından kâra geçiş noktası} = \frac{\text{Toplam Sabit Giderler}}{1 - \frac{\text{Toplam Değişken Giderler}}{\text{Toplam Satış Gelirleri}}}$$

$$\text{Üretim miktarı açısından kâra geçiş noktası} = \frac{\text{Toplam Sabit Giderler}}{\text{Birim Satış Fiyatı} - \text{Birim Değişken Gider}}$$



Şekil 2. Kara Geçiş Noktasının Grafikselsel Tanımı

#### 4. UYGULAMA

Bu çalışmada önerilen konut tipi inşaat projelerin için yapılabirlik etüdü modeli, halen projelendirme aşamasında bulunan gerçek bir konut tipi inşaat projesine uygulanmıştır (6). Böylece, modelde öngörülen kabullerin gerçekçilik düzeyinin test edilerek değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

##### 4.1. Uygulama Konusu Proje ile İlgili Veriler

Uygulama konusu inşaat projesi, proje hazırlığı aşamasında bulunan ve 2004 yılında inşaatına başlanılması öngörülen bir konut yapısına aittir. Projeye ile ilgili ilave bilgiler Tablo 3'de verilmiştir.

##### 4.2. Ekonomik, Teknik ve Finansal Analiz Sonuçları

Projeye ilgili ekonomik ve teknik analiz sonucunda elde edilen veriler Tablo 4'de, finansal analiz sonucu elde edilen bulgular ise Tablo 5'de görülmektedir.

Proje giderleri belirlenirken, rayiç değerler dikkate alınmıştır. Örneğin proje çizim bedeli, ilgili meslek odalarının öngördüğü fiyatlar üzerinden hesaplanmıştır. Şüphesiz yüklenicinin ilgili proje müellifleri ile yapacağı karşılık görüşme ve pazarlıklar sonucu bu değerlerde azalma sağlanması mümkün olabilir.

Proje ile ilgili gelir ve giderler bugünkü değer esasına göre değerlendirilmiştir. Dolayısıyla bu değerlerin proje sürecinin belirli aşamalarına yansımaları görebilmek için uygun güncelleştirme yöntemlerinin kullanılacağı kabul edilmiştir. Satış gelirleri de

benzer şekilde, tanımlanan nitelikteki konutların inşaatın yapıldığı yerdeki rayiç bedelleri dikkâte alınarak belirlenmiştir.

#### 4.3. Kâra Geçiş (BBN) Analizi

Başabaş noktası tespitinde kullanılan değişkenler Tablo 4 ve Tablo 5’den alınmıştır. Başabaş noktası analizi, toplam inşaat alanının üretiminin, proje süresinde kesintisiz ve doğrusal bir hızla gerçekleştirildiği, gelir ve giderlerin de buna paralel olarak oluştuğu kabulü ile yapılmıştır.

**Tablo 3. Uygulamaya Konu Olan İnşaat ile İlgili Bilgiler**

<b>Projenin Adı</b>	Pınar Apartmanı Projesi
<b>Yatırımcı Kuruluşun Adı</b>	İrem İnşaat Ticaret Ltd.Şti.
<b>Yatırımın Yeri</b>	Adana İli Seyhan İlçesi Kanalüstü Mah.20 L1 pafta, 5709 ada, 4 nolu 932 m <sup>2</sup> parsel
<b>Projenin Niteliği</b>	Sağlıklı yaşam standartlarına uygun, depreme karşı dayanıklı ve orta gelir grubundaki tüketicilere hitap edecek bir konut projesidir.
<b>Yapılacak Üretimin Türü ve Miktarı</b>	Konut yapısı on katlı olarak inşa edilecektir İlk beş katında, her katta üç cepheli iki konut; sonraki beş katında dört cepheli tek konut olmak üzere toplam 15 adet konut üretilecektir. Zemin katta, iş yeri olarak kullanılmak üzere bir asma kat öngörülmüştür. İlk beş katta bulunan on dairenin, sat-yap tarzında inşa dilmesi, yani bunların inşaat aşamasında satılması planlanmış; sonraki beş dairenin ise yap-sat tarzında, yani hepsi tamamen bittikten sonra satılmaları öngörülmüştür. Asma katta bulunan işyeri, firmanın kendisine kalacaktır.
<b>Yatırımın Başlama Tarihi</b>	12/07/2004
<b>Yatırımın Tamamlanma Tarihi</b>	12/07/2007
<b>Projenin Tahmini Ekonomik Ömrü</b>	50 yıl
<b>Toplam Yatırım Tutarı</b>	804.181.346.300,-TL
<b>Öngörülen Finansman Kaynakları</b>	Finansman kaynakları olarak, şirketin öz kaynakları ve yapı ortaklığı olarak yapılacak olan on dairenin satışından sağlanacak taksit gelirleri düşünülmüştür.

Tablo 4. Projenin Toplam Yatırım Tutarı

HARCAMA TÜRÜ	BEDEL
<b>SABİT GİDERLER</b>	
Genel Giderler	
Kira ve Aidat.....	1.800.000.000
Elektrik, Su ve Yakıt Giderleri.....	46.000.000.000
İkram Giderleri.....	2.000.000.000
Benzin Giderleri.....	5.200.000.000
Ofis personeli maaşları.....	36.000.000.000
Amortismanlar	
Mevcut demirbaşların amortismanları.....	...
<b>Toplam Sabit Giderler Tutarı</b>	
91.000.000.000	
<b>ÜRETİM MALİYETİNE ŞARJ EDİLMİŞ DEĞİŞKEN GİDERLER</b>	
Etüt Giderleri	
Fizibilite Etüdü.....	7.090.580.000
Zemin Etüdü.....	750.000.000
Proje Giderleri	
Mimari Proje.....	12.850.000.000
Statik Proje.....	10.160.000.000
Tesisat Projeleri.....	6.875.000.000
Peyzaj Projesi ve ÇED Raporu.....	.....
Yapı Denetim veya TUS Giderleri.....	35.336.280.000
Ruhsat Giderleri.....	300.000.000
Teminat Giderleri	-----
Şantiye Kuruluş Giderleri	2.000.000.000
Arsa Bedeli	95.000.000.000
Arsanın Düzenlenmesi Giderleri	-----
İthalat ve Gümrükleme Giderleri	-----
<b>Toplam Şarj Edilmiş Değişken Giderler</b>	
170.361.860.000	
<b>DEĞİŞKEN GİDERLER</b>	
Ulaştırma Yapıları Giderleri	-----
Proje İçin Alınacak İlave Demirbaşların Amortismanları	-----
İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı Giderleri	18.000.000.000
Kabul Süresine Kadar Yapılan Tamiratlar	1.000.000.000
AR-GE Giderleri	-----
Satış ve Pazarlama Giderleri	300.000.000
SSK primleri	
Proje için işe alınacak ilave personelin maaşları ve SSK primleri	23.919.367.500
Beklenmeyen Giderler	2.000.000.000
Üretim Giderleri	497.600.118.800
Malzeme, Makine ve İşgücü	
<b>Toplam Değişken Giderler Tutarı</b>	
713.181.346.300	
<b>TOPLAM YATIRIM TUTARI</b>	
804.181.346.300	

**Tablo 5.** Uygulama Konusu İnşaat ile İlgili Finansal Veriler

Gelirler ve Giderler	2004
Brüt Satışlar ( + )	960.200.000.000
Satılan Malların Maliyeti(-)	804.181.346.300
Brüt Satış Kârı veya Zararı	156.018.653.700
Dönem Kârı	156.018.653.700
Dönem Kâr Vergi/Diğer Yasal Yük.Karş. ( + )	2.493.683.410
Net Kâr	158.512.337.110

#### 4.4. Uygulama Bulguları

Yapılabilirlik etüdü çalışması sonucunda elde edilen bulgular, yatırımın kârlılık düzeyi ile yatırımda kullanılan sermayenin fırsat maliyeti açısından değerlendirilmektedir. Bunlara ek olarak, yatırımcı firmanın daha önce yaptığı projelerinin veya inşaat sektörü içerisinde yer alan diğer firmaların benzer projelerde elde ettikleri sermaye kârlılıklarının karşılaştırılması da, önemli bir kriter teşkil etmektedir.

Örneklenen projede yatırımın kârlılığı;

$$\frac{\text{Net Kâr}}{\text{Toplam Yatırım Maliyeti}} * 100 = \frac{158.512.337.110}{804.181.346.300} * 100 = 19,7$$

olarak bulunmuştur.

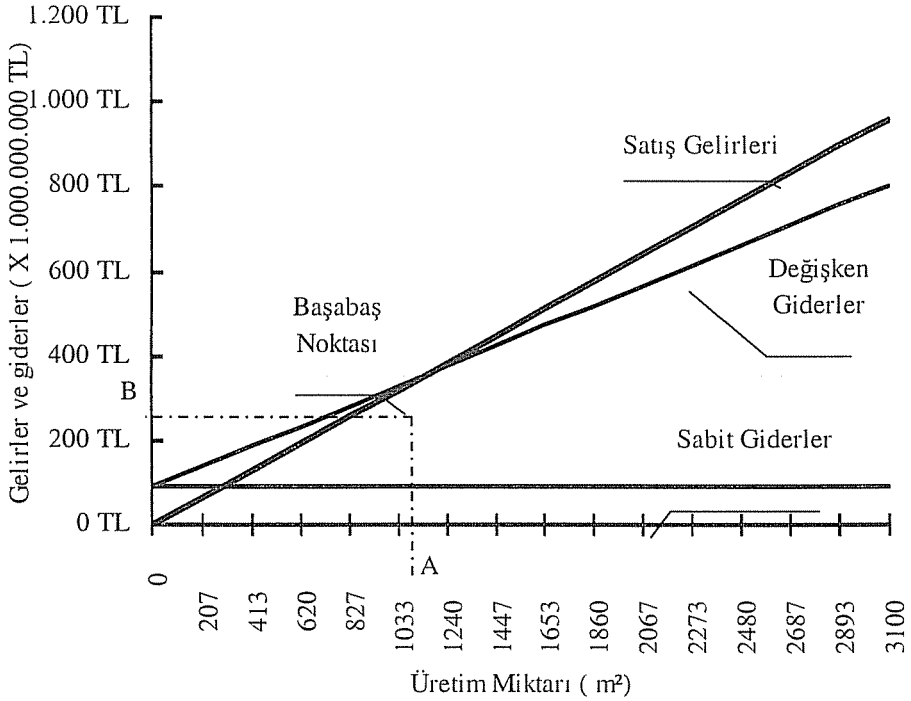
Türkiye'nin içerisinde bulunduğu ekonomik koşullar ve özellikle inşaat sektöründe yaşanan durgunluk dikkate alındığında %19,7 yatırım kârlılığının tatminkâr olduğu söylenebilir. Ayrıca Bayındırlık ve İskân Bakanlığı birim fiyatlarında ve yapı yaklaşık maliyetlerine esas kabullerinde %25 genel gider ve kâr öngörülmektedir. Genel gider dahil %25 kâr oranı inşaat sektörü için makul bir düzey kabul edildiğine göre bu projede net kârın %19,7 olması da bu yatırımın kârlı bir yatırım olabileceği konusunda bir referans olabilir. Ayrıca yatırım giderleri belirlenirken bu konudaki resmi ücretler esas alınmıştır.

Belirtilen kabuller çerçevesinde projenin kâra geçiş (BBN) noktasındaki hasılat ve üretim miktarı düzeyi aşağıda ve bunun grafik çözümü Şekil: 3'de görülmektedir. Bu sonuçlara göre 353.731.180.600,-TL'lik satış ve 1142 m<sup>2</sup>'lik üretim yapılması durumunda, yatırımcı firma ne kâr ne de zarar etmektedir. Diğer bir ifadeyle firmanın gelir ve giderleri birbirine eşit durumdadır. Yatırımcı firma bu hasılat ve üretim miktarından sonraki her birim satıştan kâr etmeye başlayacaktır. Grafikte görülen veya hesap sonucunda bulunan ve m<sup>2</sup> olarak ifade edilen üretim düzeyi, her zaman bağımsız bölüm alanlarına eşit veya bunun katları şeklinde sonuç vermeyebilir. Ancak yaklaşık olarak kaç bağımsız bölüm üretildiğinde BBN'na ulaşılabileceği kolayca anlaşılabilir.

$$\begin{aligned}
 \text{BBN'da Hasılat Miktarı} &= \frac{\text{Toplam Sabit Gider}}{1 - \frac{\text{Toplam Değişken Gider}}{\text{Toplam Satış Gelirleri}}} \\
 &= \frac{91.000.000.000}{1 - \frac{713.181.346.300}{960.200.000.000}} = 353.731.180.600, \text{ TL.}
 \end{aligned}$$

olarak bulunur

$$\begin{aligned}
 \text{BBN'da Üretim Miktarı} &= \frac{\text{Toplam Sabit Giderler}}{\text{Birim Satış Fiyatı} - \text{Birim Değişken Gider}} \\
 &= \frac{91.000.000.000}{309.741.935 - 230.058.498} = 1142 \text{ m}^2 \text{ bulunur.}
 \end{aligned}$$



Şekil 3. Kâra Geçiş Grafiği ile Finansal Analiz



Ayrıca, örneklenen proje ile ilgili yapılabilirlik etüdü verilerine göre, projenin ana girdilerinin toplam yatırım içerisindeki yaklaşık tutarlarının Tablo:6'da görüldüğü gibi olduğu saptanmıştır.

**Tablo 6.** Gider Kalemlerinin Toplam Yatırım Tutarı İçerisindeki Payları

Harcama Türü	Harcama Tutarı (A)	Toplam Yatırım Tutarı (B)	(A)/(B) (%)
Genel Giderler	91.000.000.000	804.181.346.300	11,31
Etüt ve Proje Giderleri	73.361.860.000	804.181.346.300	9,12
Arsa Bedeli	95.000.000.000	804.181.346.300	11,81
SSK Primleri	23.919.367.500	804.181.346.300	2,97
Üretim Giderleri	497.600.118.800	804.181.346.300	61,86
Diğer Giderler	23.300.000.000	804.181.346.300	3,02

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hangi boyutta olursa olsun, bir yatırıma karar vermeden gerekli ön araştırmaların yapılması, olmazsa olmaz bir koşuldur. Bunun aksine bir tutum ilkel bir davranış olmakla birlikte, maalesef ülkemizde, özellikle inşaat sektöründe bina yapısı üreten yüklenicilerin tamamına yakınının, işe başlamadan önce, olması gereken kapsamda bir yapılabilirlik etüdü yapmadıkları bilinmektedir. Şüphesiz bu girişimciler kendi deneyim ve sezgilerine dayanarak bazı ön araştırmalar yapıyor olabilirler; ancak bu çalışmaların bilimsel dayanağı ve dolayısıyla bir sistematığı olmadığından ulaşılan sonuçların yeterince güvenilir olması beklenemez. Bu nedenledir ki, literatürde yatırım kararına veri oluşturacak yapılabilirlik etüdünün sistematığını teşkil eden genel bir şablon oluşmuştur.

Bu çalışmada, ülkemizde küçük girişimci niteliğindeki yüklenicilerin kullanabileceği bir yapılabilirlik etüdü modeli geliştirilerek, bu konudaki bilincin gelişip yaygınlaşmasına katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Model oluşturulurken, yapılabilirlik etüdü genel şablonu kullanılmış ancak bunun içeriği, inşaat sektörü ve özellikle bina yapısı üretiminin özgün koşullarına göre oluşturulmuştur. Model oluşturulurken yap-sat veya sat-yap şeklinde bina yapısı üreten yükleniciler hedeflenmiştir. Şüphesiz oluşturulan modeli, kamu veya özel sektörden bina yapısı ihalesi alacak yükleniciler de kullanabilirler.

Geliştirilen modelin işlevselliğini test etmek amacıyla, herhangi bir olabilirlik etüdü yapmadan niyetlenilmiş ve uygulama projeleri hazırlanmış, yap sat ve sat yap şeklinin birlikte uygulanacağı konut tipi bir inşaat projesine uygulanmıştır. Uygulama sonucunda, önerilen modelin genel çatısı ve detaylarının inşaat projelerinin özgün koşullarıyla uyumlu olduğu görülmüştür. Bu durum yüklenicilerin, modeli kolay benimseyip uygulayabilecekleri kanaatini güçlendirmektedir.

Ayrıca, bu çalışmada önerilen modelin test edildiği inşaat yatırımı ile ilgili sonuçlardan yararlanılarak, yüklenicilerin üretim maliyetinden hareketle, katlanmak zorunda kalacakları ilave giderlerin belirlenmesine katkı sağlayabilecek bazı oranlar

bulunmuştur. Bu oranlar, yüklenicilerin salt üretim maliyetini, toplam yatırım tutarı olarak algılama hatasına düşmemelerine yardımcı olacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışmada geliştirilen model, bina üretimi yapacak girişimcilerin yatırım kararı aşamasında halen olduğu gibi bilimsel dayanağı olmayan geleneksel ve sezgisel yöntemler yerine, belirli bir sistematige sahip fizibilite çalışmasına olanak sağlayacak niteliktedir. Bu çalışmanın inşaat sektöründe sistematik bir yapılabilirlik etüdü yapma alışkanlığının yaygınlaşmasına katkı sağlayacağı umulmaktadır.

Bu kapsamda yapılabilecek çalışmalarla, farklı yapı projelerine yönelik benzer modeller üretilebilir veya, bu modelde verilen ana başlıklar detaylandırılarak ve bilgisayar desteği sağlanarak model zenginleştirilebilir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Alpugan,O., Demir,H., Oktav,M., Üner,N.,. “İşletme Ekonomisi ve Yönetimi”, Beta Basın Yayım Dağıtım, 448s., İstanbul,1997.
2. Birleşmiş Milletler Smaı Kalkınma Teşkilatı (UNIDO), Endüstriyel Yapılabilirlik Etütlerinin Hazırlanması El Kitabı. Ankara, 1978.
3. Ayanoğlu,K., Düzyol.M.C., İler,N., Yılmaz,C., “Kamu Yatırım Projelerinin Planlanması ve Analizi”, Devlet Planlama Teşkilatı Yayınları, 256s., 1996.
4. Tümer,M., “İşletme Nedir?”, Fatih Matbaası, İstanbul, 1975.
5. Uslu,Z., “Yatırım Projelerini Değerlendirme Yöntemleri”, Nobel Kitabevi, 316s., Adana, 1998.
6. Gönen,İ., “İnşaat Projelerinde Yatırım Kararı Sürecinin Analizi ile İlgili Bir Model Önerisi”, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 59-73s., Adana, 2004.

## UÇUCU KÜL KATKILI BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

**Rıza DİNÇER**

Ç.Ü., Ceyhan Meslek Yüksekokulu, Adana/Türkiye

**İsmail H. ÇAĞATAY**

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

**ÖZET :** Bu çalışmada, çimentonun yerine ağırlıkça % 0, 5, 10, 20, 30, 40 oranlarında uçucu kül kullanılmıştır. Karışımların mekanik özelliklerini belirlemek için de 7, 14, 28, 90, 180 ve 365 günlük beton numuneler üretilmiştir. Bu araştırma, çimentonun yerine uçucu kül ikamesinin, betonun mekanik özelliklerindeki etkisinin %20 uçucu kül ikamesine kadar çok iyi olduğunu ve %30 oranına kadar kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

### MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE CONTAINING FLY ASH

**ABSTRACT :** In this study, instead of cement, 0, 5, 10, 20, 30, 40% of fly ash were used. In order to determine the mechanical properties of the mixtures, concrete samples of 7, 14, 28, 90, 180 and 365 days were produced. The results show that the usage of fly ash instead of cement up to 20% percent as very good and fly ash can be used up to the ratio of 30%.

## 1. GİRİŞ

Termik santrallerdeki kömürün yakılması sonucu bir yan ürün olarak açığa çıkan uçucu kül, puzolanik ve bağlayıcı özelliğinden dolayı betonda bağlayıcı katkı malzemesi olarak kullanılabilir. Çimentonun bir kısmının yerine uçucu kül ikame edildiğinde betonun maliyeti azalır. Bununla birlikte taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini de değiştirmektedir.

Uçucu küller ya da pulverize yakıt külleri, özellikle elektrik üretim tesislerinin pulverize kömür ile işleyen fırınlarının toz tutma ünitelerinden sağlanan materyallerdir. Küresel biçimde olup,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  içerirler. Puzolanik maddeler gibi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile tepkimelerinde hidrolik bağlayıcı nitelik kazanırlar. Diğer taraftan yanmış karbon kalıntılarını da içermesi olasıdır. Bu da çimentonun düşük direncine ve betonun dayanıklılığına olumsuz yönde etki yapar. Uçucu küllerin özgül yüzeyi ne kadar büyükse reaktivitesi de o kadar yüksektir. Külün kalitesine ve özelliklerine bağlı olarak çimentonun yapısında bir katkı maddesi olarak % 30 oranında uçucu kül bulunabilmektedir (1).

Uçucu küller ASTM C618'de verilen sınıflandırmaya göre iki sınıfa ayrılmaktadır (2).

1. C sınıfı uçucu küller :  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%50$  koşulunu sağlayan küllerdir.

Linyit ve yarı bitümlü kömürden elde edilirler.

2. F sınıfı uçucu küller :  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%70$  koşulunu sağlayan küllerdir.

Bitümlü kömürden elde edilirler.

Ülkemizde ise uçucu küller TS 639'a göre sınıflandırılmıştır. Buna göre  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%70$  koşulu sağlanmalıdır (3).

Puzolanik özellik  $\text{SiO}_2$  ile  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 'ün kireçle yaptığı reaksiyon sonunda meydana gelmektedir. Buna göre uçucu küllerde  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  fazla miktarda bulunmalı, CaO az miktarda yer almalıdır (4).

Uçucu küller, içerisinde CaO miktarına göre de genel bir sınıflandırmaya da tabi tutulur.

1. CaO miktarı % 10'dan küçük ise : Düşük Kireçli Uçucu Küller (DKUK).

2. CaO miktarı % 10'dan büyük ise : Yüksek Kireçli Uçucu Küller (YKUK).

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Zhang ve ark (5), yüksek kalsiyum ve yüksek  $\text{SO}_3$  içerikli uçucu kül katkılı betonların mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada çimentonun yerine %50-60 oranlarında kullandıkları uçucu kül ile yaptıkları betonların 3 günlük ve 90 günlük basınç dayanımlarını, sırasıyla 252 ve 422  $\text{kgf/cm}^2$  elde etmişlerdir. 90 günlük basınç dayanımları ise referans betonları geçmiştir. Eğilme dayanımlarında da önemli gelişmeler kaydedilmiştir.

Temiz (6), yüksek ve düşük kireçli iki uçucu kül (YKUK ve DKUK) ile ferrosilisyum silis dumanının (SD) değişik oranda karışımlarının çimento hamuru, harcı ve beton özelliklerine etkilerini araştırmıştır. Uçucu küller ve silis dumanının, oran ve inceliği artarsa buna bağlı olarak hamur, harç ve betonun su ihtiyacı da artmaktadır. Yüksek ve düşük kalsiyumlu uçucu kül katkısı harç ve betonlarda ilk yaşlarda dayanımın düşmesine neden olurken, ileri yaşlarda, özellikle YKUK daha aktif olması

sayesinde, referans numune dayanımına yaklaşılmakta, hatta bazı durumlarda geçilmektedir.

Lam, Wong ve Poon (7), çimentonun yerine belirli oranlarda uçucu kül ve silis dumanı katkısının betonların basınç dayanımına, gerilme-şekil değiştirme ilişkisine ve kırılma davranışı üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. Araştırma, yüksek miktarda uçucu kül ve düşük miktarda silis dumanı katkılı, farklı su/bağlayıcı madde oranlarındaki karışımları kapsamaktadır. Test sonuçlarına göre uçucu kül betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisinin azalan kısmının eğimini düşürmektedir. Düşük oranda uçucu kül betonun çekme dayanımını geliştirmektedir. Yüksek oranda uçucu kül katkılı betonlarda ise çekme dayanımı biraz düşüktür. Ayrıca uçucu kül, gerilme-şekil değiştirme eğrisinde maksimum gerilmeye karşılık gelen deformasyon değerini de artırmaktadır.

Tunçbilek (8), bazı Türkiye uçucu küllerinin (Afşin-Elbistan, Çatalağzı, Kangal, Orhaneli, Yatağan) Portland Çimentosu-Uçucu Kül sistemleri üzerine etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Araştırma sonunda yüksek oranda kireç ve sülfat içeren C sınıfı uçucu küllerin dışında kalan külleri kullanarak dayanıklılığın geliştirilebileceğini ifade etmiştir.

Thomas ve ark. (9), betona silis dumanı ve uçucu kül karışımını katarak üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında yüksek CaO içeren uçucu kül kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmaya göre; düşük miktarda silis dumanı (%3-6) ve yüksek CaO içeren uçucu kül (%20-30), sülfata karşı direnç sağladığı gibi, alkali-agrega reaksiyonunu da azaltmaktadır. Ayrıca düşük CaO içeren uçucu kül, silis dumanı ve değişik miktarlarda çimento ile yaptıkları karışımlarda basınç dayanımının arttığını gözlemişlerdir.

Saraswathy ve ark. (10), çimento-uçucu kül karışımının hidrasyonunu hızlandırmak için uçucu külü fiziksel, kimyasal ve termik yöntemler kullanarak daha etkin hale getirmişlerdir. Çeşitli yöntemler kullanarak daha aktif hale getirdikleri uçucu külü, çimentonun yerine %10, %20, %30, %40 oranlarında kullanarak elde ettikleri karışımların 7, 14, 28 ve 90 günlük basınç dayanımlarını incelemişler ve %30 oranına kadar uçucu kül katkılı betonların basınç dayanımlarını geliştirdiğini ortaya koymuşlardır.

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Uçucu Kül

Bu araştırmada, beton katkı malzemesi olarak Çatalağzı Termik Santralinden temin edilen uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu külün fiziksel ve kimyasal özellikleri Adana Çimento Fabrikası T.A.Ş.'de yaptırılmış, Çizelge 1'de verilmiştir.

Çatalağzı Termik Santrali'nden elde edilen uçucu kül, kimyasal analizi incelendiğinde  $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 > \%70$  koşulunu sağladığından F sınıfı uçucu küller kategorisinde yer almaktadır. Diğer taraftan %1.53 CaO değeri, %10'dan küçük olduğu için Düşük Kireçli Uçucu Küller (DKUK) sınıfındadır.

**Çizelge 1.** Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Külünün Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Madde	Miktar (%)
SiO <sub>2</sub>	57.50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.59
CaO	1.53
MgO	2.48
SO <sub>3</sub>	0.16
Özgül Ağırlık (kg/dm <sup>3</sup> )	Özgül Yüzev (cm <sup>2</sup> /g)
2.02	2550

### 3.1.2. Çimento

Beton karışımlarında Adana Çimento Fabrikası ürünü PÇ 42.5 çimentosu kullanılmıştır.

### 3.1.3. Agrega

Beton karışımlarında kullanılan agrega, Çakıt Deresinden çıkarılmış, yıkanarak en büyük dane çapı 2.38 mm kum, 9.50 mm ince çakıl, 19.1 mm iri çakıl olmak üzere üç farklı elekten geçirilmek suretiyle elde edilmiştir.

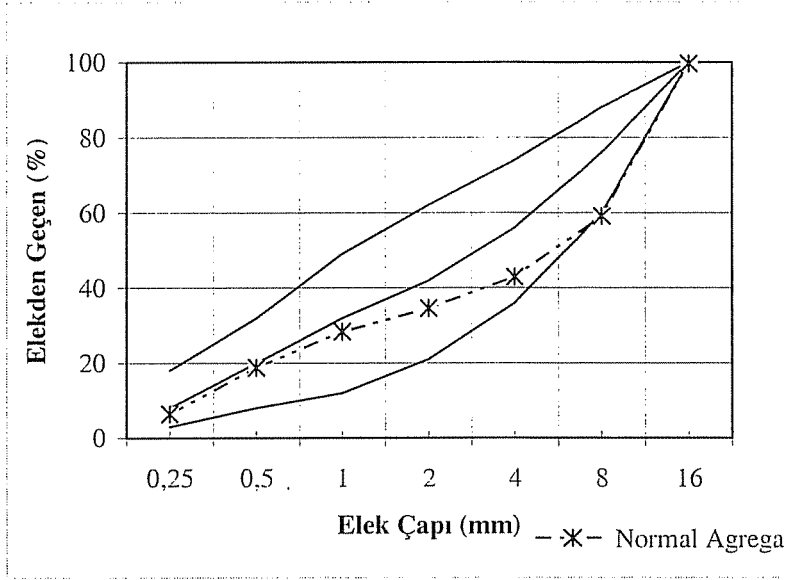
### 3.2. Metod

Bütün karışımlarda agrega hacminin %40'ı oranında kum, %30'u oranında küçük çakıl ve %30'u oranında iri çakıl kullanılmıştır. Bu oranlar kullanıldığında granülometrik dağılımın TS 3530'a (11) uygun olduğu Şekil 1'den görülmektedir. Beton bileşim hesaplarında ise mutlak hacim yöntemi kullanılmıştır.

Beton karışımlarında 350 doz çimento kullanılmış ve çimentonun yerine %0, %5, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında uçucu kül katılmıştır. Bu oranlarında üretilen karışımların 7, 14, 28, 90, 180 ve 365 günlük küp ve silindir numuneleri üretilmiştir. Her bir karışım ve yukarıda belirtilen yaşlar için 5 adet küp basınç dayanımı için, 4 adet silindir numune basınç ve elastisite modülü tayini için, 3 adet silindir numune de 28 günlük yarmada çekme dayanımını elde etmek için kullanılmıştır.

## 4. BULGULAR

Araştırmada kullanılan malzemelerin özgül ağırlıkları Çizelge 2'de, normal agreganın sıkışık, gevşek birim hacim ağırlıkları ve su emme değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Bu çalışmada sabit işlenebilirlikte betonlar elde etmek için uçucu külün her oranı için kıvam deneyleri yapılarak beton karışım oranları belirlenmiştir (Çizelge 4).



Şekil 1. Agreganın Granülometri Eğrisi

Çizelge 2. Karışımlarda Kullanılan Malzemelerin Özgül Ağırlıkları

Malzeme Cinsi	Özgül Ağırlık (kg/dm <sup>3</sup> )
Çimento	3.15
Kum (Kuru)(0/4.76)(Çakıt)	2.51
Çakıl I (Kuru) (4.76/9.52)(Çakıt)	2.66
Çakıl II (Kuru) (9.52/16)(Çakıt)	2.66
Sikament 300	1.23

Çizelge 3. Agreganın Sıkışık, Gevşek Birim Hacim Ağırlıkları ve Su Emme Değerleri

Dane Sınıfı (mm)	Sıkışık Birim Ağırlık (Hava Kuru) (kg/m <sup>3</sup> )	Gevşek Birim Ağırlık (Hava Kuru) (kg/m <sup>3</sup> )	Su Emme (%) (24 Saat)
0/4.76	1795	1698	1.26
4.76/9.52	1745	1644	0.93
9.52/16	1691	1565	0.76

**Çizelge 4.** Normal Agregaya Çimentonun Yerine %0, 5, 10, 20, 30, 40 Oranlarında Uçucu Kül İlavesi Karışım Hesapları

MALZEME		% 0	% 5	% 10	% 20	% 30	% 40	
		Uçucu Kül	Uçucu Kül	Uçucu Kül	Uçucu Kül	Uçucu Kül	Uçucu Kül	
		Ağırlık	Ağırlık	Ağırlık	Ağırlık	Ağırlık	Ağırlık	
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	
Çimento Dozajı		350	332.5	315	280	245	210	
Uçucu Kül		0	17.5	35	70	105	140	
Su		132	132	135	135	138	138	
Hava		0	0	0	0	0	0	
Akışkanlaştırıcı		4.20	4.20	4.20	4.2	4.20	4.20	
AGREGA	Normal	0/4	726.13	719.97	713.71	704.42	698.15	698.15
		4/9.5	574.85	569.98	565.02	557.66	552.70	552.70
		9.5/16	574.85	569.98	565.02	557.66	552.70	552.70
TOPLAM		2370.13	2362.03	2349.13	2332.94	2311.95	2295.76	
Vebe (sn)		7	7	6	6	7	7	
Slump (cm)		4	4	4.5	4.5	4	4	

Kül Karışımların belirtilen yaşlarda küp ve silindir basınç dayanımları Çizelge 5'te, küp ve silindir dayanımlarının yaş/basınç dayanım grafikleri Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir. Çizelge 5 incelendiğinde betonda çimentonun yerine uçucu kül ikamesinin %20'ye kadar olumlu etkisi olduğu, hatta şahit betondan bile iyi davranış gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 5 incelendiğinde, %20'ye kadar uçucu kül oranında betonların basınç dayanımları 90 güne kadar şahit beton dayanımları kadar, 180 günden sonra şahit beton dayanımının da üzerine çıktığı görülmektedir. Basınç dayanımı, uçucu kül oranının %30 değerinde ise şahit betona göre %10-15 düşüş göstermektedir ki bu da kabul edilebilir bir değerdir.

Uçucu kül karışımlarının 7, 14, 28, 90, 180 ve 365 günlük elastisite modülü deneyleri her yaş ve karışım için 15/30'luk 4'er adet silindir numunelerde yapılmış ve sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır. Bu karışımların yaşa göre elastisite modülü değerleri Çizelge 6'da verilmiştir.

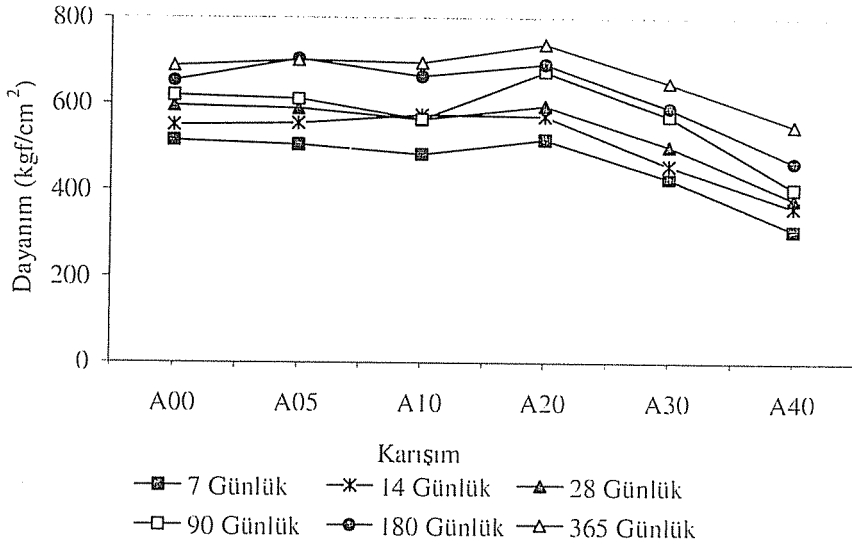


**Çizelge 5.** Çimentonun Yerine % 5, 10, 20, 30, 40 Uçucu Kül İkamesi Dayanım/Yaş Çizelgesi

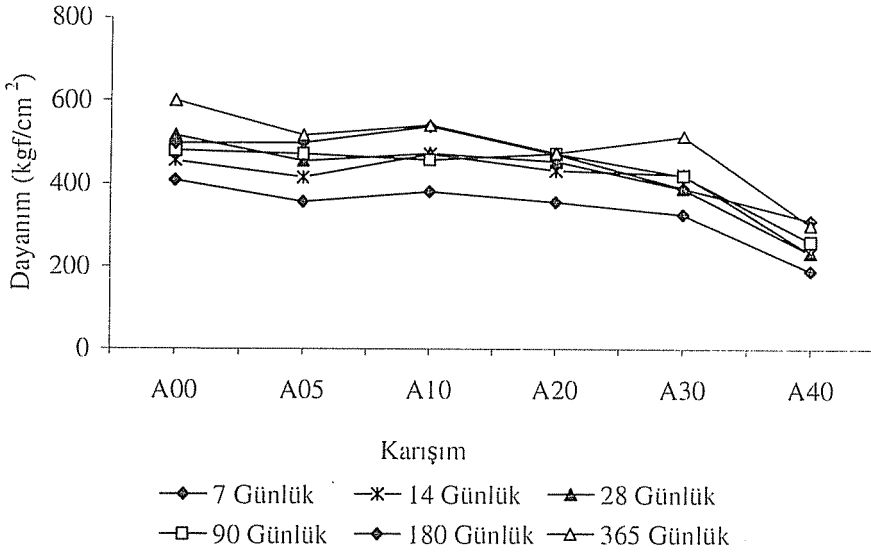
Numune/Yaş	7 Gün	14 Gün	28 Gün	90 Gün	180 Gün	365 Gün
	15x15 Küp Dayanımı (kgf/cm <sup>2</sup> )					
A00	515	551	595	619	653	688
A05	505	555	589	611	705	702
A10	483	574	564	564	664	696
A20	517	572	595	675	692	739
A30	428	457	503	572	591	650
A40	309	362	381	405	465	550
	15/30 Silindir Dayanımı (kgf/cm <sup>2</sup> )					
A00	409	456	516	480	497	600
A05	358	416	456	472	500	518
A10	382	473	474	459	540	542
A20	358	433	455	474	473	476
A30	328	424	391	421	392	517
A40	191	235	235	262	314	303

**Çizelge 6.** Uçucu Kül Karışımların Elastisite Modülleri (kgf/cm<sup>2</sup>)

Karışım	Numune	7 Gün	14 Gün	28 Gün	90 Gün	180 Gün	365 Gün
% 0 UK	A00	398062	330634	344866	482921	505794	421887
% 5 UK	A05	339549	362204	481280	390216	366289	399720
%10 UK	A10	339737	348216	388878	481355	428062	456660
%20 UK	A20	337276	317609	431217	450211	453939	430391
%30 UK	A30	232274	459093	453333	369957	466595	488088
%40 UK	A40	229392	432640	294749	487589	400366	458560



Şekil 2. Küp Numunelerinin Yaş/Basınç Dayanım Grafiği



Şekil 3. Silindir Numunelerinin Yaş/Basınç Dayanım Grafiği

Uçucu kül karışımlarının 28 günlük yarmada çekme dayanımları 3 adet 15/30 silindir numunelerde elde edilmiş ve sonuçların aritmetik ortalamaları alınmıştır. Bu karışımların 28 günlük yarmada çekme dayanımları, 28 günlük basınç dayanımları ile birlikte Çizelge 7’de verilmiştir. Görüldüğü gibi çimentonun yerine %30’a kadar uçucu kül katkısı, çekme dayanımlarında önemli bir azalma meydana getirmemektedir. Kaldı ki uçucu külün puzolanik etkisi, çekme dayanımlarında günden güne bir gelişme gösterecektir.

**Çizelge 7.** Uçucu Kül Karışımlarının 28 Günlük Yarmada Çekme ve Basınç Dayanımları (15/30 cm Silindir)

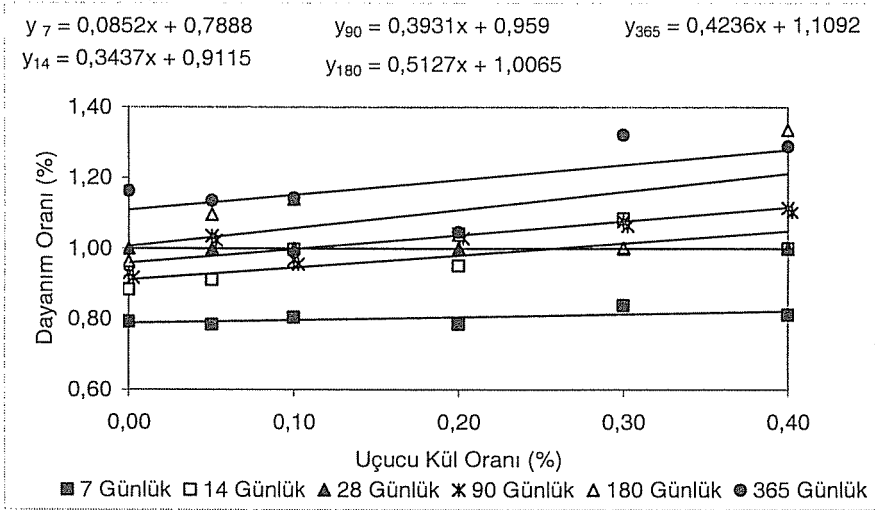
Karışım	Numune	Yar.Çekme Dayanımı kgf/cm <sup>2</sup>	Basınç Dayanımı kgf/cm <sup>2</sup>	Basınç/Çekme %
% 0 UK	A00	52.85	516	10
% 5 UK	A05	54.79	456	12
% 10 UK	A10	49.02	474	10
% 20 UK	A20	43.31	455	10
% 30 UK	A30	47.31	391	12
% 40 UK	A40	35.50	235	15

Uçucu kül katkıli betonların basınç dayanımlarının, 28 günlük basınç dayanımlarına oranları Çizelge 8’de verilmiştir. Burada uçucu külün zamana bağlı olan puzolanik etkisi araştırılmıştır. Çimentonun yerine uçucu kül katkısı kullanıldığında çimentonun erken dayanım kazandırdığı, uçucu külün ise zamanla dayanım kazandırdığı görülmektedir. Betonda uçucu kül oranının artması ile dayanımın zamana yayılması da orantılı olarak artmaktadır. Şekil 4 ve Şekil 5’te uçucu kül katkıli betonların basınç dayanımlarının, 28 günlük basınç dayanımlarına oranlarına göre incelendiğinde, 7 günlük dayanımların uçucu kül katkısının artması ile gitgide azalan bir eğri oluşturduğu görülmektedir. Bu uçucu külün erken yaşta yavaş bir puzolanik aktivitesinin olduğunu göstermektedir. Beton yaşı arttıkça puzolanik aktivite de artmaktadır. Bu grafiklerdeki eğri eğimlerinden açıkça görülmektedir. Uçucu kül oranı arttıkça eğri eğimi de artmaktadır.

Şekil 4 ve Şekil 5’te silindir ve küp numuneler için uçucu kül katkıli betonların dayanımlarının 28 günlük dayanımlarına oranları, uçucu kül oranı ile ilişkilendirilmiş ve 7, 14, 90, 180 ve 365 günlük beton yaşına göre lineer bağıntılar kurulmuştur. Bu bağıntılar ile %40’a kadar uçucu kül katkı oranına kadar betonların, katkı oranı ve 7, 14, 90, 180, 365 günlük beton dayanımlarının herhangi birinin bilinmesi durumunda diğer yaşlar için beton dayanımları bulunabilir.

**Çizelge 8.** Uçucu Kül Katkılı Karışımların Basınç Dayanımlarının 28 Günlük Basınç Dayanımına Oranları

15x15 Küp Dayanımı	A00	A05	A10	A20	A30	A40
7 Günlük	0.87	0.86	0.86	0.87	0.85	0.81
14 Günlük	0.93	0.94	1.02	0.96	0.91	0.95
28 Günlük	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
90 Günlük	1.04	1.04	1.00	1.13	1.14	1.06
180 Günlük	1.10	1.20	1.18	1.16	1.17	1.22
365 Günlük	1.16	1.19	1.23	1.24	1.29	1.44
15/30 Silindir Dayanımı	A00	A05	A10	A20	A30	A40
7 Günlük	0.79	0.79	0.81	0.79	0.84	0.81
14 Günlük	0.88	0.91	1.00	0.95	1.08	1.00
28 Günlük	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
90 Günlük	0.93	1.04	0.97	1.04	1.08	1.11
180 Günlük	0.96	1.10	1.14	1.04	1.00	1.34
365 Günlük	1.16	1.14	1.14	1.05	1.32	1.29



**Şekil 4.** Uçucu Kül Katkılı Betonların 7, 14, 90, 180 ve 365 Günlük 15/30 Silindir Basınç Dayanımlarının, 28 Günlük Basınç Dayanımlarına Oranlarının Zamana Bağlı İlişkileri (Analitik İlişkilendirme ile)

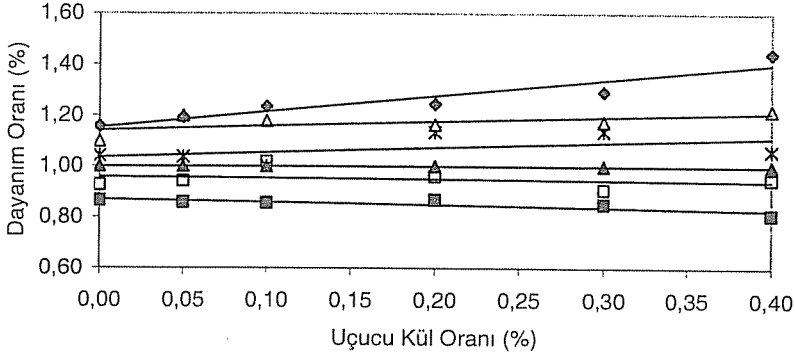
$$y_7 = -0,1036x + 0,8698$$

$$y_{14} = -0,0403x + 0,9581$$

$$y_{90} = 0,1933x + 1,0349$$

$$y_{180} = 0,1733x + 1,1414$$

$$y_{365} = 0,6194x + 1,152$$



■ 7 Günlük □ 14 Günlük ▲ 28 Günlük ✖ 90 Günlük △ 180 Günlük ◆ 365 Günlük

Şekil 5. Uçucu Kül Katkılı Betonların 7, 14, 90, 180 ve 365 Günlük 15x15 Küp Basınç Dayanımlarının, 28 Günlük Basınç Dayanımlarına Oranlarının Zamana Bağlı İlişkileri (Analitik İlişkilendirme ile)

## 5. SONUÇLAR

Çimentonun yerine uçucu kül ikamesinin, betonun mekanik özelliklerindeki etkisinin %20 uçucu kül ikamesine kadar çok iyi olduğu, hatta şahit betondan bile iyi davranış gösterdiği görülmüştür. Ancak uçucu külün basınç dayanımına etkisi %20 oranından sonra düşüş eğilimi göstermektedir. Uçucu kül oranı %20'ye kadar olan betonların basınç dayanımları 90 güne kadar şahit beton dayanımları kadar, 180 günden sonra şahit beton dayanımının da üzerine çıktığı görülmüştür. Basınç dayanımı, uçucu kül oranının %30 değerinde ise şahit betona göre %10-15 düşüş göstermektedir ki bu değer de kabul edilebilir bir değerdir. Çekme dayanımları da basınç dayanımlarına paralel bir seyir izlemektedir. Diğer taraftan, bu karışımların elastisite modülü değerleri basınç dayanımında olduğu gibi gözle görünür bir azalma göstermemiştir. Uçucu kül ile birlikte hacimce ince malzeme miktarı arttığı için, kül katkısı ile birlikte betonun kompasitesi de artmaktadır. Bundan dolayı basınç dayanımında gözle görülür bir azalma olmasına rağmen, elastisite modülünde bu azalma görülmemektedir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Anonymous, "Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri", Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 1996.

2. ASTM C618, "Standard Specification for Fly Ash and Raw Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete", Annual Book of ASTM Standard, 1991.

3. TS 639, "TS639 Uçucu Küller-Çimentoda Kullanılan", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara., 1975.

4. Postacıoğlu,B., "Beton (Bağlayıcı Maddeler)", Teknik Kitaplar Yayınevi, Cilt 1, 175 s., İstanbul, 1986.
5. Zhang,Y., Sun,W., Shang,L., "Mechanical Properties of High Performance Concrete Made With High Calcium High Sulfate Fly Ash". *Cement and Concrete Research*, 27, 1093-1098, 1997.
6. Temiz,H., "Uçucu Kül ve Silis Dumannın Birlikte Katıldığı Harcın Özellikleri", Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 1997.
7. Lam,L., Wong,Y.L., Poon,C.S., "Effect of Fly Ash and Silica Fume on Compressive and Fracture Behaviors of Concrete", *Cement and Concrete Research*, 28, No.(2), pp. 271-283. 1998.
8. Tunçbilek,B., "Bazı Türkiye Uçucu Küllerinin Portland Çimentosu-Uçucu Kül Hamur ve Harçlarının Özelliklerine Etkileri", ODTÜ , Yüksek Lisans Tezi, 1998.
9. Thomas,M.D.A., Shehata,M.H., Shashiprakash,S.G., Hopkins,D.S., Cail,K., "Use of Ternary Cementitious Systems Containing Silica Fume and Fly Ash in Concrete", *Cement and Concrete Research*, 29, 1207-1214, 1999.
10. Saraswathy,V., Muralidharan,S., Thangavel,K., Srinivasan,S., "Influence of Activated Fly Ash on Corrosion-Resistance and Strength of Concrete", *Cement and Concrete Research*, 25, 673-680, 2003.
11. TS 3530, "Beton Agregalarının Dane Büyüklüğü Dağılımının Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.

## POMZA İLE YAPILAN HAFİF BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Rıza DİNÇER

Ç.Ü., Ceyhan Meslek Yüksekokulu, Adana/Türkiye

İsmail H. ÇAĞATAY

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

**ÖZET :** Bu çalışmada, normal agreganın ve normal iri agreganın yerine %0, %25, %50, %75, %100 oranlarında pomza agrega kullanılarak taşıyıcı hafif betonların mekanik özellikleri araştırılmıştır. Üretilen beton numunelerinin, birim hacim ağırlığına bağlı olarak basınç dayanımları, çekme dayanımları, elastisite modülleri ve enerji yutma kapasitelerinin değişimi incelenmiştir. Pomza katkılı betonların mekanik özelliklerinde azalma olmasına rağmen, normal agregaya %50'ye kadar iri pomza ilavesinde, gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin altında kalan alanlarda iyileşme gözlenmiştir. Bu sonuçla, enerji yutma kapasitesinde bir azalma olmaksızın taşıyıcı betonun birim hacim ağırlığının azaltılması sonucu, deprem etkisinde bir yapıya gelen yükler azaltılmış olacaktır.

### MECHANICAL PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH PUMICE

**ABSTRACT :** In this study, mechanical properties of structural lightweight concretes were investigated by using 0%, 25%, 50%, 75% and 100% ratios of pumice aggregate instead of natural aggregate and coarse aggregate. The compressive strength, tension strength, elasticity modulus and energy absorbing capacity changes of the produced concrete samples were investigated depending on the unit weight. In spite of the reduction at mechanical properties of pumice added concretes, improvement under the area of the stress-strain curves were observed at the addition up to %50 percent coarse pumice aggregate to natural aggregate. With this result, because of decreasing bulk unit of structural concrete without any reduction of energy absorbing capacity, the load amount to a building under earthquake will be reduced.

## 1. GİRİŞ

Yapılarda kullanılan malzemenin genellikle birim ağırlığının az, mukavemetinin fazla, işlenebilirliğinin çok, ısı iletkenliğinin az olması tercih edilir. Beton, diğer birçok yapı malzemesi gibi basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük gevrek bir malzemedir. Ekonomik oluşu, kolay işlenebilirliği ve teknik özellikleri sonucu yaşamın çok değişik alanlarında kullanılan betondan, geleneksel işlevi olan taşıma gücü kavramının ötesinde, kullanıldığı ortama uyum sağlaması da beklenilir olmuştur. Bu uyum, değişik kimyasal etkilere karşı koyabilme özelliğinden başlayıp deprem ve rüzgar gibi tekrarlanan yüklemeler altında betonun özelliklerini koruyabilme yeteneğine kadar geniş bir yelpazeyi kapsar. Bunun yanı sıra betonun sabit ağırlığının azaltılarak yapıya gelen sabit ve deprem yüklerin azaltılmasına, sünekliliğinin artırılarak enerjiyi yutabilme kabiliyetinin artırılmasına, yüksek yapılarda dayanımın artırılarak daha küçük kesitli elemanlara ihtiyaç duyulur. Tüm bu ihtiyaçların ortaya çıkması, beton teknolojisinde yeni araştırmalara neden olmaktadır. Amaç, istenilen gereksinimleri karşılayacak ideal betonu elde etmektir.

Türkiye dünyanın en zengin ve kaliteli hafif agregaya yataklarına sahiptir. Beton içerisinde hafif agregaya kullanılarak taşıyıcı yapı elemanlarına gelen yükler azaltılabilir ve ısı iletkenlik katsayılarının düşük olması nedeni ile ısı yalıtımı sağlanabilir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Şahin (1), yaptığı çalışmada, Van ili Erciş ilçesi Kocapınar yöresi hafif agregasının hafif beton üretiminde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Araştırma sonucunda hafif agreganın hem yalıtım maksatlı hem de taşıyıcı olarak kullanılan hafif betonların üretiminde kullanılabileceği ve puzolanik özelliğinin olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Türkmen (2), Van Erciş yöresi Kocapınar mevkiinden temin edilen hafif agreganın (pomza), değişik oranlarda karıştırılması ile üretilen hafif betonların donma-çözünme dayanıklılıklarını araştırmıştır. Araştırmasında, hafif agreganın kullanılmasıyla elde ettikleri betonların, normal betonlara göre donma çözülmeye daha dayanıklı olduğunu görmüştür.

Ulus (3), mevcut betona alternatif olarak, hafif ekonomik ve ısı iletimi daha düşük bir taşıyıcı beton üretebilmek için, bölgede mevcut olan fakat şu anda beton üretiminde kullanılmayan, Erzincan Molla Köy ham perlit agregasının taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılabilirliğini, elde edilen betonların izolasyon kabiliyetini ve puzolanik özelliğini araştırmıştır. Beton basınç mukavemetinin, dozajın artması ile arttığını ve çökmenin artması ile azaldığını görmüştür. Ayrıca normal betonlara göre birim ağırlıkta %23 ile %29, ısı iletiminde %69 civarında bir azalma elde etmiştir.

Aydın (4), Erzurum Tortum yöresinden aldıkları diyatomit, Van Erciş yöresinden aldıkları pomzanın ve Doğu Linyit işletmelerinin Aşkale kömür ocaklarından atık olarak çıkartılan ve madencilik literatüründe pasa olarak geçen atık malzemelerin çimento ağırlığına oranla beton katkı malzemesi olarak kullanılması durumunda betonların bazı mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Yaptığı deneyler sonucunda diyatomit, pomza, ve pasanın kabul edilebilir sınırlar içerisinde betonların basınç dayanımlarında ve elastisite modüllerinde düşüşlere sebep olduğunu gözlemiştir.



Kan (5), Pasinler/Esendere (Badicivan) köyü yakınındaki ocaklardan elde edilen volkanik tüf kumunun harç yapımında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Araştırma sonucunda, çalışması yapılan malzeme içerisinde bulunan tras ve volkanik tüfün, harcın sıvaşma ve yapışma kabiliyetini artırdığı, harç basınç dayanımının yeterli olduğu, duvar ve sıva harcı yapmak için uygun bir malzeme olduğu kanısına varmıştır.

Khandaker ve Hossain (6), hafif beton üretiminde kaba agregası olarak ve çimentonun yerine pomzanın kullanılabilirliği üzerine araştırmalar yapmışlardır. Araştırmada çimentonun yerine %0-%25 arasında öğütülmüş pomza ve kaba agreganın yerine hacimce %0-%100 arasında pomza agregası kullanarak, pomzanın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin taze ve sertleşmiş beton üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Test sonuçları çimentonun yerine %15'e kadar öğütülmüş pomza kullanarak yapılan betonların kullanılabilir olduğunu ortaya koymuştur.

### 3. MATERYAL ve METOD

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Pomza

Pomza, Kayseri'nin Develi İlçesinden temin edilmiştir. Doğal durumuyla gevşek yapıda olduğu için kırma ve parçalama gibi mekanik işlemlere tabi tutulmamıştır. Ancak beton karışımı için elenerek en büyük dane çapı 2.38 mm pomza kum, 9.50 mm pomza küçük çakıl, 16 mm pomza iri çakıl olmak üzere 3 farklı malzeme elde edilmiştir.

Bu pomza taşının Adana Çimento Fabrikası'nda yaptırılan kimyasal analizinin sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Pomzanın Kimyasal Bileşimi

Madde	Miktar (%)
SiO <sub>2</sub>	65.76
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.41
CaO	4.45
MgO	0.89

##### 3.1.2. Çimento

Beton karışımlarında Adana Çimento Fabrikası ürünü PÇ 42.5 çimentosu kullanılmıştır.

##### 3.1.3. Agregası

Beton karışımlarında kullanılan agregası, Çakıt Deresinden çıkarılmış, yıkanarak en büyük dane çapı 2.38 mm kum, 9.50 mm ince çakıl, 19.1 mm iri çakıl olmak üzere üç farklı elekten geçirilmek suretiyle elde edilmiştir.

### 3.1.4. Süperakışkanlaştırıcı

Betonun işlenebilirliğini artırmak için Sika Firmasının ürettiği Sikament-300 su azaltıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Malzeme kataloğunda plastik kıvam için çimento ağırlığının %0.8-1.5'i önerilmektedir. Bu çalışmada ürün kataloğunda plastik kıvam için önerilen sınır değerlerinden %1.2 kullanılmıştır.

### 3.2. Metod

Pomza agregasında 16-19 mm dane çapı arası malzeme miktarı az olduğu için normal agreganın 9.5-19.1 mm dane çapındaki çakıl sınıfı, 16 mm kare delikli elekten elenmek suretiyle 9.5-16 mm iri çakıl sınıfı elde edilmiştir. Böylece normal ve pomza agregalarından, en büyük dane çaplarına göre eşit üç sınıf oluşturulmuştur.

Agregaların gevşek birim ağırlığı TS 3529 (7), agregaların kuru özgül ağırlığı, doygun kuru yüzey özgül ağırlığı, görünen özgül ağırlığı ve su emme oranı tayini TS 3526'ya (8) göre belirlenmiştir. Ancak hafif agregalar üzerinde işleme esnasında taneler kırılabileceğinden sıkışık birim ağırlık deneyi yapılmamıştır. Agregaların numunelerinin alınmasında TS 1114'te (9) belirtilen dörde bölerek küçültme yöntemi kullanılmıştır.

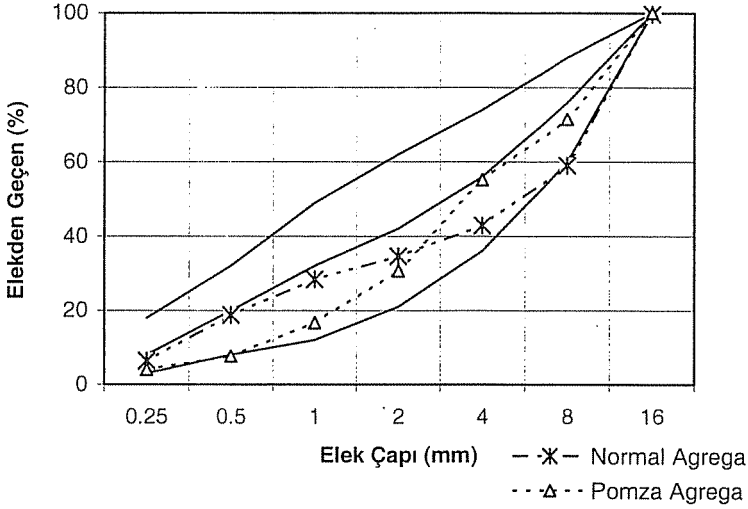
Hafif agregalar için beton karışım hesaplarında kullanılacak özgül ağırlık faktörü deneyi, agreganın bulunduğu nem oranı dikkate alınarak her bir dane sınıfı için TS 2511 (10) ve TS 3234'e (11) göre agregaların 10 dakikalık su emme süresi esas alınarak piknometre yöntemi ile yapılmıştır.

Bütün karışımlarda agrega hacminin %40'ı oranında kum, %30'u oranında küçük çakıl ve %30'u oranında iri çakıl kullanılmıştır. Bu oranlar kullanıldığında granülometrik dağılımın TS 3530'a (12) uygun olduğu Şekil 1'den görülmektedir. Beton bileşim hesaplarında ise mutlak hacim yöntemi kullanılmıştır. Karışım hesaplarında hafif agregaların 10 dakikalık özgül ağırlık faktörleri kullanılmış, normal agreganın ise laboratuvarında kuru bir ortamda uzun bir süre beklediği için kuru birim hacim ağırlık değerleri göz önüne alınmıştır.

## 4. BULGULAR

### 4.1. Betonların Mekanik Özellikleri

Araştırmada kullanılan malzemelerin özgül ağırlıkları Çizelge 2'de, normal agreganın sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlıkları ile su emme değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Pomza agreganın en büyük dane çapı sınıfına göre gevşek birim hacim ağırlığı, 30 dakikalık ve 24 saatlik su emme değerleri ile beton döküm aşamasındaki nem durumuna göre bulunan özgül ağırlık faktörleri Çizelge 4'te verilmiştir.



Şekil 1. Normal ve Pomza Agregasının Granülometri Eğrisi

Çizelge 2. Karışımlarda Kullanılan malzemelerin Özgül Ağırlıkları

Malzeme Cinsi	Özgül Ağırlık (kg/dm <sup>3</sup> )
Çimento	3.15
Normal Kum (Kuru)(0/4.76)(Çakıt)	2.51
Normal Çakıl I (Kuru) (4.76/9.52)(Çakıt)	2.66
Normal Çakıl II (Kuru) (9.52/16)(Çakıt)	2.66
Pomza Kum (Kuru) (0/4.76)(Develi)	1.49
Pomza Çakıl (Kuru)I (4.76/9.52)(Develi)	1.01
Pomza Çakıl II (Kuru) (9.52/16)(Develi)	0.88
Sikament 300	1.23

Çizelge 3. Normal Agreganın Sıkışık, Gevşek Birim Hacim Ağırlıkları ve Su Emme Değerleri

Dane Sınıfı (mm)	Sıkışık Birim Ağırlık (Hava Kuru) (kg/m <sup>3</sup> )	Gevşek Birim Ağırlık (Hava Kuru) (kg/m <sup>3</sup> )	Su Emme (%) (24 Saat)
0/4.76	1795	1698	1.26
4.76/9.52	1745	1644	0.93
9.52/16	1691	1565	0.76

**Çizelge 4.** Pomza Agreganın Gevşek Birim Hacim Ağırlıkları, Su Emme ve Özgül Ağırlık Faktörleri

Dane Sınıfı (mm)	Gevşek Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> ) (Hava Kuru)	Su Emme (%) (30 dak)	Su Emme (%) (24 saat)	Özgül Ağırlık Faktörü (10 Dakikalık)
0/4.76	773	11.10	16.21	1.52
4.76/9.52	457	16.25	24.63	1.15
9.52/16	424	18.00	28.38	0.98

Bu araştırmada, önce normal agreganın yerine %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında pomza agregası, daha sonra normal agregaya olarak kum, iri agreganın yerine %25, %50, %75, %100 oranlarında iri pomza agregası kullanılmıştır. Normal agregaya pomza ilaveli betonların karışım hesapları Çizelge 5'te, normal iri agregaya pomza ilaveli betonların karışım hesapları Çizelge 6'da verilmiştir.

Üretilen hafif betonlar için Ve-Be metodu esas alınmıştır. Normal agregaya ile yapılan betonun slump değeri 3 cm, Ve-Be değeri 8 sn olarak belirlenmiştir. Hafif agregalı betonun aynı işlenebilirlikteki normal betona göre daha düşük çökme değeri vereceği göz önüne alındığında, hafif agregaya ile yapılan karışımlarda 8 sn Ve-Be değeri göz önüne alınmıştır. Karışımlarda hafif agregaya oranının artması ile birlikte su ihtiyacı da artacağı için, tüm karışımlarda aynı işlenebilirliği elde etmek için seri karışımlar üretilerek kıvam deneyleri yapılmıştır.

Dayanım ile çimento dozu arasındaki bağıntıyı saptamak için deney karışımları kullanılmıştır. TS 2511'e (10) göre en az üç değişik çimento dozajı ile deney yapılmalıdır. Dayanım deneyler dört çimento dozajına göre yapılarak en uygun çimento dozajı (350 kg) belirlenmiştir.

Üretilen hafif betonlar için her karışım için 4 adet küp ve 4 adet silindir numune basınç dayanımı için, 1 adet silindir numune elastisite modülü tayini için ve 3 adet silindir numune de yarmada çekme dayanımı için üretilmiştir. Bu aşamada 11 karışım için 28 günlük beton yaşı göz önüne alınmıştır. Silindir numunelerin düzgün olmayan üst yüzeyine TS 3068'e (13) göre çimento başlıklama yapılmıştır.

Beton karışımı içerisindeki pomza yüzdesinin değişmesiyle betonun su ihtiyacı da değişiklik göstereceğinden, aynı işlenebilirlikte betonlar elde etmek için bir seri kıvam deneyleri yapılmış ve daha sonra 28 günlük beton numuneler üretilmiştir.

**Çizelge 5.** Normal Agregaya %25, 50, 75, 100 Oranlarında Pomza Agregası İlavesi Karışım Hesapları

MALZEME		% 0	% 25	% 50	% 75	% 100	
		Pomza	Pomza	Pomza	Pomza	Pomza	
		Ağırlık	Ağırlık	Ağırlık	Ağırlık	Ağırlık	
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	
Çimento Dozajı		350	350	350	350	350	
Su	Toplam	132	152	166	182	195	
	Net	112.54	115.46	112.04	110.67	105.81	
Hava		-	-	-	-	-	
Süperakışkanlaştırıcı		4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	
AGREGA	Normal	0/4	748.88	745.93	749.38	750.76	755.66
		4/9.5	592.86	442.90	296.63	148.59	0.00
		9.5/16	592.86	442.90	296.63	148.59	0.00
	Pomza	0/4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		4/9.5	0.00	58.28	117.09	175.96	236.14
		9.5/16	0.00	56.61	113.75	170.93	229.40
Toplam		2401.35	2216.28	2039.72	1859.70	1681.22	
Vebe (sn)		7	7	8	7	8	
Kuru Bir. Hac. Ağ.		2483	2145	1864	1588	1279	
Su Emme (24 h)(%)		1.62	2.15	3.72	6.31	8.78	

**Çizelge 6.** Normal İnce Agregaya Kum, İri Agregaya %0, %25, 50, 75, 100 Oranlarında Pomza Agregası İlavesi Karışım Hesapları

MALZEME		% 0	% 25	% 50	% 75	% 100	
		Pomza	Pomza	Pomza	Pomza	Pomza	
		Ağırlık	Ağırlık	Ağırlık	Ağırlık	Ağırlık	
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	
Çimento Dozajı		350	350	350	350	350	
Su	Toplam	132	152	166	182	195	
	Net	112.54	115.46	112.04	110.67	105.81	
Hava		-	-	-	-	-	
Süperakışkanlaştırıcı		4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	
AGREGA	Normal	0/4	748.88	745.93	749.38	750.76	755.66
		4/9.5	592.86	442.90	296.63	148.59	0.00
		9.5/16	592.86	442.90	296.63	148.59	0.00
	Pomza	0/4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		4/9.5	0.00	58.28	117.09	175.96	236.14
		9.5/16	0.00	56.61	113.75	170.93	229.40
Toplam		2401.35	2216.28	2039.72	1859.70	1681.22	
Vebe (sn)		7	7	6	6	7	
Kuru Bir. Hac. Ağırlık		2483	2220	1987	1812	1711	
Su Emme Oranı (%)		1.62	3.35	4.85	5.00	5.59	

Normal agregaya %0, %25, %50, %75 ve %100 pomza ilaveli karışımların mekanik özellikleri Çizelge 7'de verilmiştir.

**Çizelge 7.** Normal Agregaya %25, 50, 75, 100 Oranlarında Pomza Agregası İlaveli Karışımların mekanik Özellikleri

Oran	Silindir Dayanımı kgf/cm <sup>2</sup>	Küp Dayanımı kgf/cm <sup>2</sup>	Yarmada Çekme Dayanımı kgf/cm <sup>2</sup>	Elastisite Modülü kgf/cm <sup>2</sup>
%0	419	550	54	326184
%25	319	342	41	267437
%50	234	239	33	154904
%75	192	200	22	101165
%100	137	175	21	86949

Normal iri agregaya %0, %25, %50, %75 ve %100 pomza ilaveli karışımların mekanik özellikleri de Çizelge 8'de verilmiştir.

**Çizelge 8.** Normal İri Agregaya %25, 50, 75, 100 Oranlarında Pomza Agregası İlaveli Karışımların mekanik Özellikleri

Oran	Silindir Dayanımı kgf/cm <sup>2</sup>	Küp Dayanımı kgf/cm <sup>2</sup>	Çekme Dayanımı kgf/cm <sup>2</sup>	Elastisite Modülü kgf/cm <sup>2</sup>
%0	419	550	54	326184
%25	333	461	45	242080
%50	262	362	32	182458
%75	228	286	28	162403
%100	197	207	24	127855

Pomza oranına bağlı olarak betonun mekanik özelliğinin normal betona göre değişimi,  $y = \alpha e^{\beta x}$  bağıntısı kurularak ilişkilendirilmiş ve Çizelge 9'da verilmiştir. Burada x, pomza katkı oranını, y ise betonun mekanik özelliğindeki değişimin oranını ifade etmektedir.

**Çizelge 9.** Pomza Oranına Bağlı Olarak Betonun Mekanik Özelliğinin Normal Betona Göre Değişimi ( $y = \alpha e^{\beta x}$  Bağıntısı İle)

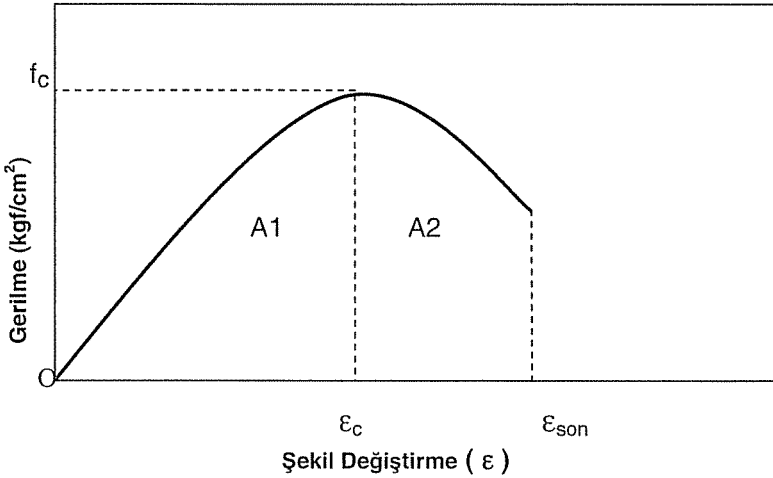
Betonun Mekanik Özellikleri	Normal Agregaya Pomza İlaveli Betonlar		Normal İri Agregaya Pomza İlaveli Betonlar	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
Silindir Dayanımı	99.800	-1.0974	96.574	-0.7530
Küp dayanımı	88.011	-1.1307	104.200	-0.9727
Yarmada Çekme dayanımı	98.043	-1.0046	98.473	-0.8385
Elastisite Modülü	103.670	-1.4466	95.299	-0.9089

#### 4.2. Betonların Enerji Yutma Kapasiteleri

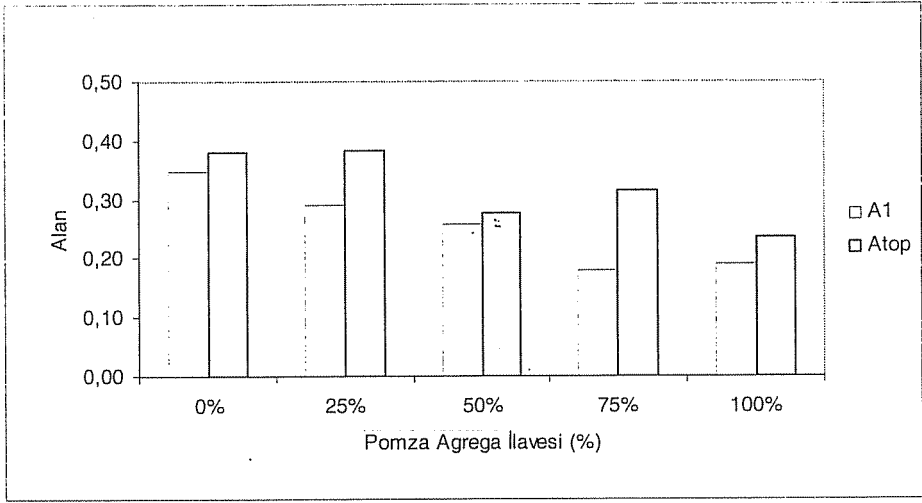
Burada hafif agrega ile üretilen betonların gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin altında kalan alanlar hesaplanarak enerji yutma kapasitelerinin pomza oranı ile ne ölçüde değiştiği araştırılmıştır (Çizelge 10). Şekil 2'den görüleceği üzere maksimum gerilmeye karşılık gelen birim uzama mesafesinde eğrinin altındaki alan A1, buradan son mesafeye kadar olan eğrinin altındaki alan A2 ve toplam alan  $A_t = A_1 + A_2$  olduğuna göre A1 ve  $A_t$  alanları, normal agreganın yerine pomza ilavesi ile yapılan karışımlarda Şekil 3'te, normal iri agreganın yerine pomza ilavesi ile yapılan karışımlar da Şekil 4'te karşılaştırılmıştır.

**Çizelge 10.** Normal Agregaya Pomza İlaveli Betonların Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi Altındaki Alanların Hesabı

Alan	Pomza Oranı (%)				
	%0	%25	%50	%75	%100
A1	0.348789	0.289766	0.258311	0.179092	0.191064
A2	0.031035	0.094727	0.018223	0.136289	0.046523
$A_{\text{toplam}}$	0.379824	0.384492	0.276533	0.315381	0.237588



**Şekil 2.** Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisinin Altındaki Alanlar



**Şekil 3.** Normal Agregaya Pomza İlaveli Karışımların Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisinin Altında Kalan Alanların İlişkisi

Şekil 3'te görüldüğü gibi, normal agregaya pomza ilavesi ile birlikte maksimum gerilme değerinin düşmesi sonucu gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin altında kalan alanlarda azalmaktadır. Ancak bu azalma oranı basınç dayanımındaki azalma ile orantılı değildir. Pomza katkısı ile betonun sünekliğinin artması ile birlikte bu alan değeri de artmaktadır. Kaldı ki taşıyıcı hafif betonların kullanılması ile yapı ağırlığının azalması sonucu yapıya gelen deprem kuvvetleri de azalacaktır.

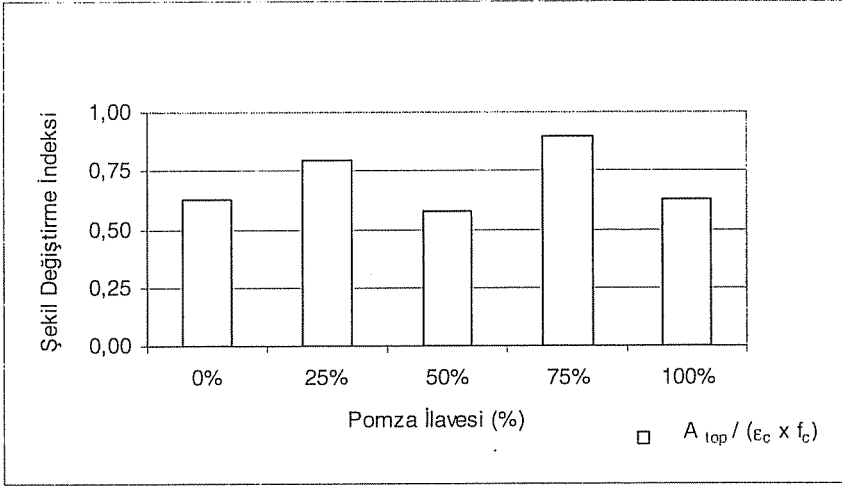
Çizelge 11'de görüldüğü gibi pomza oranının artması ile maksimum gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirme değeri de artmaktadır. Ayrıca pomza katkısı, betonun şekil değiştirme indeks özelliklerini iyileştirmektedir (Şekil 4).

Şekil 4'te pomza katkılı betonların şekil değiştirme indeksleri gerilme-şekil değiştirme eğrisinin altındaki alan değerleri,  $(\epsilon_c \times f_c)$  alan değerine bölünerek hesaplanmıştır. Burada  $f_c$  maksimum gerilme,  $\epsilon_c$  maksimum gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirme değeridir.

**Çizelge 11.** Normal Agregaya Pomza İlaveli Betonların Şekil Değiştirme Özellikleri

Pomza Oranı	$\epsilon_c$	$\epsilon_{son}$	$f_c$	$A_{top}/(\epsilon_c \times f_c)$
0%	0.00152	0.00160	398	0.63
25%	0.00154	0.00186	314	0.79
50%	0.00199	0.00207	241	0.58
75%	0.00189	0.00272	185	0.90
100%	0.00240	0.00272	157	0.63





Şekil 4. Normal Agregaya Pomza İlaveli Karışımların Şekil Değişirme İndeksi İlişkileri

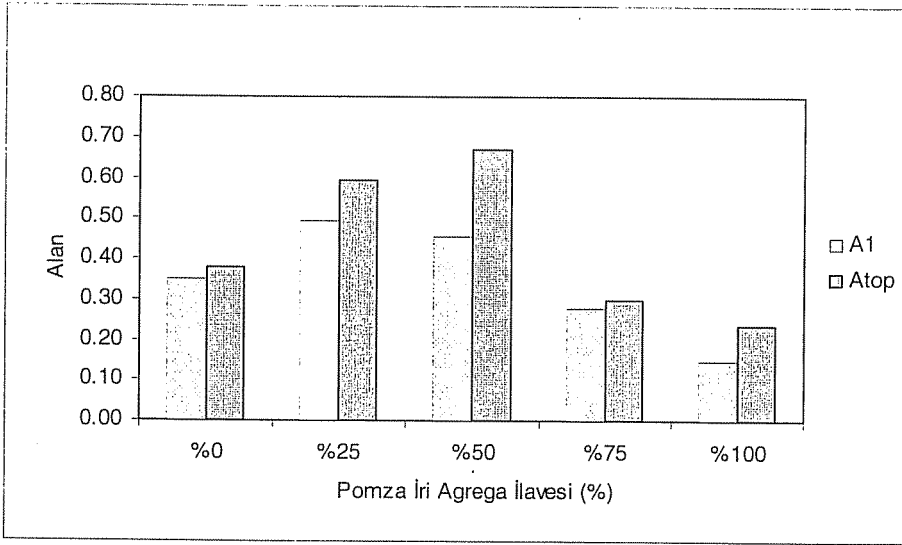
İnce agrega olarak normal kum ve iri agrega yerine %50'ye kadar pomza ilaveli betonların basınç dayanımında azalma meydana gelmesine rağmen, maksimum gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirme değeri arttığı için eğrilerin altında kalan alan değerlerinde artış görülmektedir (Çizelge 12).

İri agreganın yerine %25 pomza ilavesi ile betonun birim hacim ağırlığı ortalama %8' azalmasına karşılık, basınç dayanımında ortalama %14 azalma meydana gelmiştir. Buna karşılık %50'ye kadar iri pomza ilavesinde gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin altında kalan alanlarda iyileşme görülmektedir (Şekil 5). Bu sonuçla yapının enerji yutma kapasitesinde bir azalma olmaksızın taşıyıcı betonun birim hacim ağırlığının azaltılması sonucu, deprem etkisinde yapıya gelen yük azaltılmış olacaktır.

Pomza karışumlu betonlarda pomza oranının artması ile maksimum dayanım düşmekte ve gerilme-şekil değiştirme eğrisi yayvan bir şekil almaktadır. Normal betonlarda ise maksimum gerilmeye ulaştıktan sonra eğrinin tepe kısmı daha keskin bir şekil almaktadır. Bu özellik pomza karışumlu betonların süneklik değerinin artmasına neden olmaktadır.

Çizelge 12. Normal İri Agregaya Pomza İlaveli Betonların Gerilme-Şekil değiştirme Eğrisi Altındaki Alanların Hesabı

Alan	Pomza Oranı (%)				
	0%	25%	50%	75%	100%
A1	0.348789	0.493975	0.454648	0.277480	0.148730
A2	0.031035	0.100820	0.214355	0.019912	0.085801
At	0.379824	0.594795	0.669004	0.297393	0.234531

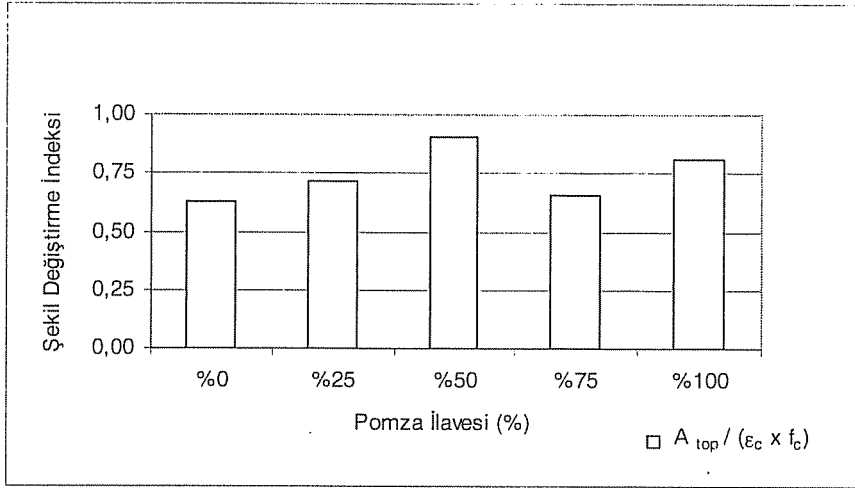


**Şekil 5.** Normal İri Agregata Pomza İlaveli Karışımların Gerilme-Şekil Değişirme Eğrisinin Altında Kalan Alanların İlişkisi

Normal agregata iri pomza ilaveli betonların da şekil değişirme indeksleri Çizelge 13'te hesaplanmıştır. Şekil 6'da görüldüğü gibi pomza ilavesi, betonun şekil değişirme özelliklerini iyileştirmektedir.

**Çizelge 13.** Normal İri Agregata Pomza İlaveli Betonların Şekil Değişirme İndeks Özellikleri

Pomza Oranı	$\epsilon_c$	$\epsilon_{son}$	$f_c$	$At/(\epsilon_c \times f_c)$
%0	0.00152	0.001602	398	0.63
%25	0.00217	0.002441	385	0.71
%50	0.00268	0.003496	276	0.91
%75	0.00215	0.002246	210	0.66
%100	0.00154	0.002012	188	0.81



Şekil 6. Normal İri Agregaya Pomza İlaveli Karışımların Şekil Değişirme İndeks İlişkileri

## 5. SONUÇLAR

1) Normal agregaya pomza ilavesi ile yapılan karışımların mekanik özellikleri birbirleri ile paralel değişim göstermektedir. Ancak, pomza agregası ilavesi ile betonun mekanik özellikleri lineer değişmemektedir. Normal agregaya %25 oranında pomza ilave edildiğinde basınç dayanımında ortalama %17'lik azalma meydana gelmesine karşı birim ağırlıkta ortalama %12 azalma meydana gelmektedir. İri agreganın yerine %25 pomza ilavesiyle de betonun birim hacim ağırlığının ortalama %8 azalmasına karşılık, basınç dayanımında ortalama %14 azalma meydana gelmektedir. Ancak %50'ye kadar iri pomza ilavesinde gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin altında kalan alanlarda iyileşme gözlenmiştir. Bu sonuçla yapının enerji yutma kapasitesinde bir azalma olmaksızın taşıyıcı betonun birim hacim ağırlığının azaltılması sonucu deprem etkisinde yapıya gelen yük azaltılmış olacaktır.

2) Betona pomza agrega katkı oranının artması ile maksimum gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirme değeri de artmaktadır.

3) Normal betona pomza agregası katkısı betonun mekanik özelliklerinde önemli bir azalmaya neden olmaktadır. Bu azalma oranı çekme dayanımına oranla basınç dayanımında daha yüksektir. Normal iri agregaya %75 pomza ilaveli karışımın basınç dayanımında %62 oranında azalma olurken, çekme dayanımında bu oran %37'dir. Normal beton basınç ve çekme taşıma kapasitelerine, harç ile agreganın ayrılması şeklinde ulaşırken, pomza katkılı betonlarda pomzanın ezilmesi ve/veya kopması şeklinde ulaşmaktadır. Bu da betonun çekme ve basınç dayanımlarındaki orantısızlıkta etken olmaktadır.

## 6. ÖNERİLER

1) Pomza agregası ile üretilen taşıyıcı hafif betonlarda çimento dozajı en az 350 kg olmalıdır.

2) Pomza katkılı betonlar taşıyıcı panel perde duvarlar için araştırılmalıdır. Yapılarda bu katkıların kullanılması ile yapı ağırlığının azalması ve şekil değiştirme özelliklerinin iyileşmesi nedeniyle dinamik etkilerle yapıya gelebilecek hasarlar en alt düzeye indirilebilecektir.

3) Yapılarda pomza katkılı bölme duvarların kullanılması yaygınlaştırılmalıdır. Yapı ağırlığının azalması ile yapıya gelen dinamik yükler de azalacak ve buna paralel olarak yapı güvenliği de arttırılmış olacaktır.

## 7. KAYNAKLAR

1. Şahin,R., "Kocapınar Pomzası İle Üretilen Hafif Betonun Mukavemetinin Araştırılması", Atatürk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 108s., Erzurum, 1996.

2. Türktenen,İ., "Van Erciş Pomzasından Üretilen Hafif Betonun Donma Çözülme Dayanıklılığının Araştırılması", Atatürk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 83 s., Erzurum, 1997.

3. Ulusu,İ., "Erzincan Mollaköy Ham Perlit Agregasının Taşıyıcı Hafif Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması", Atatürk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 68 s., Erzurum, 1997.

4. Aydın,A., "Diyatomit, Pomza ve Pasa'nın Beton Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması", Atatürk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 113s., Erzurum, 1998.

5. Kan,A., "Pasinler-Esendere Volkanik Tüf Kumunun Harç Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması", Atatürk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 78 s., Erzurum, 1999.

6. Khandaker,M., Hossain,A., "Properties of Volcanic Pumice Based Cement and Lightweight Concrete", Cement and Concrete Research, 2478, 2002.

7. TS 3529, "Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.

8. TS 3526, "Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.

9. TS 1114, "Hafif Agregalar-Beton için", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1986.

10. TS 2511, "Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesapları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1977.

11. TS 3234, "Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metodları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1978.

12. TS 3530, "Beton Agregalarının Dane Büyüklüğü Dağılımının Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.

13. TS 3068, "Laboratuvarda Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1978.

## UÇUCU KÜL, ÇELİK LİF VE POMZA İÇEREN BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Rıza DİNÇER

Ç.Ü., Ceyhan Meslek Yüksekokulu, Adana/Türkiye

İsmail H. ÇAĞATAY

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

**ÖZET :** Bu çalışmada, pomza agregası, uçucu kül ve çelik lif katkı betonların mekanik özellikleri incelenmiştir. Normal betona pomza agregası ve/veya uçucu kül katkısının şekil değiştirme indeks değerlerini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Şekil değiştirme performansı artan sırayla, pomza katkı betonlar, çelik lif katkı betonlar ve uçucu kül katkı betonlardır. Normal iri agregaya %75 pomza katıldığında küp dayanımını göz önüne alırsa, basınç dayanımında %62 oranında kayıp meydana gelmektedir. Pomza katkı betonun basınç dayanımına çelik lif katkısı, %20 dolayında bir artış, kül katkısı ise %2.7 gibi göz önüne alınmayacak bir azalma meydana getirmektedir. Normal betona çelik lif ve uçucu külin birlikte katıldığı durumda çelik lif, betonun tüm mekanik özelliklerinde artış eğilimi yaratırken, uçucu kül azalmaya neden olmaktadır. Pomza katkı hafif betonlara çelik lif katkısı, basınç dayanımında %20, çekme dayanımında ise %47 gibi önemli bir oranda artış sağlamıştır. Ancak, bu karışıma uçucu kül ilave edildiğinde betonun 28 günlük mekanik özelliklerinde önemli miktarda düşüş meydana gelmektedir.

### MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE CONTAINING FLY ASH, STEEL FIBER AND PUMICE

**ABSTRACT :** In this study, mechanical properties of concrete containing pumice aggregate, fly ash and steel fiber were investigated. It is observed that, strain index values were highly increased by adding pumice aggregate and/or fly ash to natural concrete. Performance of strain with increasing order is concrete containing, pumice, steel fiber and fly ash. If the cube sample is considered when 75% pumice was added to natural coarse aggregate, compressive strength loss occurred at a ratio of 62%. 20% increase was obtained by adding steel fiber and 2.7% decrease was obtained by adding fly ash to the compressive strength of pumice added concrete. When steel fiber and fly ash are added together to natural concrete, while steel fiber was showing an increasing curve, fly ash caused a decrease. Steel fiber addition to the lightweight concrete showed 20% increase at compressive strength and a considerable increase such as 47% ratio at flexural strength. However, when fly ash was added to this mixture, a considerable decrease occurs at the 28 days mechanical properties.

## 1. GİRİŞ

Geleneksel beton tipik olarak; yorulma dayanımı, kavitasyon ve aşınma dayanımı, çekme dayanımı, şekil değiştirme kapasitesi, kayma dayanımı, çatlama sonrası yük taşıma dayanımı ve tokluk açısından zayıf performans gösterir. Betonun bu özelliklerinin belirgin olarak gerektiği yerlerde beton içerisine değişik malzemelerden üretilmiş ve teknik özellikleri yüksek liflerin katılması sonucu betonun yukarıda anılan zayıf özellikleri iyileştirilerek beton güçlendirilmektedir. Çelik lifli betonlarla inşa edilen süneklik düzeyi yüksek betonarme yapıların deprem kuvvetleri altındaki davranışı olumlu yönde değişmektedir. Ülkemizin deprem kuşağında olduğu göz önünde bulundurulduğunda gevrek bir malzeme olduğu bilinen betonun bu zayıf yönünü iyileştirmenin önemli olduğu açık bir gerçektir.

Türkiye, dünyanın en zengin ve kaliteli hafif agrega yataklarına sahiptir. Beton içerisinde hafif agrega kullanılarak taşıyıcı yapı elemanlarına gelen yükler azaltılabilir ve ısı iletkenlik katsayılarının düşük olması nedeni ile ısı yalıtımı sağlanabilir. Yüksek yapılarda, kendi ağırlığının azlığı nedeniyle kullanılması öncelik kazanmaktadır. Bununla beraber, elde edebileceğimiz hafif betonlarda birim ağırlığının düşürülmesi ile mekanik özelliklerde görülen zayıflamaların önlenmesi için bu tür malzemelerin çelik liflerle donatılarak, özellikle eğilme dayanımı, çarpma dayanımı ve enerji yutabilme kabiliyetlerinin artırılması mümkündür.

Ekonomik ve çevresel problemlerin çözümüne katkıda bulunabilmek için endüstriyel atıklardan yararlanma oranını arttırmak gerekir. Termik santrallerdeki kömürün yakılması sonucu bir yan ürün olarak açığa çıkan uçucu kül, puzolanik ve bağlayıcı özelliğinden dolayı betonda bağlayıcı katkı malzemesi olarak kullanılabilir. Çimentonun bir kısmının yerine uçucu kül ikame edildiğinde betonun maliyetini azaltır. Bununla birlikte taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini de değiştirmektedir. Ülkemizde ise betonda katkı malzemesi olarak kullanılması yaygın değildir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Zhang ve ark (1), yüksek kalsiyum ve yüksek  $SO_3$  içerikli uçucu kül katkılı betonların mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada çimentonun yerine %50-60 oranlarında kullandıkları uçucu kül ile yaptıkları betonların 3 günlük ve 90 günlük basınç dayanımlarını, sırasıyla 252 ve 422  $kgf/cm^2$  elde etmişlerdir. 90 günlük basınç dayanımları ise referans betonları geçmiştir. Eğilme dayanımlarında da önemli gelişmeler kaydedilmiştir.

Temiz (2), yüksek ve düşük kireçli iki uçucu kül (YKUK ve DKUK) ile silis dumanının (SD) değişik oranda karışımlarının çimento hamuru, harcı ve beton özelliklerine etkilerini araştırmıştır. Yüksek ve düşük kalsiyumlu uçucu kül katkısı harç ve betonlarda ilk yaşlarda dayanımın düşmesine neden olurken, ileri yaşlarda, özellikle YKUK daha aktif olması sayesinde, referans numune dayanımına yaklaşılmakta, hatta bazı durumlarda geçilmektedir.

Lam, Wong ve Poon (3), çimentonun yerine belirli oranlarda uçucu kül ve silis dumanı katkısının betonların basınç dayanımına, gerilme-şekil değiştirme ilişkisine ve kırılma davranışı üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. Uçucu kül betonun gerilme-

şekil değiştirme eğrisinin azalan kısmının eğimini düşürmektedir. Düşük oranda uçucu kül betonun çekme dayanımını geliştirmektedir.

Thomas ve ark. (4), betona silis dumanı ve uçucu kül karışımını katarak etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında yüksek CaO içeren uçucu kül kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmaya göre; düşük miktarda silis dumanı (%3-6) ve yüksek CaO içeren uçucu kül (%20-30), sülfata karşı direnç sağladığı gibi, alkali-agrega reaksiyonunu da azaltmaktadır. Ayrıca düşük CaO içeren uçucu kül, silis dumanı ve değişik miktarlarda çimento ile yaptıkları karışımlarda basınç dayanımının arttığını gözlemişlerdir.

Saraswathy ve ark. (5), çeşitli yöntemler kullanarak daha aktif hale getirdikleri uçucu külü, çimentonun yerine %10, %20, %30, %40 oranlarında kullanarak elde ettikleri karışımların 7, 14, 28 ve 90 günlük basınç dayanımlarını incelemişler ve %30 oranına kadar uçucu kül katkılı betonların basınç dayanımlarını geliştirdiğini ortaya koymuşlardır.

Ramakrishnan ve ark. (6), beton içerisinde uçları kancalı, düz ve kıvrımlı çelik lifler ile polypropylene lifler kullanarak, bunların eğilme dayanımlarını incelemişlerdir. Dalgalı lif katkılı taze betonlar işlenebilirlik ve segregasyon açısından en iyi performansı göstermiştir. Lif katkılı betonlar ile katkısız betonlar karşılaştırıldığında, lif katkısının artması ile ilk çatlak dayanımı %15-%90 arasında, eğilme dayanımı %15-%129 arasında, tokluk indeksi, yük taşıma kapasitesi ve enerji yutma kapasitesi artmaktadır.

Betonun eğilme yükleri altında enerjiyi yutması olarak tanımlanan tokluk, gerek statik gerekse dinamik yüklemelerde betonun eğilme kuvvetleri altındaki deformasyonu sırasında yapılan işi artırarak betona aynı gerilme ölçeğinde daha yüksek deformasyon yapabilme yeteneği kazandırmıştır. İşte bununla birlikte çelik liflerle güçlendirilmiş betonun en önemli performans kazanımını, darbe dayanımı ile birlikte tokluk özelliğinde sağladığı görülmüştür. Lifsiz betonlarda olduğu gibi, çelik lifli betonların eğilme kuvvetleri altındaki çekme dayanımları ile direkt çekme dayanımları arasında doğrudan bir ilişki olmadığı görülmüştür (7).

Güvercin (8), silis dumanı, uçucu kül yüksek fırın cürufunun çimentoya çeşitli oranlarda katılması sonucu çimento üzerindeki etkilerini incelemek için bir çalışma yapmıştır. Elde edilen sonuçlar, silis dumanının ve uçucu külün çimento ile kullanılacak karışım suyu ihtiyacını ve yüksek fırın cürufunun ise işlenebilirliğini artırdığını göstermiştir. Yüksek fırın cürufunun çimentonun basınç dayanımını arttırdığı, %10 ve %20 oranlarında uçucu külün ise çimentonun basınç dayanımını 90 gün sonunda artırdığı belirlenmiştir.

Kayalı ve ark. (9), yüksek dayanımlı hafif agregalı betonlar üzerine çelik ve polypropylene liflerin etkisini araştırmışlardır. Hafif beton içerisinde sinterleştirilmiş uçucu kül agregası kullanmışlardır. Lif katkısı dolaylı çekme dayanımında %94 artışa ve eğilmede çekme dayanımında %20 artışa neden olmaktadır. Polypropylene lif katkısının betonun diğer mekanik özellikleri üzerine önemli bir etkisi olmamıştır. Betona hacimce %1.7 çelik lif katkısı, dolaylı çekme dayanımında %118, eğilmede çekme dayanımında %80 artışa neden olmuştur. Çelik lif katkısı elastisite modülünde küçük bir azalmaya neden olurken, toklukta büyük bir artış gözlenmiştir.

### 3. MATERYAL ve METOD

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Agrega

Beton karışımlarında kullanılan normal agrega, Çakıt Deresinden çıkarılmış, yıkanarak en büyük dane çapı 2.38 mm kum, 9.50 mm ince çakıl, 16 mm iri çakıl olmak üzere üç farklı elekten geçirilmek suretiyle elde edilmiştir.

##### 3.1.2. Çimento

Beton karışımlarında Adana Çimento Fabrikası ürünü PÇ 42.5 çimentosu kullanılmıştır.

##### 3.1.3. Pomza

Pomza, Kayseri'nin Develi İlçesinden temin edilmiştir. Doğal durumuyla gevşek yapıda olduğu için kırma ve parçalama gibi mekanik işlemlere tabi tutulmamıştır. Ancak beton karışımı için elenerek en büyük dane çapı 2.38 mm pomza kum, 9.50 mm pomza küçük çakıl, 16 mm pomza iri çakıl olmak üzere 3 farklı malzeme elde edilmiştir. Pomza taşının Adana Çimento Fabrikası'nda yaptırılan kimyasal analizinin sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

##### 3.1.4. Uçucu Kül

Bu araştırmada, beton katkı malzemesi olarak Çatalağzı Termik Santrali'nden temin edilen uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu külün fiziksel ve kimyasal özellikleri Adana Çimento Fabrikası T.A.Ş.'de yaptırılmış, Çizelge 1'de verilmiştir.

Çatalağzı Termik Santrali'nden elde edilen uçucu kül, kimyasal analizi incelendiğinde  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%70$  koşulunu sağladığından F sınıfı uçucu küller kategorisinde yer almaktadır. Diğer taraftan %1.53 CaO değeri, %10'dan küçük olduğu için Düşük Kireçli Uçucu Küller (DKUK) sınıfındadır.

**Çizelge 1.** Pomza ve Uçucu Külün Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Pomza ve Uçucu külün Kimyasal Özellikleri		
Madde	Miktar (%)	
	Pomza	Uçucu Kül
$\text{SiO}_2$	65.76	57.50
$\text{Al}_2\text{O}_3$	14.44	24.07
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3.41	6.59
CaO	4.45	1.53
MgO	0.89	2.48
$\text{SO}_3$	-	0.16
Uçucu Külün Fiziksel Özellikleri		
Özgül Ağırlık ( $\text{kg/dm}^3$ )	Özgül Yüzey ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	
2.02	2550	



### 3.1.5. Çelik Lif

Araştırmada, uzunluk/çap oranı (Narinlik Oranı) 45 ve 65 olan, uçları pilye şeklinde bükülmüş kancalı çelik lifler kullanılmıştır. Bu liflerin bazıları beton içerisinde homojen bir karışım elde etmek amacıyla özel yapıştırıcı ile birleştirilmiştir. Yapışkanlığı su ile temas etmesiyle kaybolmaktadır. Bu araştırmada kullanılan narinlik oranı 45 olan çelik lif tutkalsız, 65 olanı ise tutkallıdır. Bu çelik liflerin genel özellikleri Çizelge 2’de verilmektedir.

**Çizelge 2. Çelik Liflerin Genel Özellikleri**

Narinlik Oranı	Boy (mm)	Çap (mm)	Çekme Dayanımı (kgf/cm <sup>2</sup> )	Elastisite Modülü (kgf/cm <sup>2</sup> )	Özgül Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )
45	50	1.05	12.500	2.000.000	7.800
65	60	0.90	12.500	2.000.000	7.800

### 3.1.6. Süperakışkanlaştırıcı

Betonun işlenebilirliğini artırmak için Sika Firmasının ürettiği Sikament-300 su azaltıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Bu araştırmada ürün kataloğunda plastik kıvam için önerilen sınır değerlerinden %1.2 kullanılmıştır.

### 3.2. Metod

Hafif beton elde etmek için normal agrega olarak kum ve iri agreganın yerine %75 pomza ilaveli karışım esas alınmıştır. TS 2511’de taşıyıcı hafif betonlar, havada kurumuş haldeki birim ağırlığı 1900 kg/m<sup>3</sup>’ten az olan ve en az B160 dayanım sınıfındaki betonlar olarak ifade edilmektedir. Dayanım ile çimento dozu arasındaki bağıntıyı saptamak için deney karışımları kullanılmıştır. TS 2511’e (10) göre en az üç değişik çimento dozajı ile deney yapılmalıdır. Dayanım deneyler dört çimento dozajına göre yapılarak en uygun çimento dozajı (350 kg) belirlenmiştir.

Uçucu kül içerikli betonlar ile ilgili daha önce yapılan çalışmada, çimentonun yerine %5, %10, %20 oranlarında uçucu kül katkısı, betonun mekanik özelliklerinde bir azalma meydana getirmemiş, %20 oranında uçucu kül katkılı betonların 90 günlük basınç dayanımı şahit betondan da yüksek çıkmıştır. Uçucu kül ikamesinin %20 oranından sonra betonların mekanik özelliklerinde gözle görülür bir azalma meydana gelmektedir. Burada diğer katkıların da kullanılacağı çalışmada, betonun mekanik özelliklerinde en iyi sonucu veren, çimentonun yerine %20 uçucu kül oranı kullanılmıştır.

Çelik lif miktarının beton maliyetinde meydana getireceği artış göz önüne alındığında, narinlik oranı 65 ve çelik lif miktarı %0.5 oranı kullanılmıştır.

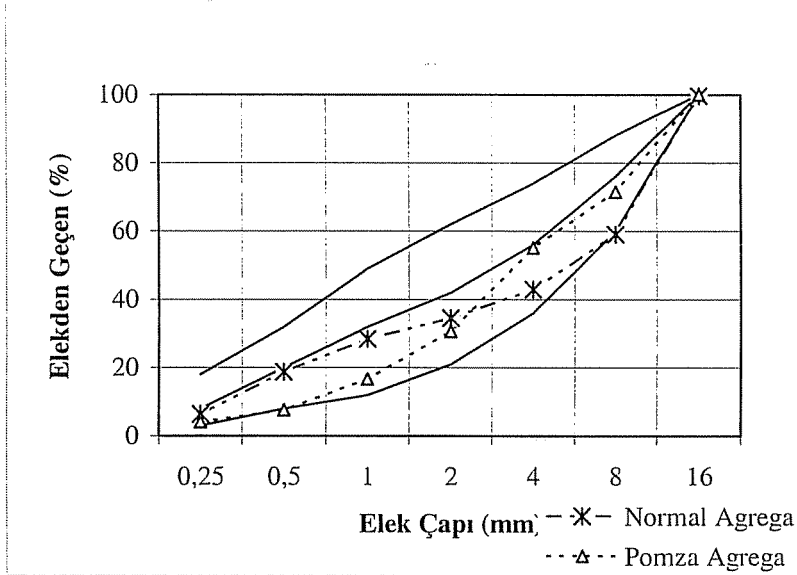
Agregaların gevşek birim ağırlığı TS 3529 (11), agregaların kuru özgül ağırlığı, doymun kuru yüzey özgül ağırlığı, görünen özgül ağırlığı ve su emme oranı tayini TS 3526’ya (12) göre belirlenmiştir. Ancak hafif agregalar üzerinde şişleme esnasında taneler kırılacağından sıkışık birim ağırlık deneyi yapılmamıştır. Agreganın numunelerinin alınmasında TS 1114’te (13) belirtilen dörde bölerek küçültme yöntemi kullanılmıştır.

Hafif agregalar için beton karışım hesaplarında kullanılacak özgül ağırlık faktörü deneyi, agreganın bulunduğu nem oranı dikkate alınarak her bir dane sınıfı için TS 2511

(10) ve TS 3234'e (14) göre agregaların 10 dakikalık su emme süresi esas alınarak piknometre yöntemi ile yapılmıştır.

Bütün karışımlarda agrega hacminin %40'ı oranında kum, %30'u oranında küçük çakıl ve %30'u oranında iri çakıl kullanılmıştır. Bu oranlar kullanıldığında granülometrik dağılımın TS 3530'a (15) uygun olduğu Şekil 1'den görülmektedir. Beton bileşim hesaplarında ise mutlak hacim yöntemi kullanılmıştır. Karışım hesaplarında hafif agregaların 10 dakikalık özgül ağırlık faktörleri kullanılmış, normal agreganın ise laboratuvarında kuru bir ortamda uzun bir süre beklediği için kuru birim hacim ağırlık değerleri göz önüne alınmıştır.

Üretilen hafif betonlar için Ve-Be metodu esas alınmıştır. Normal agrega ile yapılan betonun slump değeri 5 cm, Ve-Be değeri 8 sn olarak belirlenmiştir. Hafif agregalı betonun aynı işlenebilirlikteki normal betona göre daha düşük çökme değeri vereceği göz önüne alındığında, hafif agrega ile yapılan karışımlarda 8 sn Ve-Be değeri göz önüne alınmıştır. Karışımlarda hafif agrega oranının artması ile birlikte su ihtiyacı da artacağı için, tüm karışımlarda aynı işlenebilirliği elde etmek için seri karışımlar üretilerek kıvam deneyleri yapılmıştır.



Şekil 1. Normal ve Pomza Agregasının Granülometri Eğrisi

#### 4. BULGULAR

Bu çalışmada pomza agregası kullanılarak elde edilen hafif betonların, çimentonun yerine ikame edilen uçucu kül katkıli betonların ve çelik lif katkıli betonların birbirlerine olan mekanik etkileri incelenmektedir. Bunun için 4 adet küp numune (15x15 cm) basınç dayanımı için, 3 adet silindir numune (15/30 cm) basınç dayanımı ve elastisite modülü için, 3 adet kiriş numune de (15x15/50 cm) eğilmede çekme dayanımı ve tokluk deneyleri olmak üzere 7 ve 28 günlük karışımlar üretilmiştir.

Silindir numunelerin düzgün olmayan üst yüzeyine TS 3068'e (16) göre başlıklama yapılmıştır.

Araştırmada kullanılan malzemelerin özgül ağırlıkları Çizelge 3'te, normal agreganın sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlıkları ile su emme değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. Pomza agreganın en büyük dane çapı sınıfına göre gevşek birim hacim ağırlığı, 30 dakikalık ve 24 saatlik su emme değerleri ile beton döküm aşamasındaki nem durumuna göre bulunan özgül ağırlık faktörleri Çizelge 5'te, karışım hesapları Çizelge 6'da verilmiştir.

**Çizelge 3.** Karışımlarda Kullanılan malzemelerin Özgül Ağırlıkları

Malzeme Cinsi	Özgül Ağırlık (kg/dm <sup>3</sup> )
Çimento	3.15
Uçucu Kül	2.02
Normal Kum (Kuru)(0/4.76)(Çakıt)	2.51
Normal Çakıl I (Kuru) (4.76/9.52)(Çakıt)	2.66
Normal Çakıl II (Kuru) (9.52/16)(Çakıt)	2.66
Pomza Kum (Kuru) (0/4.76)(Develi)	1.49
Pomza Çakıl (Kuru)I (4.76/9.52)(Develi)	1.01
Pomza Çakıl II (Kuru) (9.52/16)(Devèli)	0.88
Sikament 300	1.23

**Çizelge 4.** Normal Agreganın Sıkışık, Gevşek Birim Hacim Ağırlıkları ve Su Emme Değerleri

Dane Sınıfı (mm)	Sıkışık Birim Ağırlık (Hava Kuru) (kg/m <sup>3</sup> )	Gevşek Birim Ağırlık (Hava Kuru) (kg/m <sup>3</sup> )	Su Emme (%) (24 Saat)
0/4.76	1795	1698	1.26
4.76/9.52	1745	1644	0.93
9.52/16	1691	1565	0.76

**Çizelge 5.** Pomza Agreganın Gevşek Birim Hacim Ağırlıkları, Su Emme ve Özgül Ağırlık Faktörleri

Dane Sınıfı (mm)	Gevşek Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> ) (Hava Kuru)	Su Emme (%) (30 dak)	Su Emme (%) (24 saat)	Özgül Ağırlık Faktörü (10 Dakikalık)
0/4.76	773	11.10	16.21	1.52
4.76/9.52	457	16.25	24.63	1.15
9.52/16	424	18.00	28.38	0.98

Çizelge 6. Beton Karışım Hesapları

MALZEME		N kg/m <sup>3</sup>	P kg/m <sup>3</sup>	K kg/m <sup>3</sup>	L kg/m <sup>3</sup>	KL kg/m <sup>3</sup>	PL kg/m <sup>3</sup>	PK kg/m <sup>3</sup>	PKL kg/m <sup>3</sup>	
Çimento Dozajı		350	350	280	350	280	350	280	280	
Uçucu Kül		0	0	70	0	70	0	70	70	
Lif		0	0	0	39	39	39	0	39	
Su		115.6	111.2	119.0	115.8	119.2	111.8	115.9	116.4	
Akışkanlaştırıcı		4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	
Agrega	Normal	0/4	745.8	750.2	729.8	740.6	724.6	744.6	733.0	727.4
		4/9.5	590.4	148.5	577.8	586.3	573.7	147.4	145.1	144.0
		9.5/16	590.4	148.5	577.8	586.3	573.7	147.4	145.1	144.0
	Pomza	0/4	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		4/9.5	0.00	192.6	0.0	0.0	0.0	191.2	188.2	186.7
		9.5/16	0.00	164.1	0.0	0.0	0.0	162.9	160.3	159.1
Toplam		2396	1869	2359	2422	2384	1898	1842	1871	

(N); Normal Beton, (P); Pomza Katkılı Beton, (K); Uçucu Kül Katkılı Beton, (L); Çelik Lif Katkılı Beton, (KL); Uçucu Kül ve Çelik Lif Katkılı Beton, (PL); Pomza ve Çelik Lif Katkılı Beton, (PK); Pomza ve Uçucu Kül Katkılı Beton, (PKL); Pomza, UçucuKül ve Çelik Lif Katkılı Beton.

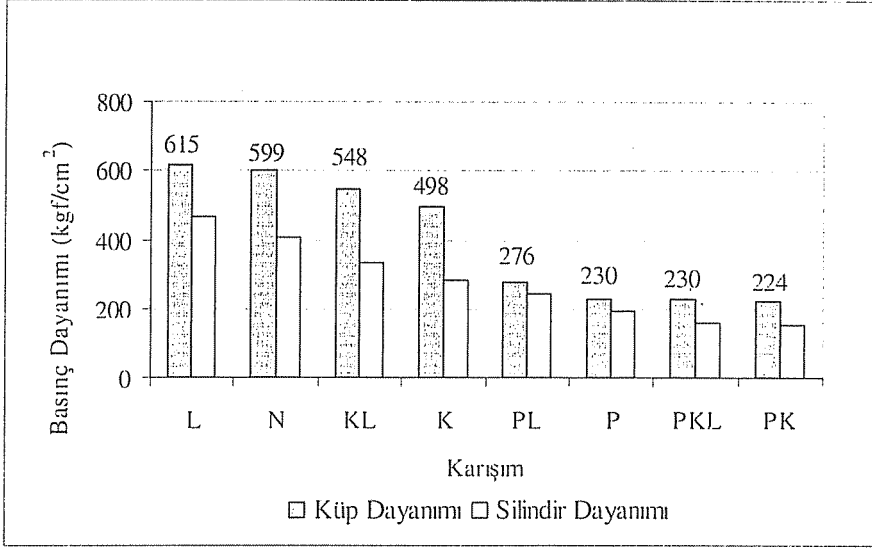
#### 4.1. Mekanik Özellikler

Bu çalışmada çeşitli beton katkıları kullanılmış ve katkıların betonun basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve elastisite modülüne etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla üretilen 7 ve 28 günlük küp, silindir ve kiriş numunelerin deney sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir.

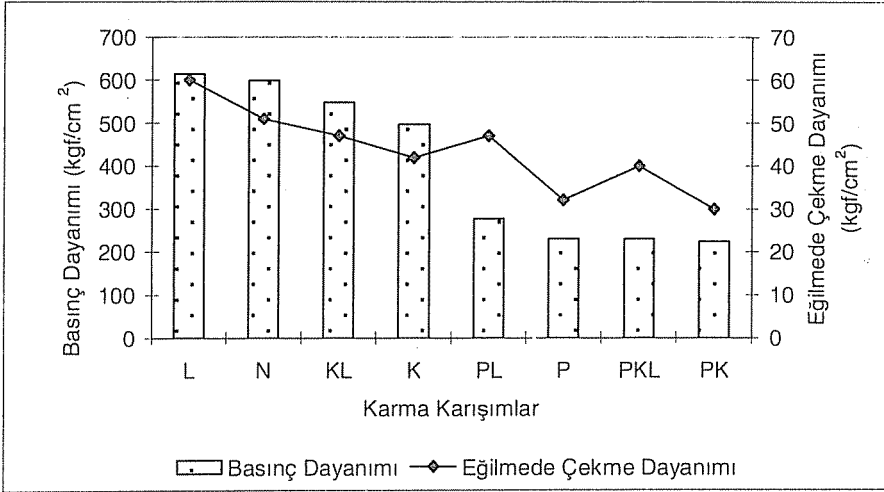
Çizelge 7. Karışımların 7 ve 28 Günlük Mekanik Özellikleri

Karışım	Eksenel Basınç Dayanımı (kgf/cm <sup>2</sup> )				Eğilme Dayanımı (kgf/cm <sup>2</sup> )		Elastisite Modülü (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	7 Günlük		28 Günlük		7 Günlük	28 Günlük	7 Günlük	28 Günlük
	Silindir	Küp	Silindir	Küp	Kiriş		Silindir	
N	405	509	409	405	41	51	328456	305468
L	359	500	468	359	49	60	274353	357172
KL	251	445	333	251	46	47	262705	324440
K	241	412	284	241	37	42	252851	313061
PL	228	268	243	228	43	47	158578	159535
P	204	202	196	204	29	32	152630	169558
PKL	132	202	160	132	32	40	129707	129808
PK	117	198	152	117	25	30	105204	162133

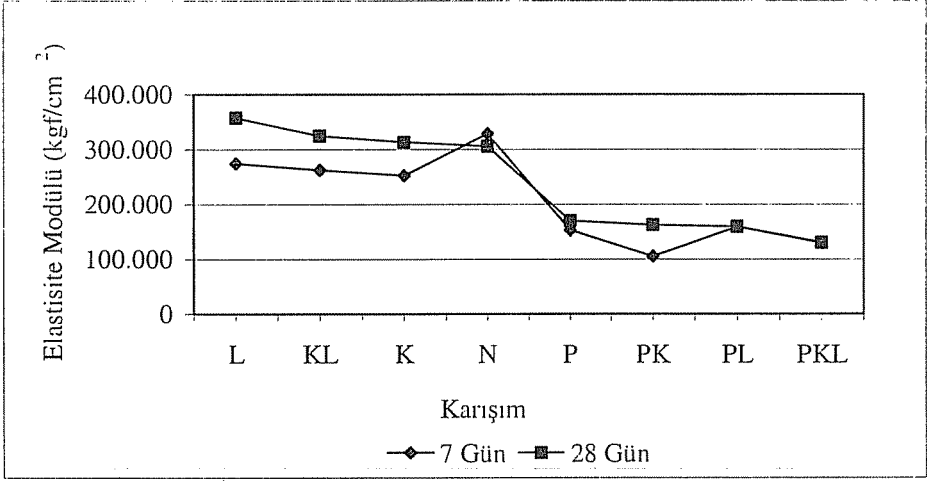
Karışıma göre 7 ve 28 günlük küp ve silindir dayanımları ilişkileri sırasıyla Şekil 2'de, eğilmede çekme dayanımları ile 28 günlük küp basınç dayanımları arasındaki ilişkileri Şekil 3'te, elastisite modülündeki ilişkiler Şekil 4'te verilmiştir. Grafiklerdeki karşımlar, 28 günlük basınç dayanımlarının azalan sırasına göre dizilmiştir.



Şekil 2. Betonların 28 Günlük Basınç Dayanımları



Şekil 3. Karışımların Katkı Malzemesine Göre, Eğilmede Çekme Dayanımları ile 28 Günlük Küp Basınç Dayanımları Arasındaki İlişkileri



Şekil 4. Karışım-Elastisite Modülü İlişkileri

Karışımların katkı cinsine göre birbirlerine olan mekanik etkileri (basınç dayanımında 15x15 cm küp numune göz önüne alınmıştır) Çizelge 7'ye göre hesaplanmış ve Çizelge 8-13'de verilmiştir.

Normal betona katılan uçucu kül, beton içerisindeki ince malzeme miktarını artırdığı için elastisite modülünde artış gözlenmiştir. Çekme dayanımında ise basınç dayanımı ile paralel bir davranış içerisinde. Normal betona çelik lif ve uçucu külün birlikte katıldığı durumda çelik lif, betonun tüm mekanik özelliklerinde artış eğilimi yaratırken, uçucu kül azalmaya neden olmaktadır. Uçucu külün, çelik lif ile birlikte katıldığı harcın dayanımında yarattığı olumsuz etki, çelik lifin harç içerisinde oluşturduğu bağ kuvvetinin azalmasına neden olmakta ve betonun çekme dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu etki çizelge 8'de daha açık görülmektedir. Çelik lif katkılı betona uçucu kül katkısı, basınç dayanımında %11, çekme dayanımında %22 azalma meydana getirmektedir. Ancak, uçucu külün zamana bağlı puzolanik etkisi, betonun harç dayanımında sağlayacağı artış, çelik lifin harç içerisinde kurduğu köprünün bağ kuvvetlerinin de artışına neden olacak ve betonun çekme dayanımını artıracaktır.

Normal betona çelik lif katkısı, betonun basınç dayanımında önemli olmayan bir artışa neden olurken çekme dayanımını ve elastisite modülünü önemli oranda (%18) artırmaktadır (Çizelge 8).

Normal agregaya uçucu kül ve çelik lif katkısının beraber yapıldığı pomza katkılı hafif betonlarda da önemli bir değişiklik meydana gelmemiştir. Uçucu külün basınç dayanımını bir miktar azaltan etkisi, çelik lifin ise bir miktar artıran etkisi birbirlerini dengelemişlerdir. O halde uçucu kül ve çelik lif birbirlerini tamamlayan katkı malzemeleridir denebilir. Uçucu külün basınç dayanımındaki zamana bağlı olarak artışını da göz önüne alırsak, bu ikilinin olduğu betonun basınç mukavemeti gittikçe gelişen bir seyir izleyecektir. Çizelge 8 incelendiğinde normal betona belirtilen oranda çelik lif katkısı, betonun 28 günlük eğilmede çekme dayanımını %18 oranında artırmaktadır.

**Çizelge 8.** Katkı Malzemelerinin Normal Betonun Mekanik Özelliklerine Olan Etki Oranları(28 Günlük 15x15 Küp Basınç Dayanımı ve Eğilmede Çekme Dayanımlarına Göre)

Karışım	Normal Betona Katılan Katkı Malzemeleri	Normal Betona Göre %		
		Basınç	Çekme	Elastisite
K	Uçucu Kül	↓ % 17	↓ % 18	↑ % 2
L	Çelik Lif	↑ % 3	↑ % 18	↑ %17
P	Pomza	↓ % 62	↓ % 37	↓ % 44
KL	Uçucu Kül +Çelik Lif	↓ % 9	↓ % 8	↑ % 6
PL	Pomza + Çelik Lif	↓ % 54	↓ % 8	↓ % 48
PK	Pomza + Uçucu Kül	↓ % 63	↓ % 41	↓ % 47
PKL	Pomza + Uçucu Kül + Çelik Lif	↓ % 62	↓ % 22	↓ % 58

Normal betona pomza agregası katkısı betonun mekanik özelliklerinde önemli bir azalmaya neden olmaktadır. Bu azalma oranı çekme dayanımına oranla basınç dayanımında daha yüksektir. Basınç dayanımında %62 oranında azalma olurken, çekme dayanımında bu oran %37'dir. Pomza agregası ile elde edilen hafif betonlarda basınç ve çekme dayanımı, normal betonlarda olduğu gibi paralel bir davranış izlememektedir.

Pomza katkılı hafif betona çelik lif katkısı betonun 28 günlük eğilmede çekme dayanımını %47 oranında artırmaktadır. Özellikle hafif betonlara çelik lif katkısının, eğilmede çekme dayanımında büyük bir artış meydana getirdiği görülmektedir. Uçucu kül katkılı betonlara çelik lif katkısının ise betonun 28 günlük eğilmede çekme dayanımını %12 oranında artırdığı görülmektedir.

Pomza katkılı betona, çelik lif katkısı basınç dayanımında %20, çekme dayanımında %47 oranında bir artış, kül katkısı ise %2.7 azalma meydana getirmektedir. Ancak bu karışıma uçucu kül ilave edildiğinde betonun 28 günlük mekanik özelliklerinde önemli düşüş meydana gelmektedir. Pomza agregası kullanılarak elde edilen hafif betona uçucu kül ilavesi, betonun mekanik özelliklerinde önemli bir değişiklik meydana getirmemiştir (Çizelge 9). Ancak, normal betona uçucu kül ilavesi, basınç ve çekme dayanımında %18'lik bir azalma meydana getirmiştir. Burada uçucu kül, pomza agregası kullanılarak elde edilen agreganın ince malzeme eksikliği mahsurunu gidermiş ve betonun kompasitesini artırmıştır. Kaldı ki uçucu külün zamana bağlı puzolonik reaktivitesinin devam etmesi, hafif betonların mekanik özelliklerini artırmaya devam edecektir.

Pomza ve uçucu kül katkılı betona çelik lif ilavesi, basınç dayanımında önemli bir artışa neden olmazken çekme dayanımını %33 artırmıştır (Çizelge 10).

**Çizelge 9.** Uçucu Kül ve Çelik Lif Katkılarının, Pomza Katkılı Betonların Mekanik Özelliklerine Olan Etkileri

Karışım	Pomza Katkılı Betona Katılan Katkı Malzemeleri	Değişim %		
		Basınç	Çekme	Elastisite
PK	Uçucu Kül	↓ % 3	↓ % 6	↓ % 4
PL	Çelik Lif	↑ % 20	↑ % 47	↓ % 6
PKL	Uçucu Kül + Çelik Lif	↓ % 0	↑ % 25	↓ % 23

**Çizelge 10.** Uçucu Kül ve Pomza Katkılarının, Çelik Lif Katkılı Betonların Mekanik Özelliklerine Olan Etkileri

Karışım	Çelik Lif Katkılı Betona Katılan Katkı Malzemeleri	Değişim %		
		Basınç	Çekme	Elastisite
KL	Uçucu Kül	↓ % 11	↓ % 22	↓ % 9
PL	Pomza	↓ % 55	↓ % 22	↓ % 55
PKL	Pomza + Uçucu Kül	↓ % 63	↓ % 33	↓ % 64

**Çizelge 11.** Çelik Lif ve Pomza Katkılarının, Uçucu kül Katkılı Betonların Mekanik Özelliklerine Olan Etkileri (28 Günlük 15x15 Küp Basınç Dayanımı ve Eğilmede Çekme Dayanımlarına Göre)

Karışım	U. Kül Katkılı Betona Katılan Katkı Malzemeleri	Değişim %		
		Basınç	Çekme	Elastisite
KL	Çelik Lif	↑ % 10	↑ % 12	↑ % 4
PK	Pomza	↓ % 55	↓ % 29	↓ % 48
PKL	Pomza + Çelik Lif	↓ % 54	↓ % 5	↓ % 59

Pomza ve çelik lif katkı betona uçucu kül ilavesi ise basınç ve çekme dayanımında paralel olarak %17 oranında artışa, elastisite modülünde ise %19 azalmaya neden olmuştur (Çizelge 13).

**Çizelge 12.** Çelik Lif Katkısının, Pomza ve Uçucu Kül Katkılı Betonların Mekanik Özelliklerine Olan Etkileri

Karışım	Pomza ve U.Kül Katkılı Betona Katılan Katkı Malzemeleri	Değişim %		
		Basınç	Çekme	Elastisite
PKL	Çelik Lif	↑ % 3	↑ % 33	↓ % 20

**Çizelge 13.** Uçucu Kül Katkısının, Pomza ve Çelik Lif Katkılı Betonların Mekanik Özelliklerine Olan Etkileri

Karışım	Pomza ve Ç.Lif Katkılı Betona Katılan Katkı Malzemeleri	Değişim %		
		Basınç	Çekme	Elastisite
PKL	Uçucu Kül	↑ % 17	↑ % 17	↓ % 19



## 4.2. Enerji Yutma Kapasiteleri (Tokluk)

### 4.2.1. Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrilerinden Hesaplanan Enerji Yutma Kapasiteleri

Katkılı betonların enerji yutma kapasiteleri, 15/30 cm boyutunda 3 adet standart silindir numunenin gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin altındaki alanlar hesap edilerek bulunmuştur. Şekil 5'te gösterilen şekil değiştirme değerlerinde hesaplanan 7 ve 28 günlük betonların gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin altındaki alanlar Çizelge 14'te verilmiştir. Karışımların 7 ve 28 günlük şekil değiştirme indeksleri ise beton yaşına göre Çizelge 15'te verilmiştir.

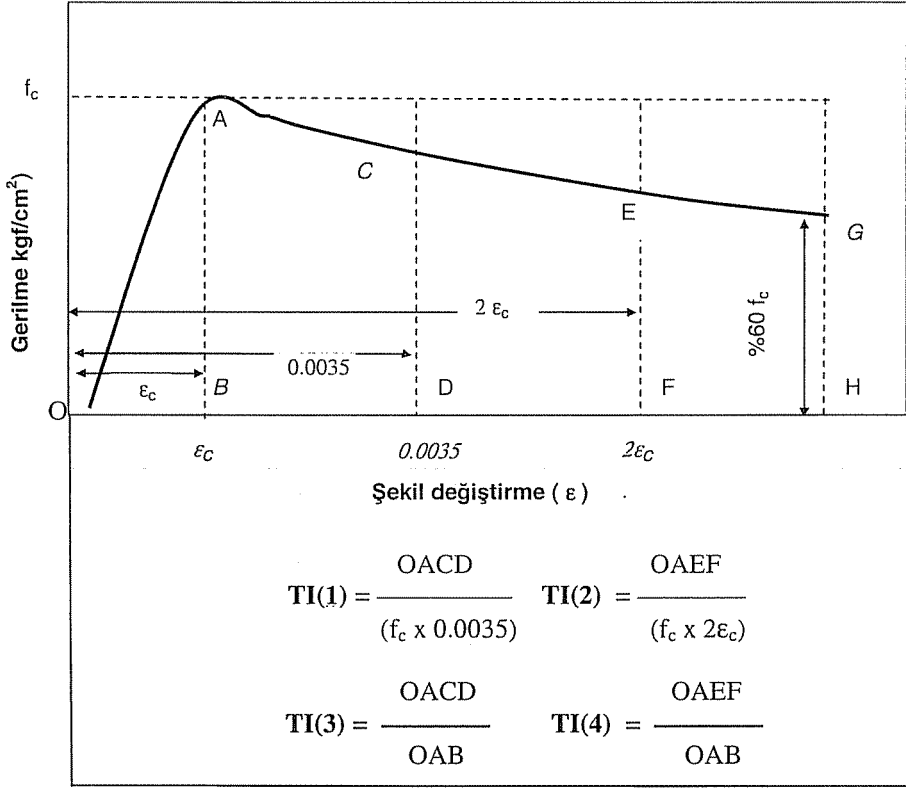
28 günlük betonların TI(1) ve TI(2) şekil değiştirme indekslerinin karışımlara göre ilişkileri Şekil 6'da,  $\epsilon=0.0035$  ve  $\epsilon=2\epsilon_c$  şekil değiştirme değerlerinde hesaplanan 28 günlük betonların gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin altındaki alanların karışımlara göre ilişkileri ise Şekil 7'de grafik olarak gösterilmiştir.

**Çizelge 14.7** ve 28 Günlük Karışımların, Belirli Şekil Değiştirme Değerlerinde, Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrilerinin Altındaki Alanlar

Şekil Değiştirme	N	P	K	L	PK	PL	KL	PKL	
7 Günlük	$\epsilon_c$	0,3454	0,1720	0,3195	0,3467	0,1143	0,2383	0,3535	0,1398
	$2\epsilon_c$	0,4120	0,3310	0,6399	0,8418	0,2717	0,5952	0,8111	0,3446
	$\epsilon_{son}$	0,4120	0,3310	0,6671	1,1864	0,4186	0,9968	1,2330	0,7926
	$\epsilon=0,0035$	0,4120	0,3310	0,5985	0,8944	0,3081	0,5420	0,7060	0,3676
28 Günlük	$\epsilon_c$	0,3456	0,1833	0,2850	0,4330	0,1166	0,3246	0,5452	0,2126
	$2\epsilon_c$	0,4029	0,3569	0,6536	1,0151	0,2853	0,7648	1,2757	0,5029
	$\epsilon_{son}$	0,4029	0,3569	0,7804	1,1286	0,3631	1,1875	2,0315	0,9010
	$\epsilon=0,0035$	0,4029	0,3569	0,7416	1,1286	0,3598	0,6138	0,9220	0,4238

Şekil değiştirme indeksleri, gerilme-şekil değiştirme eğrisinin kuyruk kısımlarının, yani eğrinin azalan kısımlarının uzunluğu ve eğimleri ile değişmektedir. Aynı şekil değiştirme mesafesinde gerilme-şekil değiştirme eğrisinin azalan kısmının açısı ne kadar az ise, eğri altındaki alan değeri büyüyeceğinden şekil değiştirme indeksi değeri de o kadar büyüyecektir. Şekil değiştirme indekslerini etkileyen bir diğer faktör de, en büyük gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirme değeridir. En büyük gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirme değeri ( $\epsilon_c$ ), 'çelik lif katkılı betonlarda daha yüksektir. Bu faktör en büyük gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirme mesafesindeki eğrinin altındaki alan değerini artırmaktadır. Bu alan değeri de TI(3) ve TI(4) tokluk indekslerinin formüllerinde bölüm kısmında yer almasından dolayı, özellikle lif katkılı karışımlarda bu indeks değerinin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle özellikle çelik lif karışimli betonlarda, bu indeks değerlerinin kullanılması uygun değildir.

Katkılı betonların şekil değiştirme indeks değerlerini incelediğimizde, normal betona pomza agregası ve/veya uçucu kül katkısının şekil değiştirme indeks değerlerini önemli ölçüde artırdığı görülmektedir. Pomza ve uçucu kül katkılı betonların şekil değiştirme indekslerinin, çelik lif içeren betonların şekil değiştirme indekslerinden de büyük olduğu görülmektedir.

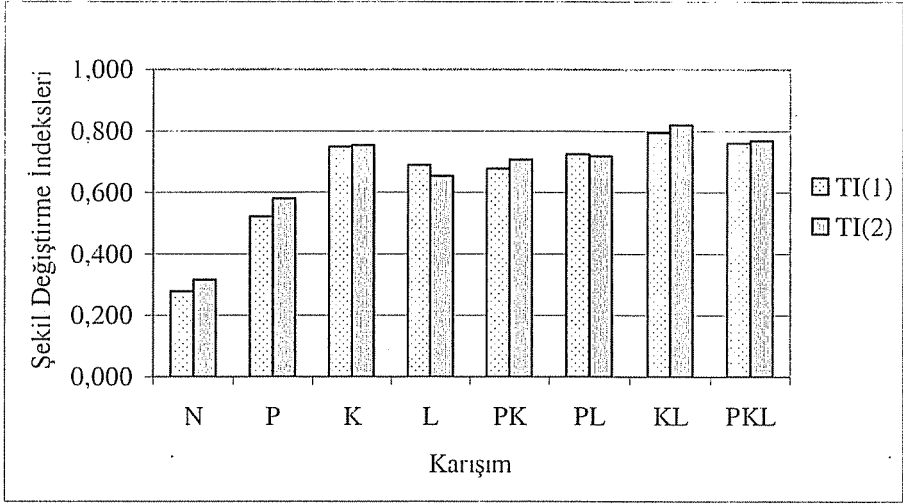


**Şekil 5. Şekil Değiştirme İndeksleri (Tokluk İndeksleri)**

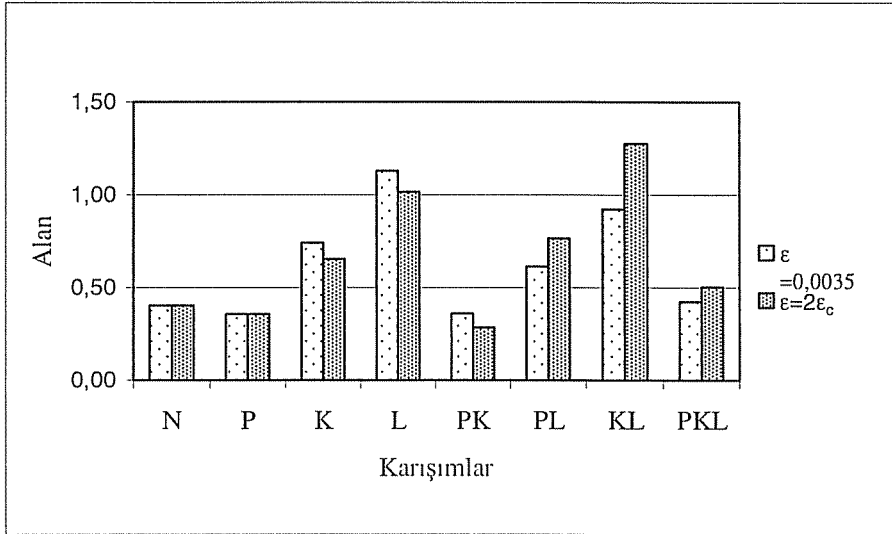
Betonun enerji yutma kapasitesi gerilme-şekil değiştirme eğrisinin altındaki alan değeri ile ölçülmektedir. Şekil 7'de maksimum basınç gerilmesi değeri ve şekil değiştirme indeksi büyük olan karışımların bu alan değerinin de büyük olduğu görülmektedir.

**Çizelge 15. 7 ve 28 Günlük Betonların Şekil Değiştirme İndekslerinin Hesabı**

Lif Miktarı	Şekil Değiştirme İndeksleri							
	TI(1)		TI(2)		TI(3)		TI(4)	
	7 Günlük	28 Günlük	7 Günlük	28 Günlük	7 Günlük	28 Günlük	7 Günlük	28 Günlük
N	0.291	0.279	0.340	0.316	1.193	1.166	1.193	1.166
P	0.464	0.523	0.524	0.581	1.924	1.947	1.924	1.947
K	0.710	0.750	0.439	0.756	1.873	2.602	2.003	2.293
L	0.723	0.690	0.717	0.654	2.580	2.607	2.428	2.344
PK	0.757	0.679	0.747	0.706	2.695	3.087	2.377	2.447
PL	0.683	0.725	0.684	0.719	2.275	1.891	2.498	2.356
KL	0.806	0.793	0.803	0.820	1.997	1.691	2.295	2.340
PKL	0.800	0.760	0.790	0.770	2.631	1.993	2.466	2.365



Şekil 6. 28 Günlük Betonların TI(1) ve TI(2) Şekil Değiştirme İndekslerinin Karışım Çeşidine Göre İlişkileri



Şekil 7. 28 Günlük Betonların,  $\epsilon=0,0035$  ve  $\epsilon=2\epsilon_c$  Değerlerinde Hesaplanan Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrilerinin Altındaki Alanların İlişkileri

#### 4.2.2 Eğilme Yükleri Altında Meydana Gelen Yük-Deplasman Eğrilerinden Hesaplanan Enerji Yutma Kapasiteleri

Karışımların, 15x15\50 cm boyutunda 7 ve 28 günlük olmak üzere 3'er adet kiriş numunelerinin (üçte bir noktalarından yüklenmiş basit kiriş metodu ile) yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir. Çelik lif katkılı karışımların belirli mesafelerdeki deplasman değerlerinde, eğrilerin altındaki alanlar ve şekil değiştirme indeksleri hesaplanarak Çizelge 16'da verilmiştir.

TS 10515'te (17) verilen deplasman değerlerinde hesaplanan yük deplasman eğrilerinin altındaki alanların karışımlara göre ilişkileri Şekil 8'de grafik olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde, pomza katkılı betonlarda çekme dayanımının düşmesi ile birlikte bu alan değeri ve sonuçta enerji yutma kapasiteleri azalmaktadır. Eğilme etkisi altında uçucu kül katkılı betonların enerji yutma kapasiteleri de düşmektedir. Bu olumsuz etki uçucu külün zamanla dayanım kazanması ile ortadan kalkacaktır.

Çelik lif katkılı karışımların şekil değiştirme indekslerinin ilişkileri Şekil 9'da grafik olarak verilmiştir. Şekil incelendiğinde, eğilme etkisi altındaki pomza katkılı betonların şekil değiştirme indekslerinin, diğer karışımlara göre daha büyük olduğu görülmektedir. Bu sonuç, silindir numunelerde elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden hesaplanan şekil değiştirme indekslerinde de bulunmuştu. Pomza girdiği betona sünek bir yapı kazandırmaktadır. Daha doğrusu pomza katkılı hafif betonlara çelik lif katkısı, betonun sünekliğini önemli ölçüde artırmaktadır.

Uçucu kül, eğilme etkisi altında betonun şekil değiştirme indeks değerini düşürmektedir. Yukarıda, uçucu kül katkılı betonların eksenel basınç altındaki gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden hesaplanan şekil değiştirme indekslerinde, uçucu külün şekil değiştirme özelliklerini artırdığı görülmüştü. Bu sonuçla uçucu külün eksenel basınç etkisinde betonun sünekliğini artırdığı, eğilmede çekme kuvvetlerine karşı ise betonun sünekliğini azalttığını söyleyebiliriz. Uçucu külün çelik lif ile beraber kullanıldığı karışımlarda sünekliğin azalması, çelik lifin harç içerisinde oluşturduğu bağ kuvvetlerinin az olmasından kaynaklanmaktadır. Uçucu külün zamanla dayanım kazanması ile çelik lifin harç ile arasındaki bağ kuvvetleri de artacağı için betonun sünekliği de zamanla artış gösterecektir.

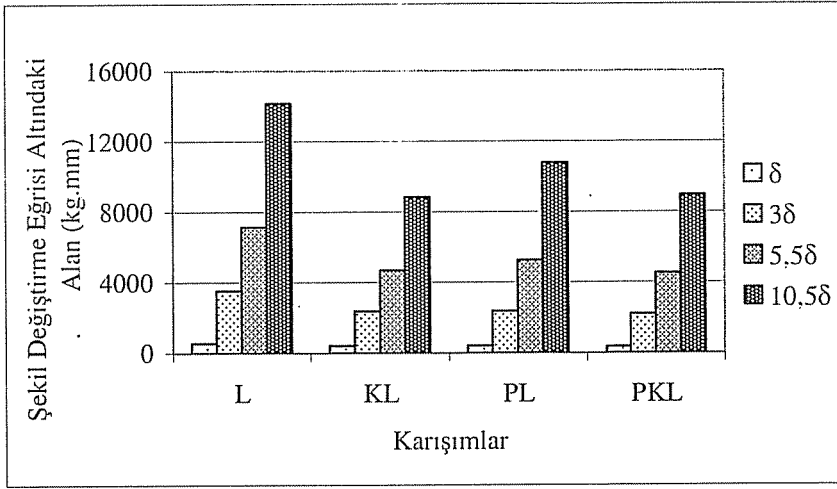
Çelik lif katkısız betonlar ise eğilme etkisi altında ani kırılma ile taşıma güçlerini kaybetmektedirler. Bu betonların yük-deplasman eğrilerinin altındaki alanlar hesaplanarak Çizelge 17'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, çelik lif katkısız karışımların enerji yutma kapasitelerinin maksimum eğilme dayanımı ile ilişkili olduğu görülmektedir.

**Çizelge 16. Çelik Lif Katkılı Karışımların Yük-Deplasman Eğrilerinin Altındaki Alanlar ve Şekil Değiştirme İndeksleri**

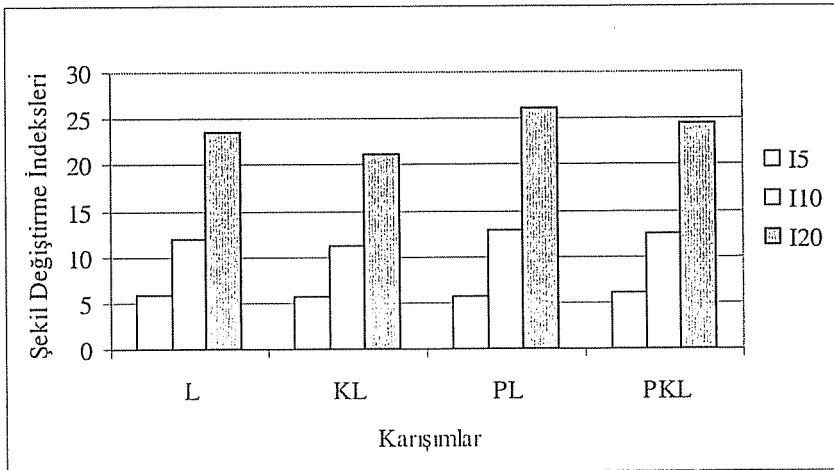
Karışım	Şekil Değiştirme İndeksleri			ALANLAR (kg.mm)			
	I <sub>5</sub>	I <sub>10</sub>	I <sub>20</sub>	δ	3δ	5,5δ	10,5δ
L	5.89	11.89	23.55	562	3545	7152	14168
KL	5.68	11.16	21.08	415	2370	4686	8866
PL	5.79	12.79	26.16	411	2367	5257	10782
PKL	6.08	12.46	24.57	365	2211	4539	8968

**Çizelge 17.** Çelik Lif Katkısız Karışımların Basınç ve Çekme Dayanımları ile Yük-Deplasman Eğrilerinin Altındaki Alanları

Karışım	Yük/Deplasman Eğrisi Altındaki Alan (kg.mm)	Eğilmede Çekme Gerilmesi (kgf/cm <sup>2</sup> )	Basınç Gerilmesi (15'lik Küp) kgf/cm <sup>2</sup> )
N	476	51	599
K	345	42	498
P	298	32	230
PK	221	30	224



**Şekil 8.** Çelik Lif Katkılı Karışımların Yük-Deplasman Eğrisinin Altındaki Alanların İlişkisi



**Şekil 9.** Çelik Lif Katkılı Karışımların Şekil Değiştirme İndekslerinin İlişkileri

## 5. SONUÇLAR

- 1) Normal betona pomza agregası ve/veya uçucu kül katkısının şekil değiştirme indeksi değerlerini önemli ölçüde artırdığı görülmektedir.
- 2) Katkılı karışımların şekil değiştirme performansları artan sırayla, pomza katkıli betonlar, çelik lif katkıli betonlar ve uçucu kül katkıli betonlardır. Tüm karışımlar için artan sıralama ile N, P, L, PK, PL, K, PKL ve KL karışımları olduğu görülmüştür.
- 3) Normal iri agregaya %75 pomza katıldığında küp dayanımını göz önüne alınırsa, basınç dayanımında %62 oranında kayıp meydana gelmektedir. Pomza katkıli betona, çelik lif katkısı %20 dolayında bir artış, kül katkısı ise %2.7 gibi göz önüne alınmayacak bir azalma meydana getirmektedir.
- 4) Çelik lif ile birlikte diğer katkı maddelerinin de olduğu karışımlarda, eğilme etkisi altındaki pomza katkıli betonların şekil değiştirme indekslerinin, diğer karışımlara göre daha büyük olduğu görülmektedir. Pomza girdiği betona sünek bir yapı kazandırmaktadır. Pomza katkıli hafif betonlara çelik lif katkısı, betonun sünekliliğini önemli ölçüde artırmaktadır.
- 5) Pomza katkıli hafif betonlara, kullanılan miktarlar için uçucu kül ve çelik lif katkısı, çelik lifin basınç dayanımına artı katkısı ve uçucu külün de dayanıma eksi katkısı nedeniyle, basınç dayanımında önemli bir değişiklik meydana getirmemektedir.
- 6) Normal betona çelik lif ve uçucu külün birlikte katıldığı durumda çelik lif, betonun tüm mekanik özelliklerinde artış eğilimi yaratırken, uçucu kül azalmaya neden olmaktadır. Uçucu kül, çelik lifin beton içerisinde oluşturduğu bağ kuvvetinin azalmasına neden olmakta ve betonun çekme dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Çelik lif katkıli betona uçucu kül katkısı, basınç dayanımında %11 azalmaya neden olurken, çekme dayanımında %22 azalma meydana getirmektedir. Ancak, uçucu külün zamana bağlı puzolonik etkisi nedeniyle beton dayanımında sağlayacağı artış, çelik lifin beton içerisinde kurduğu köprünün bağ kuvvetlerinin de artışına neden olacak ve betonun çekme dayanımını artıracaktır.
- 8) Pomza katkıli hafif betonlara çelik lif katkısı, basınç dayanımında %20, çekme dayanımında ise %47 gibi önemli bir oranda artış sağlamıştır. Ancak bu karışıma uçucu kül ilave edildiğinde betonun 28 günlük mekanik özelliklerinde önemli düşüş meydana gelmektedir.
- 9) Pomza agregası kullanılarak elde edilen hafif betona uçucu kül ilavesi, betonun mekanik özelliklerinde önemli bir değişiklik meydana getirmemiştir. Burada uçucu kül, pomza agregası kullanılarak elde edilen agreganın ince malzeme eksikliği mahsurunu gidermiş ve betonun kompasitesini artırmıştır. Kaldı ki uçucu külün zamana bağlı puzolonik reaktivitesinin etkisi hafif betonların mekanik özelliklerini artırmaya devam edecektir.
- 10) Pomza ve uçucu kül katkıli betona çelik lif ilavesi, basınç dayanımında önemli bir artışa neden olmazken çekme dayanımını %33 artırmıştır.
- 11) Pomza ve çelik lif katkıli betona uçucu kül ilavesi ise basınç ve çekme dayanımında paralel olarak %17 oranında artışa, elastisite modülünde ise %19 azalmaya neden olmuştur.

## 6. KAYNAKLAR

1. Zhang, Y., Sun, W., Shang, L., "Mechanical Properties of High Performance Concrete Made With High Calcium High Sulfate Fly Ash", *Cement and Concrete Research*, 27, 1093-1098, 1997.
2. Temiz, H., "Uçucu Kül ve Silis Dumannın Birlikte Katıldığı Harcı Özellikleri", *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 1997.
3. Lam, L., Wong, Y.L., Poon, C.S., "Effect of Fly Ash and Silica Fume on Compressive and Fracture Behaviors of Concrete", *Cement and Concrete Research*, 28, No. (2), pp. 271-283, 1998.
4. Thomas, M.D.A., Shehata, M.H., Shashiprakash, S.G., Hopkins, D.S., Cail, K., "Use of Ternary Cementitious Systems Containing Silica Fume and Fly Ash in Concrete", *Cement and Concrete Research*, 29, 1207-1214, 1999.
5. Saraswathy, V., Muralidharan, S., Thangavel, K., Srinivasan, S., "Influence of Activated Fly Ash on Corrosion-Resistance and Strength of Concrete", *Cement and Concrete Research*, 25, 673-680, 2003.
6. Ramakrishnan, V., Wu, G.Y., Hosalli, G., "Flexural Behavior and Toughness of Fiber Reinforced Concretes", *Transportation Research Record*, No. 1226, pp 69-77, 1989.
7. Şimşek, S., "Lifli Beton Üzerine Bir Çalışma", *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, 1997.
8. Güvercin, T., "Silis Dumanı, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Bağlayıcı Olarak Çimento Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi", 72 s., 2002.
9. Kayalı, O., Haque, M.N., Zhu, B., "Some Characteristics of High Strength Fiber Reinforced Lightweight Aggregate Concrete", *Cement and Concrete Research*, 2002.
10. TS 2511, "Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesapları", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1977.
11. TS 3529, "Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1980.
12. TS 3526, "Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Enme Oranı Tayini", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1980.
13. TS 1114, "Hafif Agregalar-Beton için", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1986.
14. TS 3234, "Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metodları", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1978.
15. TS 3530, "Beton Agregalarının Dane Büyüklüğü Dağılımının Tayini", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1980.
16. TS 3068, "Laboratuvarda Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1978.
17. TS 10515, "Beton-Çelik Tel Takviyeli-Eğilme Mukavemeti Deney Metodu", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1992.





## DONATILI KUM ZEMİN ÜZERİNE OTURAN RING (HALKA) TEMELLERİN ANALİZİ

Mustafa LAMAN ve Şerife Duygu BABACAN  
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** *Bu çalışmada, deneylerde farklı çaplarda model halka temeller ile çift yönlü geogrid donatılar kullanılmıştır. Ayrıca, PLAXIS bilgisayar yazılımı kullanılarak halka temeller, sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Deney ve analiz sonuçlarından, donatılı ve donatısız durumda halka temellere ait nihai taşıma kapasiteleri belirlenmiştir. Sonuçta bu değerler birbirleriyle karşılaştırılmış ve her iki durum için optimum temel yarıçap oranları bulunmuştur.*

## BEARING CAPACITY OF RING FOUNDATIONS ON GEOGRID-REINFORCED SAND

**ABSTRACT :** *In this study, the small-scale model ring foundations which have different ring width ratios were used for the tests and biaxial geogrids were used as reinforcement. The analysis of foundations were also carried out by using the finite-element program, PLAXIS. From the results of the tests and analysis, the values of the ultimate bearing capacity of model foundations with reinforcement and unreinforcement were obtained. Consequently, these results were compared with each other and optimum ring width ratios were found.*

## 1. GİRİŞ

Temel tasarımında genellikle, mümkün olduğu takdirde yüzeysel temeller kullanılmaya çalışılır. Oturma ve taşıma gücü sorunlu zeminlerde derin temel tasarımına başvurulur. Sorunlu zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilip, yapının bu zemin üzerine tasarlanmasını sağlamak amacıyla çeşitli zemin iyileştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Donatılı zemin uygulamaları da alternatif zemin iyileştirme yöntemlerinden biridir. Yapı malzemesi olarak zeminlerin, kayma ve basınç dayanımı iyi olmasına karşın çekme dayanımı düşüktür. Çekme dayanımı düşük olan zeminlerin mukavemet özellikleri, çekme dayanımı yüksek metal şerit, geotekstil veya geogrid gibi malzemeler kullanılarak iyileştirilebilir.

Bu amaçla yapılan ilk çalışmalarda zeminlerde donatı olarak kullanılan elemanlar metal şerit ve çubuklar olurken, 1980'li yıllardan sonra bu malzemelerin yerini geosentetik türü malzemeler almıştır.

Geosentetikler, geoteknik mühendisliği uygulamalarında yoğun olarak kullanılmaya başlanılan ve sentetik hammaddelerden üretilen, geçirimli dokuma veya geçirimsiz membran tipi ürünlere verilen genel bir isimdir. Geosentetik malzemelerden biri de geogridlerdir.

Geogridler, yüksek çekme dayanımı, elastisite modülü ve sıyrılmaya direncine sahip, üzerinde düzgün olarak dağılmış elips, dikdörtgen ya da kare boşluklar bulunan ve özellikle zemin güçlendirmesinde kullanılan bir geosentetik türüdür. Tek eksenli ve çift eksenli olmak üzere iki gruba ayrılan geogridlerle güçlendirmede temel ilke, zemin yapısı içerisinde düşük deformasyona karşılık, yüksek çekme mukavemeti oluşturmaktır. Bu da, temel zemini ile geogrid arasındaki kenetlenme sayesinde ortaya çıkar.

Bu çalışmada, çift eksenli geogrid donatılar kullanılarak donatıdan dolayı zeminin taşıma kapasitesinde meydana gelen artışlar hem deneysel hem de teorik olarak araştırılmıştır. Deneylerden ve analizlerden elde edilen sonuçlar ise grafikler ve tablolar halinde sunulmuş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde, donatılı zeminler üzerinde son yıllarda yapılan çok sayıda çalışma yer almaktadır. Bu çalışmada, kumlu zeminler kullanıldığından sadece kum zeminler üzerine oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesi ve oturma davranışını konu alan yayınlar sunulmuştur.

Değişik model temeller ve donatı malzemesi kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarda sonuçların karşılaştırılması ve değerlendirilmesinde boyutsuz birimler kullanmak amacıyla geometrik parametreler temel genişliğine bölünmüştür. Model deneylerde farklı donatı miktarları ve yerleşim düzeni için yük-oturma grafikleri çizilmiş ve bu haldeki değerler, donatısız durumda elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçta, maksimum taşıma kapasitesini veren optimum değerler elde edilmiş, bununla birlikte donatılı zeminlerin göçme mekanizmaları da belirlenmiştir.

Bu alanda yapılan ilk çalışma Binquet ve Lee (1), tarafından gerçekleştirilmiştir. Kum zemin içerisine yerleştirilen donatılar metal şeritler, metal çubuklar ve doğal liflerdir. Bu şekilde gerçekleştirilen deneylerde şerit temeller kullanılmış ve donatıların

zemin içerisindeki çalışma mekanizması ve zeminin taşıma gücüne katkısı belirlenmeye çalışılmıştır.

Akinbolade, Akinmusuru ve Jones (2), donatılı zeminler üzerine oturan kare temellerin taşıma kapasitesini model deneyler yaparak araştırmışlardır. Deneylerde donatı malzemesi olarak, bitkisel lifli şeritler kullanılmıştır. Deneyler sırasında alınan değerlerle yük-deplasman eğrileri çizilmiştir.

Huang ve Tatsuoka (3) tarafından sıklık oranı %80-%86 arasında değişen homojen kum yatağı üzerine oturtulmuş şerit temellerin taşıma kapasitesi araştırılmıştır. Donatının yerleşim düzeni, donatı tabakalarının genişliği, donatı rijitliği ve kopma mukavemeti sistematik bir şekilde incelenmiştir. Kum zemin içinde gerilme bölgeleri, donatıda oluşan çekme kuvvetleri ve temel tabanında oluşan basınç dağılımları ölçülmüştür. Bununla birlikte, donatılı kum zeminin göçme mekanizması, donatının özellikleri ve donatının yerleşim düzeni hesaba katılarak ve de mevcut deney sonuçlarından yola çıkılarak stabilite analizi yapan bir metot geliştirilmiştir.

Khing ve Arkadaşları (4) tarafından geogrid donatı ile güçlendirilmiş, sıklık oranı %70 olan, kum zeminler üzerine oturan şerit temeller kullanılarak yapılan deneylerde donatının yerleşim düzeni ve donatı boyu değişiminin taşıma gücüne etkisi araştırılmıştır. Model deneylere dayanarak, donatılı zeminin nihai taşıma gücü ve göçme anındaki oturma irdelenmiştir.

Omar ve Arkadaşları (5) yaptıkları deneysel çalışmalarda, şerit ve kare temeller kullanmışlardır. Model deneyler %70 sıklık oranındaki kum zemin üzerinde, çift eksenli geogrid donatılar kullanılarak yapılmıştır. En büyük taşıma kapasitesi oranını veren, kritik donatı derinliği ve donatı yerleşim düzeni belirlenmiştir.

Das ve Omar (6), çift eksenli geogrid donatı ile güçlendirilmiş, kum zeminler üzerine oturan yüzeysel şerit temellerin taşıma gücünü araştırmışlardır. Temel genişliği ve kumun sıklığı değiştirilerek, bu değişikliklerin taşıma gücü oranını nasıl etkilediği saptanmaya çalışılmıştır.

Yetimoğlu ve Arkadaşları (7), tek eksenli geogrid donatı ile güçlendirilmiş %70 sıklıktaki kum zeminler üzerine oturan dikdörtgen temellerin taşıma gücünü laboratuvar model deneyleri ve sonlu elemanlar analizi yaparak araştırmışlardır. Araştırmalarda, ilk donatı tabakası derinliğinin, donatılara arasındaki düşey mesafenin, donatı tabaka sayısının, donatı boyutlarının ve donatı rijitliğinin taşıma gücüne etkileri araştırılmıştır.

Yıldız'ın (8), donatılı ve donatısız zeminler üzerinde yaptığı model deneylerde kare, dairesel ve halka şeklinde model temel plakaları kullanılmıştır. Öncelikle sıklık oranının taşıma gücüne etkisi araştırılmış daha sonra ise tek eksenli geogrid donatılar kullanılarak, %65 sıklık oranında hazırlanan kum zeminler üzerinde yapılan deneylerde zemin içerisine yerleştirilen farklı boyut, miktar ve yerleşim düzenindeki geogrid donatı tabakalarının zeminin taşıma kapasitesine etkisi araştırılmış ve deneylerden elde edilen sonuçlar ile sonlu elemanlar yöntemini kullanarak analiz yapan PLAXIS bilgisayar programı ile yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

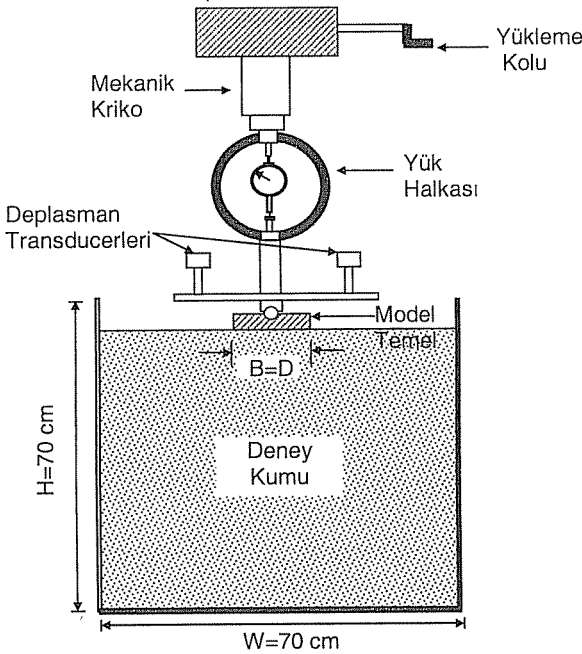
Laman ve Yıldız (9), yaptıkları deneysel çalışmada tek eksenli geogrid donatı ile güçlendirilmiş kum zeminler üzerine oturan halka temellerin taşıma kapasitesini araştırmışlardır. İlk donatı tabakası derinliğinin,  $r/R$  oranının, donatı tabaka sayısı ve

donatı tabaka boyunun taşıma gücüne etkileri laboratuvar model deneyleri yapılarak araştırılmıştır.

### 3. DENEYSSEL ÇALIŞMA

Deneyssel çalışmada, çift eksenli geogrid donatıların taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçlarından faydalanarak her bir temele ait yük-oturma grafikleri çizilmiş, bu grafiklerden göçme yükleri ve bu yüklere karşılık gelen oturma oranları ( $s/B$ ) bulunmuştur. Ayrıca deneyler sırasında donatılı ve donatısız zeminlerde meydana gelen göçme tipleri de belirlenmiştir.

Deneyssel çalışmalar Şekil 1'de verilen, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği laboratuvarında yer alan 70cm×70cm genişliğinde ve 70cm yüksekliğindeki kare kesitli kasa içerisinde gerçekleştirilmiştir. Deney kasası iki yüzü 8mm kalınlığındaki cam malzeme ile diğer iki yüzü 20mm kalınlığındaki ahşap malzemenin çelik bir profil yardımıyla bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur.



Şekil 1. Deney Düzenegi

Deneylerde kullanılan yüklemeye sistemi, 45kN kapasiteli mekanik kriko monte edilerek oluşturulmuştur.

Temel plakasına uygulanan yük değerlerini okumak için 10kN kapasiteli, 26.8cm yüksekliğinde ve 5.1kg ağırlığında yük halkası kullanılmıştır.

Yüklemeden doğan, temel tabanında meydana gelen deplasmanları ölçmek için, 0.0-9.999mm arasında okuma alabilen düşey deplasman transducerleri kullanılmıştır.

Kum zemin deney kasası içerisine tabakalar halinde ve belirli bir sıklık oranında, daha önceden hesaplanan ağırlıkta elektrikle çalışan titreşim cihazıyla sıkıştırılmıştır. Titreşim cihazının uç kısmına ise, sıkıştırma esnasında üniform sıklık elde etmek ve danelerin ezilmesini önlemek amacıyla 13cm×13cm genişliğinde ve 20mm kalınlığında merlin malzemeden imal edilmiş bir başlık takılmıştır.

Deney sırasında uygulanan yük ve deplasman değerleri transducerler yardımıyla ADU data logger cihazına aktarılmıştır. Bu datalar daha sonra bilgisayar ortamında DIALOG programı yardımıyla sayısal değerlere dönüştürülmüştür.

Deneylerde biri tam dolu daire kesit olmak üzere, diğer dördü farklı iç çaplarda ring temeller kullanılmıştır. Bütün temellerin kalınlığı 20mm olup, dış çapları 85mm'dir. İç çapları ise, 15mm, 25mm, 35mm, 45mm'dir.

Deneylerde kullanılan çift eksenli geogrid donatılar, TENSAR firması tarafından üretilen SS20 tipi donatılardır.

Deneyisel çalışmada, Çukurova Bölgesi, Seyhan Nehir yatağından getirilen kum numuneler kullanılmış ve kum numuneler üzerinde yapılan elek analizi deney sonucunda kullanılan kum zemin sınıfı kötü derecelenmiş ince ve temiz kum (SP), yapılan piknometre deney sonucunda ise dane birim hacim ağırlığı ise  $\gamma_s=26.8\text{kN/m}^3$  olarak bulunmuştur (8).

Ayrıca  $\gamma_k=17.1\text{kN/m}^3$  olacak şekilde hazırlanan kum numuneler üzerinde yapılan kesme kutusu ve üç eksenli basınç deneylerinde, kum zeminin kayma mukavemet açısı  $\phi=41^\circ$  ve kohezyonu  $c=0\text{kPa}$  olarak bulunmuştur (8).

Deney sırasında yük ve deplasman ölçümlerinin doğru şekilde alınabilmesi için yük ve deplasman transducerlerinin kalibrasyonu yapılmış ve yük halkasına ait kalibrasyon katsayısı  $k=2.2$  olarak tespit edilmiştir (8).

Deneyisel çalışma donatısız ve donatılı zeminler üzerinde yapılmak üzere iki grupta gerçekleştirilmiştir. Her iki grupta da kum zemin kasa içerisine 25cm'lik tabakalar halinde, sıklık oranı  $D_R=\%65(\pm 3)$  olacak şekilde dinamik yöntem ile sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Sıkıştırma işleminin kolayca yapılabilmesi için deney kasasının kenarlarındaki ölçeklendirmeden faydalanılmıştır. Her bir tabakaya gelecek kum miktarı önceden hesaplanmıştır.

Zemin sıkıştırıldıktan sonra, yüzeyin düzgün olup olmadığı su terazisi yardımıyla kontrol edilmiştir. Kontrol tamamlandıktan sonra model temel kasanın ortasına yerleştirilmiştir. Yerleştirilen temel plakasının her iki tarafına düşey deplasman transducerleri konmuştur.

Yük temel merkezine düşey yönde ve statik olarak mekanik pompa yardımıyla uygulanmıştır. Deney sırasında yük kademeli olarak artırılmış ve yükleme hızı sabit tutulmaya çalışılmıştır. Her yük kademesinde deplasmanlar sabit kalıncaya kadar beklenmiştir. Göçme yüküne yaklaşıldığında yük artım değerleri azaltılmıştır.

Donatılı deneylerde ise, sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra donatılar sıkıştırılan yüzeyler üzerine yerleştirilmiştir. Donatıların üzeri tekrar kum zemin ile örtülerek sıkıştırma işlemine devam edilmiştir.

Donatılı deneyler yapılırken kullanılan ilk donatı derinliği, donatı aralığı, donatı sayısı, toplam donatı derinliği, donatı tabaka boyu değerleri sırasıyla; 0.30, 0.30, 4, 1.2, 3'tür.

### 3.1. DeneY Sonuçları'nın Gösterilmesi

Farklı i aplarıdaki model temellerle yapılan deney sonuçlarından faydalanarak her bir temele ait taban basıncı-oturma grafikleri çizilmiş ve bu grafiklerden faydalanarak göçme yükleri tespit edilmiştir. Grafikler çizilirken oturma değerleri, temel genişliğine (B) bölünerek boyutsuz bir değer olan oturma oranı (s/B) kullanılmıştır.

Donatısız deneylerde göçme yükü grafik üzerinden kolayca tespit edilirken, donatılı deneylerde yük-oturma eğrisi üzerindeki noktaların sıklışıp doğrusal olarak arttığı başlangıç kısmından zilen teğet ile eğrideki noktaların dikleştiği ve yine doğrusal olarak arttığı bitiş kısmından zilen teğetin kesim noktası göçme yükü olarak alınmıştır.

Donatısız ve donatılı deneylerden elde edilen sonuçları kolayca kıyaslayabilmek ve donatıdan dolayı taşıma kapasitesinde meydana gelen artışları ifade edebilmek için BCR (Taşıma Gücü Oranı) terimi kullanılmıştır. Taşıma gücü oranı, denklem (1)'deki eşitlik yardımıyla elde edilmektedir.

$$BCR = \frac{q_R}{q_0} \quad (1)$$

Burada  $q_R$ , donatılı zemine ait taşıma gücü değeri,  $q_0$  ise donatısız zemine ait taşıma gücü değeridir.

### 4. TEORİK ALIşMA

Teorik alışmalar PLAXIS bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. PLAXIS paket programı zeminlerin deformasyon analizleri için kullanılan bir programdır. Geoteknik mühendisliğindeki stabilite ve deformasyon problemleri ile zamana bağlı davranışlar ve yapı ile zemin arasındaki ilişkiyi sonlu elemanlar yöntemini kullanarak analiz etmektedir.

Bu alışmada PLAXIS 7.2 versiyonu kullanılmıştır. PLAXIS paket programı ile analizler yapılırken mevcut problem 2 boyutlu olarak modellenmekte, eksenel simetri ve düzlem deformasyon koşulları altında çözüm yapılmaktadır. Program zeminler için geliştirilmiş farklı modeller kullanma olanağı tanımaktadır. Yapılan çalışmada, zemin için Hardening Zemin Modeli kullanılmıştır. Programda zemin ortamı 6 düğüm noktalı ve 15 düğüm noktalı iki boyutlu üçgen elemanlar yardımıyla oluşturulmaktadır. Yapılan analizlerde donatısız zeminlerde sonlu elemanlar ağı 294-328 arasında değişen zemin elemanından, donatılı zeminlerde ise 275-281 arasında değişen zemin elemanından oluşmaktadır.

Ayrıca paket programda temel in modellenmesi amacıyla kiriş elemanlar kullanılmakta ve temele ait eğilme rijitliği (EI) ve eksenel rijitlik (EA) değerlerinin girilmesi yeterli olmaktadır. Yapılan çalışmada bu değerler sırasıyla;  $163 \text{ kNm}^2/\text{m}$  ve  $3.4 \times 10^5 \text{ kN/m}$ 'dir. Aynı şekilde geogrid donatılarının modellenmesi amacıyla programda geotekstil elemanlar kullanılmakta ve donatıya ait eksenel rijitlik (EA) değerinin girilmesi yeterli olmaktadır. Yapılan çalışmada donatıya ait  $EA=465 \text{ kN/m}$ 'dir.

Analizler yapılırken evre, sınır, zemin ve yükleme koşulları deneysel alışmadakiler ile aynı seçilmeye çalışılmıştır. Donatılı zeminler üzerine oturan temellerle yapılan analizler sırasında kum zeminde meydana gelen oturma değerleri

oldukça büyük çıkmıştır. Bu durumda donatılı zeminin taşıma kapasitesi oturma kriteri dikkate alınarak sınırlandırılmıştır. Das (10), laboratuvar ve arazi deney sonuçlarını esas alarak temel derinliği/temel genişliği ( $D_T/B=0$ ) olana kum zeminlerde sıklık oranına bağlı olarak göçme anındaki oturma oranlarının %5 ile %12 arasında değiştiğini belirtmiştir. Das (10) tarafından yapılan çalışmalarda, %70 sıklık oranında göçme anındaki s/B oranı %10 olarak elde edilmiştir. Bu tezde de büyük oturma oranlarının çıktığı yük-oturma eğrilerinde nihai taşıma kapasitesi olarak  $s/B=\%10$  oturma oranına karşılık gelen değerler alınmıştır.

## 5. DENEY SONUÇLARI ve TEORİK SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Deneylerden ve PLAXIS bilgisayar programı kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 1’de verilmiştir. Yapılan çalışmada temel amaç optimum katkının geldiği r/R oranını belirlemek olduğu için, BCR-r/R arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 2 ve Şekil 3’te çizilmiştir. Ayrıca deney ve analiz sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

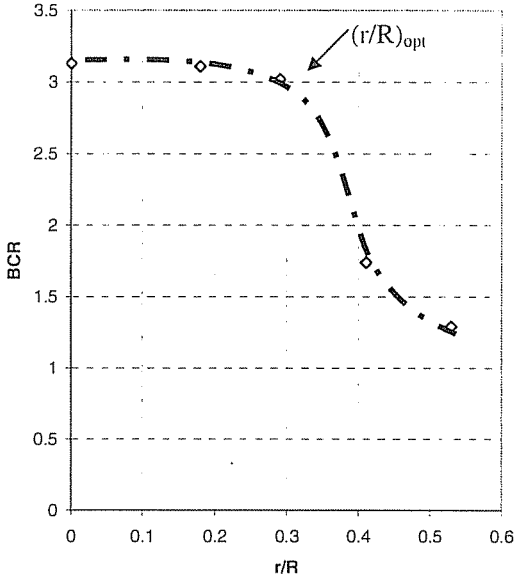
**Çizelge 1.** Donatısız ve Donatılı Kum Zeminlerde Yapılan Deney ve Analiz Sonuçları

DENEY				ANALİZ			
r/R	$q_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_R$ (kN/m <sup>2</sup> )	BCR	r/R	$q_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_R$ (kN/m <sup>2</sup> )	BCR
0.00	205.5	644.0	3.13	0.00	179.5	552.7	3.08
0.18	200.1	622.0	3.11	0.18	192.6	593.7	3.08
0.29	203.7	615.4	3.02	0.29	196.9	624.6	3.17
0.41	200.8	350.2	1.74	0.41	194.3	622.3	3.20
0.53	188.5	242.4	1.29	0.53	184.8	426.9	2.31

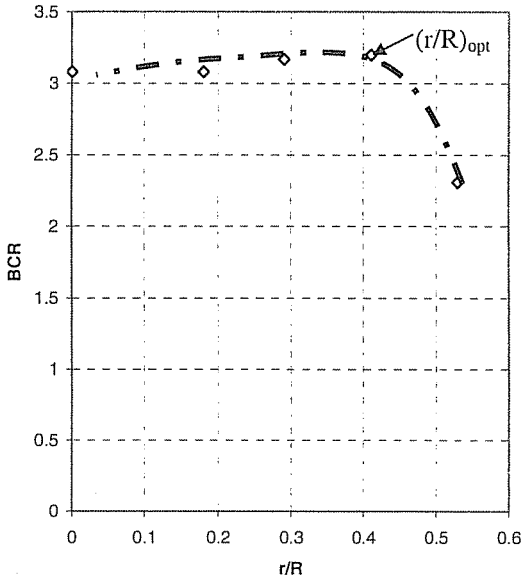
Çizelge 1’deki değerler incelendiğinde, deney sonuçları ve PLAXIS bilgisayar programı ile yapılan analiz sonuçları arasında genel bir uyum söz konusudur. Ancak, PLAXIS bilgisayar programı ile yapılan analiz sonuçlarında, yarıçap oranları r/R=0.29 ve r/R=0.41 olan temellerde BCR değerleri için farklılıklar gözlemlenmiştir.

Şekil 2’den görüleceği üzere, deneysel çalışma sonunda  $(r/R)_{opt}=0.29$  olarak bulunmuştur. Bu durumda zemin içerisine yerleştirilen donatıdan dolayı zeminin taşıma gücünde meydana gelen artış değeri, BCR=3.02’dir.

Şekil 3 incelendiğinde, yapılan analizler sonucunda  $(r/R)_{opt}=0.41$  olarak bulunduğu görülmektedir. Bu durumda zemin içerisine yerleştirilen donatıdan dolayı zeminin taşıma gücünde meydana gelen artış değeri, BCR=3.20 olmaktadır.



Şekil 2. Deney Sonuçlarına Göre  $r/R$ -BCR Arasındaki İlişki



Şekil 3. Analiz Sonuçlarına Göre  $r/R$ -BCR Arasındaki İlişki



## 6. SONUÇ

Donatısız zeminlerde göçme türü genel kayma göçmesi şeklinde gerçekleşmiştir. Donatılı zeminlerde,  $r/R=0$ ,  $r/R=0.18$  olan ring temellerde göçmenin zımbalama kayma göçmesi şeklinde, diğer temellerde ise, göçme türü genel kayma göçmesi şeklinde oluşmuştur. Ayrıca donatılı deneylerde donatı sıyrılması veya kopması gözlemlenmemiştir.

Deneysel çalışma sonucu bulunan göçme yükleri ile PLAXIS bilgisayar programı sonucu bulunan göçme yükleri karşılaştırıldığında, göçme yükü değerleri ve dolayısıyla BCR değerleri  $r/R$ 'nin küçük değerleri için ( $r/R=0.29$ 'a kadar) uyumlu olduğu ancak, daha büyük değerler için farklı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Deneysel çalışma sonucunda, optimum ( $r/R$ ) değeri 0.29 olarak, teorik çalışma sonucunda ise optimum katkının geldiği ( $r/R$ ) değeri 0.41 olarak bulunmuştur. Deneysel çalışma sonucunda zemin içerisine yerleştirilen donatıdan dolayı zeminin taşıma gücünde meydana gelen artış değeri  $BCR=3.02$  olarak bulunmuştur. Analizler sonucunda ise; zemin içerisine yerleştirilen donatıdan dolayı zeminin taşıma gücünde meydana gelen artış değeri  $BCR=3.20$  olarak elde edilmiştir.

## 7. KAYNAKLAR

1. Binquet, J. and Lee, K.L., "Bearing Capacity Tests on Reinforced Earth Slabs", *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 101(12), 1242-1255, 1975a.
2. Akinmusuru, J.O. and Akinbolade, J.A., "Stability of Loaded Footings on Reinforced Soil", *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 107, 819-827, 1981.
3. Huang, C.C. and Tatsuoka, K., "Bearing Capacity of Horizontal Sandy Ground", *Geotextile and Geomembranes*, 9, 51-82, 1990.
4. Khing, K.H., Das, B.M., Puri, V.K., Cook, E.E. and Yen, S.C., "The Bearing Capacity of A Strip Foundation on Geogrid-Reinforced Sand", *Geotextile and Geomembranes*, 12, 351-361, 1993.
5. Omar, M.T., Das, B.M., Puri, V.K. and Yen, S.C., "Ultimate Bearing Capacity of Shallow Foundations on Sand with Geogrid Reinforcement", *Canadian Geotechnical Journal*, 30, 545-549, 1993.
6. Das, B.M. and Omar, M.T., "The Bearing Capacity of Surface Strip Foundations on Geogrid-Reinforced Sand and Clay – A Comparative Study", *Geotechnical and Geological Engineering*, 12, 1-14, 1994.
7. Yetimoğlu, T., Wu, J.T.H. and Sağlamer, A., "Bearing Capacity of Rectangular Footings on Geogrid-Reinforced Sand", *Journal of Geotechnical Division, ASCE*, 120(12), 2083-2099, 1994.
8. Yıldız, A.A., "Donatılı Zeminler Üzerine Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi", *Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 213, Adana, 2002.
9. Laman, M. and Yıldız, A.A., "Model Studies of Ring Foundations on Geogrid Reinforced Sand", *Geosynthetics International*, 10(5), 142-152, 2003.
10. Das, B.M., "Shallow Foundation: Bearing Capacity and Settlement", *CRC Press*, 366 p., New York, USA, 1999.

10/10/10

10/10/10

## HUZURKENT (MERSİN) KUZEY VE KUZEYBATISININ STRATİGRAFİSİ

Sibel AKARPINAR ve Cavit DEMİRKOL  
Ç.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** Bu çalışma Mersin-Tarsus arasında bulunan Huzurkent ilçesi ve kuzeyinde yüzeylenen birimlerin stratigrafik özelliklerini açıklamaktadır.

Tersiyer yaşlı birimlerin altında bulunan ve inceleme alanının kuzeyindeki Ziyaret Tepe (E5) civarı, Permo-Karbonifer yaşlı Karahamzauşağı Formasyonu ile temsil edilmektedir. Bu temel birim üzerine transgresif ve uyumsuz olarak Tersiyer yaşlı birimler gelmekte olup, bunlar sırasıyla; Alt Miyosen yaşlı Karaisalı Formasyonu, Orta Miyosen yaşlı Güvenç Formasyonu, Üst Miyosen yaşlı Kuzgun Formasyonu, Erken Messiniyen – Pliyosen yaşlı Handere Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı kalıcı ve alüvyonlardır.

### STRATIGRAPHICAL PROPERTIES OF HUZURKENT (MERSİN) AREA (N-NW)

**ABSTRACT :** The study comprises geological and stratigraphical properties of the lithological units cropping out in the Huzurkent village and its near vicinity, located between Mersin and Tarsus.

Permo-Carboniferous Karahamzauşağı Formation, locally appears at the Ziyaret Tepe (E5) to the north of investigation area, represents the lowest unit of the investigated Tertiary units. These units are discordantly overlain by Lower Miocene Karaisalı Formation, Middle Miocene Güvenç Formation, Upper Miocene Kuzgun Formation and Early Messinian – Pliocene Handere Formation and Quaternary caliches and alluviums.

## 1. GİRİŞ

Bu çalışma kapsamında Huzurkent (G14) (Mersin KD'su) civarında yüzeylenen kayalık birimlerinin jeolojisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. İnceleme alanı Mersin ilinin yaklaşık 35 km KD'sunda Huzurkent (G14) belgesi ve civarında yaklaşık 145 km<sup>2</sup> lik alanı kapsamaktadır (Şekil 1).

Bölgede Akdeniz iklimi hüküm sürmekte olup, yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. Topoğrafik yükseltiler ise 50 – 500 m arasında değişmektedir. Bölge içerisinde yer alan önemli yerleşim yerleri; Huzurkent (G14), Sucular (G5), İhsaniye (J4), Kerimler (B8), Cinköy (A2), Evcı (C13), Dedeler (D5), Sayköy (D7), Ulaş (C1), Sarıbrahimli (B12) ve Akçakocalı (J4) köyleridir. İnceleme alanında bulunan çok sayıda asfalt ve stabilize köy yolu ile ulaşım rahatlıkla sağlanabilmektedir.

## 2. GENEL JEOLOJİ

İnceleme alanında Paleozoyik'ten günümüze kadar uzanan oldukça geniş bir yaş aralığında oluşmuş jeolojik birimlerin varlığı tespit edilmiştir. Bunlar yaşlıdan gence doğru sırasıyla; Permo-Karbonifer yaşlı Karahamzauşağı Formasyonu, Alt-Orta Miyosen yaşlı Karaisalı Formasyonu ve Güvenç Formasyonu, Üst Miyosen yaşlı Kuzgun Formasyonu, Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Handere Formasyonu ile Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve kalışlardır (Şekil 2).

### 2.1. Paleozoyik

#### 2.1.1. Karahamzauşağı Formasyonu (PrCk)

Karahamzauşağı Formasyonu ilk olarak Ünlügenç tarafından isimlendirilmiştir. Alt sınırı inceleme alanında tanımlanamayan birimin üzerine Karaisalı Formasyonu açısız uyumsuzlukla gelmektedir (1).

Tabanı görülemeyen birimin kalınlığının 300 metre üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Gri-koyu gri renkli, oldukça kıvrımlı metamorfize kireçtaşından oluşan birimin ince kesit incelemelerinde, laminalı kristalize mikritik kireçtaşı görünümünde olduğu tespit edilmiştir. Birim Ziyaret Tepe (E5) civarında gözlenmiş olmakla birlikte, içerisinde herhangi bir fosil içeriği saptanamamıştır.

Laminalı kireçtaşı ve kuvarsit ara katkılarında oluşan birimin sığ-derin deniz ortamında çökelmiş olduğu daha sonra metamorfizma etkisinde kaldığı ifade edilmiştir (1, 2).

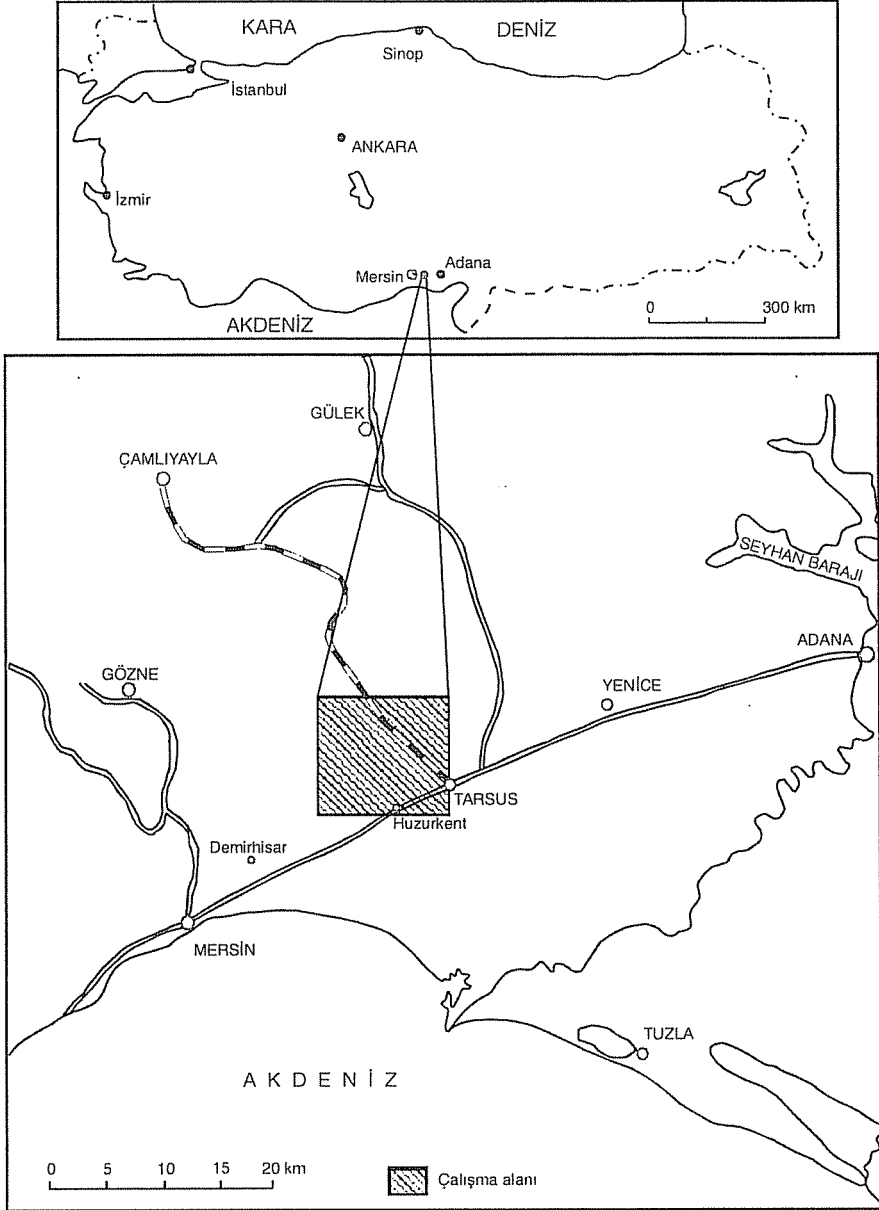
### 2.2. Senozoyik

#### 2.2.1. Karaisalı Formasyonu (TKa)

Formasyona ilk olarak Schmidt tarafından Karaisalı Kalkeri adı verilmiştir (2). Daha sonra yapılan çalışmalarda Ünlügenç, Görür, Yetiş ve Demirkol (1984-1986), Demirkol, Şenol, M – Şenol, Ş ve Duman tarafından Karaisalı Formasyonu olarak kullanılmıştır. Formasyonun yaşı Alt Miyosen olarak belirlenmiştir (1, 3 – 7). İnceleme alanında Ulaş Köyü (C1) ve Dedeler Köyü (D5) civarında gözlenmiştir (Şekil 3). İnceleme alanında geniş bir yayılıma sahip olup, bol kırıklı çatlaklı, koyu gri-bej renkli bir görünüm sunmaktadır.

Görür'de bazen masif, bazen de iyi tabakalaşma gösteren Karaisalı formasyonu'nda altı alt fasiyes ayırmıştır (3). Bunlar 1) mercanlı-ılgıli istifası ve bağlamtaşı; 2) küçük

bentonik foraminiferli-algli istifası; 3) mercanlı-algli vaketaşı ve istifası; 4) büyük bentonik foraminiferli-algli istifası; 5) globijerinli-algli istifası ve 6) globijerinli killi vaketaşıdır.



Şekil 1. İnceleme alanının yerbulduru haritası.

PALEZOYİK	SENOZOYİK			KAT	FORMASYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
	ÜST SİSTEM	SİSTEM					
		SERİ	KAT				
	MIYOSEN	PLİYOSEN	MESSİNYEN	HANDERE	ALÜVYON ve KALIŞ	Handere Formasyonu: Sığ deniz - geçiş (Kıyı, Lagün, Delta ve Gelgit) ve karasal (akarsu) ortamlarında çökelen formasyon içinde; Kilitaş, mam-silttaş, fosilli oolüfik kireçtaşı, alçıtaşı (gips), konglomera birimleri yer alır.	
	TERTİYER	MIYOSEN	TORTONİYEN	KUZGUN	Kuzgun Formasyonu	Tku: Kuzgun Formasyonu: Sığ deniz ve geçiş (Kıyı, Lagün, Gelgit, Resif) ortamlarında çökelen formasyon içinde; Kumtaşı-konglomera, resifal kireçtaşı, Tüfit, Kilitaş-mam-silttaş birimleri yer almaktadır.	
	ALT	MIYOSEN	AKİTANİYEN - SERRAVALİYEN	KARAIŞALI GÜVENÇ	Karaisalı Formasyonu Güvenç Formasyonu	Tgü: Güvenç Formasyonu: Derin deniz-sığ deniz ortamlarında çökelen formasyon içinde; Kilitaş, mam, kilitaş-silttaş birimleri yer almaktadır. Tka: Karaisalı Formasyonu: Geçiş ortamında (karbonatlı kıyı/resif) çökelen formasyon içinde; mercanlı-algli istif taşı ve bağlan taşı, küçük bentonik foraminiferli-algli istif taşı, mercanlı-algli vaka taşı ve istif taşı, büyük bentonik foraminiferli algli istif taşı, globijeritli istif taşı, globijeritli-killi vaket taşı birimleri yer alır.	
				KARAHAMZAUŞAĞI	Karahamzauşağı Formasyonu	PrCk: Karahamzauşağı Formasyonu: Kireçtaşı, mermer, dolomit ve şist birimlerinden oluşmuştur.	

DÜŞEY ÖLÇEK UYGULANMAMIŞTIR

Şekil 2. Huzurkent (Mersin) Kuzey ve Kuzeybatısının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (8).

Karahamzauşağı Formasyonu üzerinde Miyosen'de başlayan transgresyon sonucu açılmal uyumsuzlukla gelen Karaisalı Formasyonu resifal kireçtaşlarının oluşturduğu uygun derinlik, sıcaklık, ışığa bağlı olarak kırmızı alg ve mercanların gelişimi ile oluşmaya başlamıştır. Bundan sonraki gelişimleri ise daha önceki çalışmalarda belirtildiği gibi öztatik deniz seviyesi salınımlarından fazlaca etkilenmiştir.

### 2.2.2. Güvenç Formasyonu (Tgü)

Formasyona Schmidt ilk olarak bu adı vermiştir. Yeşilimsi gri, gri, beyazımsı sarı renklerde olan Güvenç Formasyonu stratigrafik olarak alt bölümlerde killi kireçtaşı-marn, üst bölümlerde kiltası-silttaşı birimlerinin egemen olduğu çökellerden meydana gelmiştir (2).

Çalışma alanı içinde sınırlı bir alanda yüzeyleyen birim yalnızca Cinköy (A2) civarında yüzlek vermektedir (Şekil 3).

Alt-Orta Miyosen zamanında bölgede oluşan resif önü, sığ-derin deniz ortamlarında çökelen Güvenç formasyonu içinde başlıca; a) killi kireçtaşı-marn birimi ve b) kiltası-silttaşı birimi olmak üzere iki birim ayırtlanmıştır. Çoğu yerde killi kireçtaşı-marn birimi ile kiltası-silttaşı birimleri birbirleri ile geçişlidir. Bu birimler ayrı ayrı haritaya geçirilmeyip hepsi bir formasyon altında haritalanmıştır.

İnceleme alanında, killi kireçtaşı-marn birimi (a) stratigrafik olarak formasyonun alt bölümlerinde, kiltası-silttaşı birimi (b) ise orta ve üst bölümlerde egemendir. Formasyon üzerine geldiği paleotopografyanın değişik olması, transgresyon ve regresyona bağlı olarak birimlerin çökeldiği ortam koşullarının önemli ölçülerde değişmesi nedeniyle, bazı bölgelerde bu sıralamada değişiklikler görülmektedir.

(a) Killi kireçtaşı – marn birimi; Karaisalı Formasyonu ile geçişli olan Güvenç Formasyonu'nun killi kireçtaşı-marn birimi, 0.5-200 cm kalınlıkta onlarca ve yüzlerce metre yayımlı killi kireçtaşı ve marn katmanlarından oluşmaktadır.

Birim beyazımsı sarı, açık gri renklerde, sert ve bazı bölümlerde yumuşak, yer yer kum serpintili ve resif oluşturan mercanlardan kopmuş fosil parçacıklı olup, çok sıkı pekişmiştir. Fasiyeste lamellibrans, gastropod ve mikro fosillere rastlanmaktadır. Tabakalanma ve laminalanma iyi gelişmiş olup, bazı bölümlerde yoğun organizma yaşam izleri kapsamaktadır.

(b) Kiltası – silttaşı birimi; İncelenen bölgede bu birim yanal yönde kalınlık değişimi sunmakta, yüzlerce metre yayımlı kiltası ve silttaşı tabakalarından oluşmuştur.

Yeşilimsi gri, gri renklerde kiltası ve silttaşlarından oluşan bu birim bazı bölümlerde çakıl ve kum boyutu kırıntılar içermektedir. Özellikle formasyonun üst bölümleri daha kumlu olup Kuzgun Formasyonu ile düşük açılı açısız uyumsuzlukla üstlenmektedir (8).

Birim bazı bölümlerde lamellibrans, gastropod ve mikro fosiller içermektedir. Yoğun organizma yaşamı nedeni ile birimde laminalanma ve tabakalanma iyi gelişmemiş, makro fosillerin az olduğu bölümlerde ise laminalanma ve tabakalanma gelişmiştir.

### 2.2.3. Kuzgun Formasyonu (Tku)

Birim ilk olarak Schmidt tarafından tanımlanmıştır. Birimin kuzeye doğru genişleyen bir kuşak şeklinde olduğu gözlenmektedir (2). Çalışma alanının kuzeyinde oldukça fazla alanlar kaplamaktadır (Şekil 3).

Birim Cinköy (A2) civarında Güvenç Formasyonu'nu düşük dereceli açısız uyumsuzlukla üzerlemektedir (9). Aynı birim Handere formasyonu tarafından uyumlu olarak üzerlenmektedir.

Şenol, M – Şenol, Ş ve Duman östatik deniz seviyesindeki oynamalara bağlı olarak oluşan sığ deniz ve geçiş ortamlarında (kıyı, lagün, delta, gelgit, resif) çökelen Kuzgun Formasyonu içinde dört birim ayırtlamışlardır. Bunlar sırasıyla; kumtaşı-konglomera, resifal kireçtaşı, tüfit ve kiltası (şeyl)-marn-silttaşı birimlerinden oluşmaktadır (7).

Gürbüz, Yetiş ve Demirkol tarafından Kuzgun Formasyonu 3 ayrı üyeye ayrılmıştır (10, 5). 1) Kuzgun Üyesi: kaba taneli kırmızı renkli sığ sedimanları içerir. Bu formasyonun ana fasiyesi menderesli tipte akarsu döngüleridir. 1-35 m kalınlıktaki her bir döngü erozyonel yüzeyle başlayan teknemsi çapraz tabakalı konglomera, çakıllı kumtaşı ve kaba taneli kumtaşı içerir. 2) Salbaş Tüf Üyesi. 3) Memişli Üyesi: Kumtaşı baskın, akarsu, deltaik, lagünel, sığ denizel çökelleri içerir.

İnceleme alanında Ulaş (C1) ve Ziyaret Tepe (E5) civarından alınan 30 adet nokta örneğin laboratuvarında paleontolojik incelenmesi sonucu aşağıda tanımlanan fosiller edinilerek Tortoniyen yaşı verilmiştir (tayinleri yapan Dr. Güldemin Öğrünç, 2003).

**Ulaş Köyü civarında;** *Cyprideis torosa* (Jones), *Krithe papillosa* (Bosquet), *Neomonoceratina mouliana* (Sissingh), *Pontocythere elongata* (Brady), *Costa tricostata* (Reuss), *Cyamocytheridea dertonensis* Ruggieri, *Keijella hodgii* (Brady), *Urocythereis seminulum*, *Carinocythereis carinata* (Roemer), *Aurila albicans* (Ruggieri), *Callistocythere pallida* (Müller), *Cistacythereis caelatura* Uliczny, *Xestoleberis glabrescens* (Reuss), *Loxoconcha rhomboidea* (Fischer), *Aurila convexa* (Baird).

**Ziyaret Tepe civarında;** *Loxoconcha rhomboidea* (Fischer), *Xestoleberis glabrescens* (Reuss), *Cyamocytheridea dertonensis* Ruggieri, *Cytherelloidea glypta* Doruk, *Paracypris polita* Sars, *Aurila albicans* (Ruggieri), *Neomonoceratina mouliana* (Sissingh).

#### 2.2.4. Handere Formasyonu (Tha)

Handere Formasyonu ilk defa Schmidt tarafından tanımlanmıştır (2). İnceleme alanının GB-KB'sı boyunca uzanan bu formasyon Evcı (C13), İhsaniye (B10), Kaleburcu (H8), Bağlarbaşı (G11), Nacarlı (F12), köyleri çevresinde yüzlekler vermektedir. Birim Helva Tepe (A8), Mercan Tepe (A9) civarında yüksekliği 250 m'yi aşan topografik yükseltiler şeklinde iken Güneyde Kaleburcu (H8), Bağlarbaşı (G11), Huzurkent'e (G14) doğru topografik olarak az eğimli meyve bahçelerinin bulunduğu kesimlerde de yüzlekler sunmaktadır (Şekil 3).

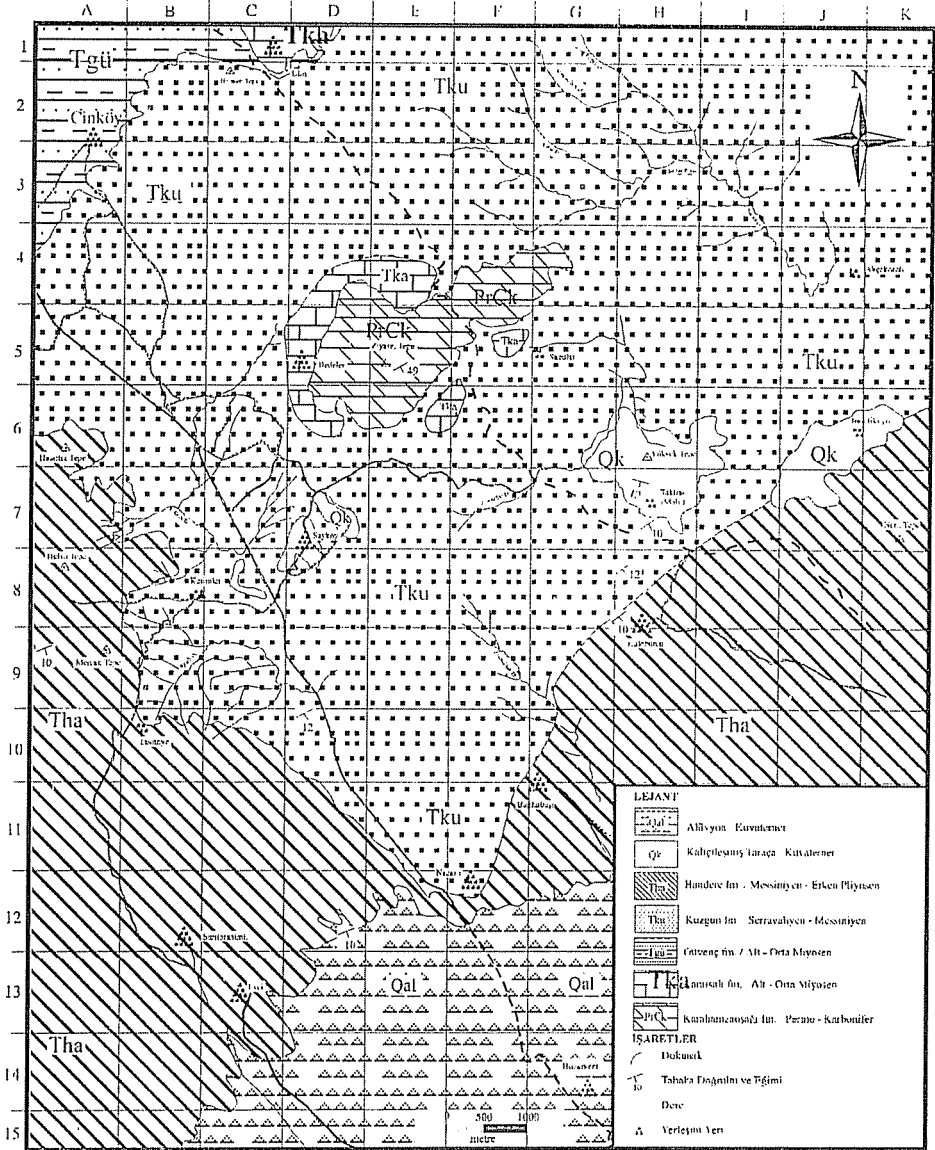
Birim, Kuzgun Formasyonu'nun üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Birimin üzerine ise uyumsuz olarak Kuvaterner yaşlı Kaliş ve Alüvyon oluşumları gelmektedir.

Üst Miyosen'de (Messiniyen) bölgede uzunca bir zaman hüküm süren kurak ve sıcak iklim (Messiniyen kriz dönemi) nedeni ile denizel çökellerin yanı sıra jips (anhidrit) ve tuz birimleri çökelmiştir. Daha sonra Pliyosen zamanında hüküm süren ılık ve yağışlı iklimler ile östatik deniz seviyesindeki oynamalara bağlı olarak gelişen sığ deniz-geçiş (kıyı, lagün, delta, gelgit) ve akarsu ortamlarında çökelen Handere Formasyonu içinde dört birim ayırtlanmıştır. Çoğu yerde birbirleri ile girik ve geçişli olan bu birimler, kiltası (şeyl)-marn-silttaşı birimi, fosilli oolitik kireçtaşı birimi, alçıtaşı (jips), kumtaşı-konglomera birimi olarak tanımlanmıştır (7).

Şenol, M – Şenol, Ş ve Duman birimin yaşının Üst Miyosen – Pliyosen olduğunu belirlemişlerdir ve Handere Formasyonunun fasiyes özellikleri göz önüne alındığında, kurak-sıcak iklimler ile sık sık değişen küçük ölçekli transgresyon ve regresyonlar sonucu oluşan sığ deniz ve geçiş (kıyı, lagün, delta, gelgit) ve akarsu ortamlarında çökeldiğini ifade etmişlerdir (7). Ünlügenç formasyonun deltaik, sığ denizle, akarsu ve lagünel ortamda çökeldiğini ifade etmiştir (9).



Gürbüz ise birim içerisinde bulunduğ u fosillere dayanarak birimin yaşının Messiniyen – Pliyosen olması gerektiğini belirtmiştir (10).



Şekil 3. Huzurkent (Mersin) Kuzey ve Kuzeybatısının jeoloji haritası.

### 2.2.5. Alüvyonlar (Qal)

Çalışma alanında Huzurkent (G14) civarında alüvyon oluşumları gözlenmektedir. Alüvyon içinde gözlenen çakıllar ofiyolitik melanjdan ve temeli oluşturan kayalardan oluşmaktadır.

### 2.2.6. Kaliçi (Qk)

Çalışma alanında Yüksek Tepe (H6), İncirlikuyu (J6), Sayköy (D7) civarında gözlenmiştir. Kırmızı toprakların ilk oluşum evresi olan paleosolik kaliş/kolon horizonunun üst bölümlerinin tamamen kalsitle doymuş hale gelmesi ile sert kalişler oluşmuş ve alt bölümlere doğru paleosolik kaliş oluşumu devam etmiştir (11, 12). İksel topografyaya uyumlu olarak uzanan ve 3 m kalınlığına kadar erişen sert kaliş biriminin en üstünde, kırmızı toprak ile olan dokanağında 1-20 cm kalınlıkta, ondüveli bir morfolojisi olan ve paralel laminalanmalar gösteren kalsit kabuk yer almaktadır.

## 3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Huzurkent ve yakın civarının jeolojisini ortaya koymak amacıyla yapılan bu çalışmada;

- İnceleme alanında derlenen nokta örneklerin üzerinde yapılan laboratuvar çalışmaları sonucunda Karaisalı Formasyonun yaşı Alt Miyosen olarak belirlenmiştir.
- Kuzgun Formasyonu'nda alınan el örneklerinin ve ince kesitlerinin incelenmesi sonucu birimin Tortoniyen döneminde sığ denizel ve deltayık bir ortamda çökeldiği sonucuna varılmıştır.
- Adana Baseni Karaisalı doğusunda yer alan Gildirli, Kaplankaya, Cingöz formasyonlarının inceleme alanında çökemediği tespit edilmiştir. Bu aynı denize ait olan inceleme alanına kırıntılı malzemenin taşınmadığını göstermektedir. Gildirli, Kaplankaya ve Cingöz formasyonlarının çalışma alanında Karaisalı ve Güvenç formasyonları ile temsil edildiği söylenebilir.
- Güvenç formasyonu haritalanması (hem resif önü-ilerisi, hem de derin denizel şeylerden oluşması) sırasında yaşanan sorun, formasyon adlamalarında çökeme ortamının tespit edilmesinin önemini ortaya koymuştur.

## 4. TEŞEKKÜR

Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışma, FBE 2002 YL-101 nolu proje kapsamında Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir. Bu projeyi destekleyen Araştırma Fonuna katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tüm çalışmalarım süresince bana yardımcı olan başta danışmanım Prof.Dr. Cavit DEMİRKOL olmak üzere, Doç.Dr. Ulvi Can ÜNLÜGENÇ'e, Doç.Dr. Kemal GÜRBÜZ'e, çalışmalarım boyunca bana her konuda yardımcı olan Arş.Gör. Ulaş İnan SEVİMLİ ve Arş.Gör. Murat GÜL'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca ince kesitlerde ve paleontolojik örneklerin incelenmesinde değerli bilgileriyle katkıda bulunan Yrd.Doç.Dr. Güldemin ÖĞRÜNÇ'e (Sütçü İmam Üniversitesi) teşekkürü bir borç bilirim.

Bu güne kadar bana her konuda yardımcı olan eşime, aileme ve tüm dostlarıma teşekkür ederim.

## 5. KAYNAKLAR

1. Ünlügenç, U.C., “Kızıldağ Yayla (Adana) Dolayımın Jeolojik İncelemesi”, Ç.Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi, 77s., Adana, 1986.
2. Schmidt, G., “VII. Adana Petrol Bölgesinin Stratigrafik Nomenklatürü” Petrol Der. Yay. 6. 47 – 63, Ankara, 1961.
3. Görür, N., “Karaisalı Kireçtaşının (Miyosen) Sedimentolojisi” T.J.K. Bülteni, c. 22/2, s. 227 – 234, 1979.
4. Yetiş, C. ve Demirkol, C., “Adana Baseni Kuzey – Kuzeybatı Kesiminin Temel Stratigrafisine İlişkin Bazı Gözlemler”, T.J.K. 38. Bilimsel ve Teknik Kurultayı Bildiri Özetleri, s. 59 – 61, Ankara, 1984.
5. Yetiş, C. ve Demirkol, C., “Adana Baseni Batı Kesiminin Detay Jeoloji Etüdü” MTA. Rap. No: 8037 (Yayımlanmamış), 1986.
6. Demirkol, C., “Pozantı-Karsantı-Karaisalı (Doğu Toros) Arasında Yer Alan Karbonat Platformunun Stratigrafisi ve Jeolojik Gelişimi”, M.T.A. Dergisi, No:109 (Ayrı Baskı), Ankara, 1989.
7. Şenol, M., Şenol, Ş., Duman, T.Y., “Adana-Mersin Dolayımın Jeoloji Etüd Raporu” (Mersin O33 Paftası), 45s, (Yayımlanmamış), MTA Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü, Adana, 1995.
8. Sevimli, U., “Demirhisar (Mersin KD’su) Civarının Jeolojisi ve Sedimentolojik Özellikleri”, Ç.Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi, 52 s., Adana, 2003.
9. Ünlügenç, U.C., “Controls on Cenozoic Sedimentation in the Adana Basin”, Southern Turkey, Ph. D. Thesis, Keele University, Two Volumes, 229 p., England, 1993.
10. Gürbüz, K., “Karaömerli – Akkuyu – Balcalı Bölgesi (Adana) Tersiyer İstifinin Sedimenter Jeolojik İncelemesi”, Ç.Ü. Fen. Bil. Ens. Yüksek Lisans Tezi, 77 s., Adana, 1985.
11. Yetiş, C., “Reorganization of the Tertiary Stratigraphy in the Adana Basin”, Southern Turkey, Newsl. Stratigr., 20, s:43 – 58, Berlin, 1988.
12. Çavuşgil, V.L., “Adana – Kurttepe Akarsu Sekilerinde Yer Alan ve Akdeniz Kırmızı Topraklarının Oluşumları ve Birbirleri ile Olan İlişkisi Üzerinde Bir Araştırma” (Doktora Tezi) Ç. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1985.



## YAPI, YETKİ VE İŞLEYİŞ AÇISINDAN KÜLTÜR VE TABİAT VARLIKLARINI KORUMA KURULLARININ TARİHSEL GELİŞİMİ

İpek DURUKAN

Ç.Ü., Mimarlık Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** Bilindiği üzere kültür mirası koruma kavramı evrensel bir niteliğe sahiptir ve Türkiye'nin de imzalamış olduğu uluslararası antlaşmalarla güvence altına alınmıştır. Bu konuda uluslararası bilinçlenmenin başlangıcı 1930'lu yıllara dayanmaktadır ancak Avrupa'da ülkeler özelinde ilk yasaların ve kurumların oluşumu çok daha eskidir. Avrupa ülkeleriyle kıyaslandığında, Türkiye'de benzer gelişmelerin çok daha sonraları gerçekleştirilebildiği görülmektedir. Bu çalışma Türkiye'de ilgili yasalar paralelinde oluşturulan ve kültür mirasının korunması amaçlı uygulamaları yönlendirecek bilimsel kararları almakla yetkili kurullar ve Adana Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu ile bu kurullarca alınan kararların tarihsel gelişimi ve yapısı üzerinde durmaktadır.

## HISTORICAL DEVELOPMENT OF CONSERVATION COUNCILS OF CULTURAL AND NATURAL PROPERTIES FOR STRUCTURE, POWER AND ACTIVITY

**ABSTRACT :** As it is well known, conservation of the cultural heritage has been an international issue and it is well established with the international agreements of which Turkey is part of. The beginning of the issue goes back to 1930's. However in Europe, the establishment of the legislation and institutions is much more earlier. In Turkey when compared with the European countries, it can be seen that similar formations were only realized at a much later date. This study investigates the historical development and the structure of the councils which were established in parallel lines with legislation and which are authorized to take the scientific decisions in directing the practice for the conservation of the cultural heritage and the decisions of these councils.

## 1. GİRİŞ

Halen yürürlükte olan 27.07.2004 tarih ve 5226 sayılı kanunla değişik 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu'nun 1. maddesinde kanunun amacı, "korunması gerekli taşınır ve taşınmaz kültür ve tabiat varlıkları ile ilgili tanımları belirlemek, yapılacak işlem ve faaliyetleri düzenlemek. bu konuda gerekli **ilke ve uygulama kararlarını alacak** teşkilatın kuruluş ve görevlerini tespit etmektir" şeklinde tanımlanmış ve kanun metni içinde yetkili kurumlar ile karar almayı gerektiren durumlar açıklığa kavuşturulmuştur. Yasaya göre, Kültür ve Turizm Bakanlığı'na bağlı olarak kurulan "Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu" ile "Koruma Bölge Kurulları", yurt içinde bulunan ve söz konusu kanun kapsamına giren korunması gerekli taşınmaz kültür ve tabiat varlıkları ile ilgili hizmetlerin bilimsel esaslara göre yürütülmesinden sorumludur ve bu görevini **karar alarak** yerine getirir. "Korunması gerekli taşınmaz kültür ve tabiat varlıklarında, Koruma Yüksek Kurulu'nun ilke kararları çerçevesinde Koruma Bölge Kurullarınca alınan kararlara aykırı olarak, her çeşit inşai ve fiziki müdahalede bulunmak, bunları yeniden kullanıma açmak veya kullanımlarını değiştirmek yasaktır" (1). "**Kamu kurum kuruluşları (belediyeler dahil) ile gerçek ve tüzel kişiler, koruma kurullarının kararlarına uymak zorundadırlar**"(1). Ancak koruma kurul kararlarına karşı idare mahkemelerinde dava açmak hakkı vardır (1).

Kurul kararlarının kesinliğinin yasada açıkça belirlenmiş olması ve kararların imar faaliyetlerini yönlendirmekteki önemli yeri söz konusu kararları alacak organizasyonun yapısı, yetkileri, kararların nasıl alındığını ve niteliğini ön plana çıkarmakta ve sorgulamak ihtiyacını doğurmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu'nun Temmuz 20004 tarihinde yeniden düzenlenmesiyle tekrar gündeme gelen kurul yapısı ve yetkilerinin, tarihsel gelişimi ile söz konusu düzenlemeye göre son durumunu aktarmaktır. Bu amaçla Türkiye'de kültür ve tabiat varlıklarının korunması konularında karar almakla görevli kurullar, üye yapıları, çalışma düzenleri ve yetkileri açısından ele alınmış, ayrıca karar alma süreci, kararların içeriği ve içeriği belirleyen etmenler hakkında genel bir bilgi verilmiştir.

## 2. TARİHÇE

Türkiye'de taşınmaz kültür ve tabiat varlıklarının korunmalarını sağlamak amacıyla karar almakla görevli kurulların oluşumu 20. yüzyıl başına tarihlenmektedir ve yaklaşık bir asırlık süreçte söz konusu kurulların isimleri, yapılanması, görev süresi, yetki ve sorumlulukları bir çok kez değiştirilmiştir. Temel olarak üç ana başlık altında ele alınabilecek bu kurulların oluşumu ve üye yapıları şu şekildedir.

### 2.1. İstanbul Asar-ı Atika Encümen-i Daimisi

Türkiye'de henüz "kültür ve tabiat varlıkları", "kültür mirası" kavramlarının kullanılmadığı tüm korunacak değerlerin "eski eser" olarak nitelendirildiği dönemde, bu eserlerin korunmaları sağlamak amacıyla karar almak üzere kurulan ilk kurum Eski Eserleri Koruma Encümeni olarak bilinen "İstanbul Âsar-ı Atika Encümen-i Daimisi"dir. Encümen dönemin Müze (Müze-i Hümayun) Müdürü Halil Edhem Bey'in taşınmaz eski eserlerin yıkımı karşısında Müze'nin yetersiz kaldığını görmesi ve mevcut personelin müze işleriyle daha fazla ilgilenebilmesini sağlamak için ayrı bir

komisyon oluşturulması isteğini Milli Eğitim Bakanlığı'na (Maarif Nezareti) bildirmesi ile başlayan süreç sonunda 30 Mayıs 1333/1917 tarih ve 617/22909 nolu yazı ile kurulmuş, kuruluş ve görevi hakkındaki talimatname(yönetmelik) 1924 tarihinde Cumhuriyet hükümetince de onaylanmıştır (2). Kurul o dönemde, isminden anlaşıldığı ve yönetmeliğinde de belirtildiği üzere, sadece İstanbul'daki anıtlarla ilgili onarım, tadilat, taşıma veya yıkım konularındaki başvuruları değerlendirerek görüş bildirmektedir. Coğrafya, sanat ve mimari bilgiye sahip olması koşulu aranan dört üyenin yanı sıra müze müdürü müze mimarı ve katile birlikte üye sayısı yedidir. Kuruldan günümüze ulaşan ve Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma İstanbul 1 Numaralı Bölge Kurulu arşivinde bulunan az sayıda karar defterlerinin incelenmesi sonucu Encümenin Salı ve Cuma olmak üzere haftanın iki günü toplanmış ve her toplantıda ortalama beş-altı konu görüşmüş olduğu anlaşılmaktadır.

İstanbul Asar-ı Atika Encümeni, Müze-i Humayun (bugünkü İstanbul Arkeoloji Müzesi) bünyesi ve binasında yürüttüğü çalışmalarını 1951 yılında Gayri Menkul Eski Eserler ve Anıtlar Yüksek Kurulu kuruluncaya kadar etkin bir şekilde devam ettirmiştir. İstanbul Bölge Kurulu arşivinde bulunan 1968 tarihli karar defteri o yıllara değin Kurul'un varlığını sürdürdüğünü göstermektedir. Ancak özellikle İstanbul'daki anıtların çok değerli çizim ve belgelerinin bulunduğu encümen arşivi korunamamıştır.

## **2.2. Gayri Menkul Eski Eserler Ve Anıtlar Yüksek Kurulu**

Türkiye'de, eski eserlerin korunması amaçlı görüş bildirmek ve uygulamaya yönelik karar almak amacıyla kurulan ikinci kurum, Gayri Menkul Eski Eserler ve Anıtlar Yüksek Kurulu'dur (GEEAYK). 5805 sayılı kuruluş yasası "Gayrimenkul Eski Eserler ve Anıtlar Yüksek Kurulu Teşkiline ve Vazifelerine Dair Yasa", 02.07.1951 tarihinde kabul edilmiş ve 09.07.1951 tarih ve 7853 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Yasanın birinci maddesinde belirtilen görevi; yurt içinde korunması gerekli mimari ve tarihi anıtların korunma, bakım, onarım, restorasyon işlerinde uyulacak ilkeleri ve bunlarla ilgili programları saptamak, uygulamasını genel olarak izlemek ve denetlemek, anıtlarla ilgili kendisine sunulacak veya kendi izleyecekleri yol ve araştırmaları ile bilgi edinilecek her türlü konu ve anlaşmazlıklar üzerinde bilimsel görüş bildirmektir. İkiisi tabii 12'si seçilmiş olmak üzere 14 üyesi vardır.

5805 sayılı yasa, 8.6.1973 tarih ve 1741 sayılı yasa ile tekrar düzenlenmiştir. Bu düzenlemeyle üye sayısı beşi "tabii" ve 16'sı da "seçilmiş" olmak üzere 21'e çıkarılmış (m.2); ancak ölüm, istifa ile son bulan daimi üyelik süresi 65 yaş ile sınırlandırılarak gerektiğinde üyelerin üçte iki oyu ile beş yıl uzatılabileceği (m.3) ve daha önce sadece kurul kararı ile belirlenen aday ve üye seçimleri ile uygulama esaslarının belirlenmesinde Vakıflar Genel Müdürlüğü, Milli Eğitim, İmar İskan, Turizm ve Tanıtma Bakanlıklarının görüşleri alınarak hazırlanacak yönetmeliğe uyulacağı(m.4) hükümleri getirilmiştir. Üye seçiminde dikkat çeken önemli noktalardan biri, akademik üyelerin üniversitelere yazılan yazı sonrasında önerilen adaylar içerisinde kurul üyelerince yapılan oylama ile belirlenmesi, dışardan gelecek üyelerin de yine kurul üyelerince önerilmesi; diğeri ise, üyelerin yüksek öğrenim görmüş olmaları koşuludur.

Gayrimenkul Eski Eserler ve Anıtlar Yüksek Kurulu, 05.05.1952 tarihli dördüncü toplantısında kabul ettiği ve 8.11.1959 tarihinde değişiklikleri ile uygulamaya koyduğu Gayrimenkul Eski Eserler ve Anıtlar Yüksek Kurulu Yönetmeliği'ne uygun olarak

çalışmalarını devam ettirmiştir. Bu yönetmelik, 08.11.1959 ve 09.10.1971 tarihinde değişikliğe uğramış, Eski Eserler Yasası'nın kabulü sonrasında, 6.5.1974 tarih ve 14878 sayılı Resmî Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren yeni yönetmelik, çalışmalarının son bulduğu 1983 yılına kadar geçerliğini korumuştur. GEEAYK kurulduğu yıllarda normal olarak Nisan, Haziran, Ağustos, Ekim, Aralık ve Şubat olmak üzere yılda altı kez toplanırken, bu son düzenleme ile her ay toplanmaya başlamış, daha öncesinde de olduğu gibi, olağanüstü durumlarda ek toplantılar yapmıştır.

GEEAYK, 1951 yılında Maarif Vekaleti'ne bağlı (1960'da Milli Eğitim Bakanlığı) olarak kurulmuş, hükümetlerce yapılan değişiklikler nedeniyle 1971'de Kültür Bakanlığı; 1977'de Milli Eğitim ve Kültür Bakanlığı, 1978'de Kültür Bakanlığı ve 1981'de Kültür ve Turizm Bakanlığı'na bağlı görülmesine rağmen, özerk bir yapıya sahip olmuş ve bilimsel temellere oturtmaya çalıştığı kararlarıyla, koruma alanında önemli mesafe alınmasını sağlamıştır. 1951-1983 yılları arasında yaklaşık 32 yıl boyunca görev yapan GEEAYK, 1976 yılına kadar çalışmalarını yalnız İstanbul'da bulunan ve Eski Eserler ve Müzeler Genel Müdürlüğü bünyesinde yer alan bürosu ile gerçekleştirmiştir. 1976. yılında Ankara'da ikinci bir büro kurulmuş ve bu şekilde Marmara Bölgesi (Balıkesir, Bilecik, Bursa, Çanakkale, Edirne, İstanbul, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya ve Tekirdağ ) dışında kalan tüm illerin dosyaları, söz konusu Ankara bürosunun sorumluluğu altında incelenmiştir.

GEEAYK'ın görev yaptığı dönem kültür mirası koruması açısından Türkiye'de ilklerin yaşandığı bir dönem olmuştur. Günümüzde de geçerliğini koruyan, ve anıtlara yapılacak müdahalelerde izlenecek ilkeleri belirleyen 1964 tarihli uluslar arası yasa "Venedik Tüzüğü" 1967 tarihinde GEEAYK tarafından kabul edilmiş ve bu şekilde Türkiye'de korumanın uluslararası bilimsel ölçütleri benimsemesi yolunda önemli bir adım atılmıştır. Türkiye'nin ilk koruma yasası 1710 sayılı Eski Eserler Kanunu da GEEAYK döneminde çıkarılmıştır. 1951-1983 yılları arasında koruma kavramı tek yapı, anıt korumasından tarihi çevre korumasına doğru önemli bir gelişim göstermiştir. Uluslararası gelişmelere paralel olarak korumanın çok boyutlu niteliğinin kabul edilmesi, bir başka deyişle; korumanın sosyal, kültürel, estetik, arkeolojik, doğal, tarihi, ekonomik boyutlarıyla birlikte düşünülmesi, korumaya konu olan şeyleri de çeşitlendirmiş, kurul gündeminde görüşülen konular hem zenginleşmiş, hem de sayıca artmıştır. Ancak bu sayısal artış, kurul üyeliğinin kişilerin ikinci görevi olması nedeniyle zaman ayırmak ve ayarlamakta güçlüklerle karşılaşılması, kurulu yıpratmıştır. Dokunulmaz oluşu, bu özelliği ile yönetimin arzu etmediği ve yeğlemediği konularda da karar verebilmesi de (4) bir başka etken olmuş ve 1983 yılında çıkarılan 2863 sayılı yasa ile GEEAYK kaldırılmış, Taşınmaz Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu (TKTVKYK) ile Bölge Kurulları'nın kurulması hükme bağlanmıştır.

Söz konusu 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu 1973 yılında çıkarılan Eski Eserler Kanunu'nun tüm dünyada gelişerek benimsenen koruma ilke ve kavramlarını karşılamakta ve uygulamada karşılaşılan sorunları çözmekte yetersiz kalması nedenleriyle çıkarılmıştır. Cumhuriyet döneminin ikinci koruma yasasıdır ve yasanın beşinci kısmı koruma kurulları ile ilgilidir. Bu yasa ile koruma kurulları ilk kez



koruma yasası kapsamında oluşturulmuş ve tanımlanmıştır<sup>1</sup>. Bu yasa öncesinde GEEAYK, kendi kuruluş yasası ile kurulmuş, 1710 sayılı Eski Eserler Kanunu'nda kurul ve yapısı hakkında bir tanım ve düzenlemeye yer verilmemiş, bazı maddelerinde kurula göndermeler yapılmıştır.

### **2.3. Taşınmaz Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu ve Bölge Kurulları**

2863 sayılı yasa ile GEEAYK'ın kaldırılarak TKTVYK ile bölge kurullarının oluşturulmasının en olumlu yanı bölge ölçeğinde örgütlenmenin başlatılmış olmasıdır. Ancak gerekli alt yapı, bilimsel birikim ve halk arasında koruma bilincinin 1980'li yıllarda hâlâ oluşturulamamış olması nedenleriyle kültür mirasının tahribinin önüne geçmek mümkün olmamış, kurul oluşumundaki politik ağırlık da bu olumsuz süreci hızlandırmıştır.

TKTVKYK, 7 tabii ve 8 temsilci üye olmak üzere on beş üyeden oluşmuştur. Tabii üyeler; Bakanlık Müsteşarı, Bakanlığın ilgili Müsteşar Yardımcısı, Eski Eserler ve Müzeler Genel Müdürü, Turizm Genel Müdürü, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Planlama ve İmar Genel Müdürü, Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürü, Vakıflar Genel Müdürü'nden oluşurken, temsilci üyelerin üçü Cumhurbaşkanı, beşi YÖK tarafından seçilmekte, yüksek öğrenim görmüş olmak ve mimarlık, arkeoloji, sanat tarihi, şehircilik veya idare hukuku dallarından birinde uzman olmak şartları aranmaktadır. Üyelik süresi tabii üyeler için kurumlarındaki görev süresi, temsilci üyeler için öğretim üyeliği devam etmek koşulu ile yedi yıl ile sınırlandırılmış ikinci kez seçilme hakkı tanınmıştır. GEEAYK kurulunda 5/16 olan tabii üyenin temsilci üyeye oranı yeni düzenlemeye göre 7/8'dir. Ayrıca üyelik süresinin sınırlandırılması ile karar süreci de kesintiye uğratılmış olmaktadır. Yapılan bu değişiklikle yüksek kurul bilimsellikten uzaklaştırılarak politik niteliğe büründürülmüştür<sup>2</sup>.

Bölge kurulları 4 tabii ve 5 temsilci olmak üzere 9 üyeden oluşmaktadır (m.58). Temsilci üyeler Yüksek Öğretim Kurulunca, tercihen bölgedeki yüksek öğretim kurumlarının arkeoloji, mimarlık, sanat tarihi, şehircilik, peyzaj mimarisi anabilim dallarından seçilecek birer öğretim üyesinden meydana gelirken; tabii üyeler, Kültür ve Turizm Bakanlığı'nın o bölgeden sorumlu rölöve ve anıtlar müdürü, bölge kurulunun görev yaptığı ildeki arkeoloji müzesi müdürü, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın bölge müdürü (bulunmadığı yerde İl İmar Müdürü) ile Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün o bölgedeki en üst görevlisidir. Temsilci üyelerin üyelikleri bağlı oldukları kurumdaki görev süreleri ile, tabii üyelerin üyelikleri beş yılla sınırlandırılmıştır.

Taşınmaz Kültür ve Tabiat Varlıkları Yüksek Kurulu ve Bölge Kurullarının çalışma esasları, 1983 tarihli KTVKK' na dayanarak hazırlanan ve 16 Şubat 1984 tarih ve 18314 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren "Taşınmaz Kültür ve Tabiat Varlıkları Yüksek Kurulu ile Bölge Kurulları Yönetmeliği" ile düzenlenmiştir.

<sup>1</sup> 51. madde TKTVYK' nun kuruluşu, 52. madde görevleri hakkındadır. 53. maddede ise üyelerin nitelikleri tanımlanmıştır. Bu maddeler daha sonra 3386 sayılı yasa ile değişiklik görmüştür.

<sup>2</sup> Yeni yasanın getirdiği değişiklikler içinde en çok eleştirilen konu kurul üye yapısındaki bu değişimdir. Bu durum aynı zamanda kurulun aldığı kararlara her zaman önyargılı yaklaşılmasının da sebebidir. Ancak izleyen süreçte gerçekleşen olumsuz uygulamalar önyargıların haksız olmadığını göstermiştir (3)

Yönetmeliğe göre bölge kurulları, korunması gerekli taşınmaz kültür varlıkları ile bunların korunma alanlarının kullanılmalari, kullanma şeklinin değiştirilmeleri ile inşai ve fiziki müdahaleler, anılan varlıkların değerlendirilmeleri; korunması gerekli alanların tespiti ve bu alanlar içinde inşaat yapılıp yapılamayacağı; korunması gerekli taşınmaz kültür varlığı parsellerinde, taşınmaz kültür varlıklarının mahiyetlerine tesir etmeyecek şekilde ayrılma ve birleştirmeleri hakkında karar almak ve naklinde zorunluluk bulunan korunması gerekli kültür varlıklarının uygulamaya yönelik işlemleri hakkında görüş bildirmekle görevlidir. Bölge kurullarının raportörlük hizmetleri bağlı oldukları illerde ve EEMGM bünyesinde oluşturulacak bürolarca yürütülecektir. Kurulması planlanan sekiz kurulun büro müdürlüklerinin ise Ankara, İstanbul, İzmir, Konya, Kayseri, Diyarbakır, Erzurum ve Adana’da yer almasının planlandığı ancak hepsinin aynı anda aktif çalışmaya başlayamadığı anlaşılmaktadır. İlk aşamada Ankara, İstanbul, İzmir bölge kurulları hizmete başlamıştır. 1985 yılında Konya, Kayseri, Diyarbakır, Erzurum ve Adana bölge kurulları hâlâ kuruluş aşamasındadır<sup>3</sup> (5). Koruma kurullarının sayısı, 1994 yılında Nevşehir Koruma Kurulu’nun kurulması ile 16’ya; 1995 yılında Eskişehir Koruma Kurulu ile 17’ye; 2000 yılında Muğla ve Samsun Koruma Kurulları ile 19’a; son olarak 2001 yılında Çanakkale Koruma Kurulu’nun kurulması ile 20’ye yükselmiştir (Tablo 1).

1987 yılında çıkarılan 3386 sayılı yasayla değişik 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu’na göre, Taşınmaz Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu’nun ismi “Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu”, bölge kurullarının ismi ise “Koruma Kurulları” olmuştur. Bu yasa ile üye yapısı da değiştirilmiş ve Yüksek Kurul’da temsilci üye sayısı sekizden altı’ya düşürülmüş, tabii üye sayısı yediden sekize çıkarılmıştır (m.53). Ayrıca temsilci üyelerin koruma kurulları başkanları arasından seçilmesi öngörülmektedir. Bu durumda Yüksek Kurul’un tamamen bürokratlardan oluşma olasılığı da vardır. 3386 sayılı yasa ile yapılan bir başka değişiklik Yüksek Kurul’un tescil yetkisinin koruma kurullarına verilmesidir. Yapılan bu değişiklikle Yüksek Kurul sadece ilke koyan ve kurullar arası koordinasyonu sağlayan bir üst kurum haline getirilmiştir. Ancak yasadaki boşlukları, eksikleri gidermek amacıyla çıkarılan ve yasa niteliğinde olan ilke kararlarının bir çok davaya konu olarak sürekli yenilenmesi, yüksek kurulun işlevini sürekli sorgulanır bir konu haline getirmiştir.

1987 yılında yapılan değişiklikle, bölge kurulları, yeni ismi ile koruma kurullarının 1983 yılında dokuz olan üye sayısı beşe düşürülmüştür. Beş üyenin ikisi YÖK’ün seçeceği öğretim üyeleri, üçü Bakanlıkça seçilecek üyelerdir. 2863 sayılı yasanın 51 ve 57. maddeleri uyarınca, 1989 yılında çıkarılan ve kuruluş ve çalışma ilkelerini düzenleyen “Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu ile Koruma Kurulları Yönetmeliği” nde koruma kurullarında görev alan tabii üyelerin görev sürelerinin kurumlarında çalıştıkları süre ile sınırlı olduğu hükmü iki yıla indirilmiş, 1996 yılında

<sup>3</sup> 1987 yılına kadar geçen süre içinde bu kurullardan kaçının daha aktif hale geldiği kesin olarak bilinmemektedir. Bu dönem bilgilerine Kültür Bakanlığı arşivinde yapılan çalışmalar sırasında ulaşılamamış, kurulların görev alanları tespit edilememiştir.

yapılan değişiklikle beş yıla çıkarılmış, 2002 yılında yapılan son değişiklikle<sup>4</sup> ise, yüksek öğretim kurulundan seçilen üyelerin üyelikleri gibi beş yıl olması tekrar benimsenmiştir. Konuyla ilgili belediye, valilik, vakıflar veya bakanlık temsilcisinin katılımı ile sayı artabilmektedir ve bu üyelerin de oy hakkı vardır.

**Tablo 1.** Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Kurulları, görev alanları ve 1951-20002 yılları arasında alınan karar sayıları (20004, KTB)

Kültür ve tabiat varlıklarını koruma kurulları	Görev alanında yer alan iller	1951-2002 yılları arasında alınan karar sayısı
Adana	Adana, Adıyaman, Gaziantep, Hatay, İçel, Kahramanmaraş, Malatya, Kilis, Osmaniye	5394
Ankara	Ankara, Bartın, Bolu, Çankırı, Kastamonu, Kırıkkale, Düzce, Zonguldak, Karabük, Çorum	9845
Antalya	Antalya, Burdur, Isparta	6123
Bursa	Bursa, Bilecik, Sakarya, Kocaeli, Yalova	10195
Çanakkale	Çanakkale, Balıkesir	2360
Diyarbakır	Diyarbakır, Batman, Bitlis, Elazığ, Hakkari, Mardin, Siirt, Şanlıurfa, Şırnak, Van	3283
Edirne	Edirne, Kırklareli, Tekirdağ	7806
Erzurum	Erzurum, Ağrı, Ardahan, Bayburt, Bingöl, Erzincan, Iğdır, Kars, Muş, Tunceli	1470
Eskişehir	Eskişehir, Afyon, Kütahya	2562
İstanbul I	Bakırköy, Beyoğlu, Bağcılar, Bahçelievler, Zeytinburnu, Eminönü, Eyüp, Fatih, Güngören, Kağıthane, Şişli	15575
İstanbul II	Avcılar, Bayrampaşa, Çatalca, Büyükçekmece, Küçükçekmece, Gaziosmanpaşa, Kartal, Kadıköy, Maltepe, Pendik, Ümraniye, Silivri, Şile	6738
İstanbul III	Adalar, Beşiktaş, Beykoz, Sarıyer, Üsküdar	14169
İzmir I	İzmir	10901
İzmir II	Aydın, Manisa, Uşak, Denizli, Muğla( Bodrum, Milas, Yatağan, Kavaklıdere)	12208
Kayseri	Kayseri, Sivas, Tokat, Yozgat	3488
Konya	Konya, Karaman	5144
Muğla	Muğla Merkez ve Ula, Datça, Marmaris, Köyceğiz, Ortaca, Dalaman, Fethiye	2904
Nevşehir	Nevşehir, Kırşehir, Aksaray, Niğde	2440
Samsun	Samsun, Sinop, Amasya, Ordu	821
Trabzon	Trabzon, Artvin, Gümüşhane, Rize	4879

Kurul üyelik süresinde yasa kapsamında yapılan bu değişikliklerin yanı sıra aynı yıllarda hükümetlerce birçok kurul üyesinin görevine çeşitli gerekçelerle son verilmiş

<sup>4</sup> RG 03.10.2002/ 24895.

yeni kurul üyelerinin atamaları yapılmıştır<sup>5</sup>. Söz konusu yönetmelikte 2002 yılında yapılan en önemli değişiklik ise, Bakanlıkta fiilen çalışmakta olan personelin üye seçilemeyeceği hükmünün (m.8) konulmasıdır. Kurulun siyasi baskıdan uzak olması gerekliliği üzerine sıkça yapılan eleştiriler sonucu yapılan bu değişiklik koruma kurullarının özerkliğinin sağlanması amacıyla atılmış önemli bir adımdır. Koruma kurullarının yapısı ve çalışma düzenini belirleyen son yasa 27.07.2004 tarihli resmi gazetede yayımlanan 5226 sayılı “**Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu ile Çeşitli Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkındaki Kanun**”dur. Bu son düzenlemeye göre, bölge koruma kurullarının üye sayısı beşi bakanlık temsilcisi, ikisi yüksek öğretim kurumlarında çalışan öğretim üyesi olmak üzere 7’ye çıkarılmıştır. Daha önce Bakanlık temsilcilerinin arkeoloji, sanat tarihi, müzecilik, mimarlık ve şehir planlama dallarından birinde uzman olmaları koşulu aranmaktayken müzecilik ibaresi hukuk ile değiştirilmiş, gerektiğinde ilgili müze müdürünün toplantıya temsilci olarak katılabileceği hükmü eklenmiştir. Ayrıca ilgili meslek odaları toplantılara gözlemci olarak yani oy hakkı olmaksızın katılabilecekler, daha öncesinde de olduğu gibi görüşülecek konuya bağlı olarak ilgili belediye veya Valilik, Bayındırlık ve İskan ile Çevre ve Orman Genel Müdürlükleri, Vakıflar Genel veya Bölge Müdürlüğü birer teknik temsilci gönderecekler ve toplantılara oy hakkı olmaksızın danışman uzman çağırılabilir.

Koruma Yüksek Kurulu üyeliğinde de 6/8 olan temsilci üye/tabii üye oranı 5226 sayılı kanunla değil fakat 26/5/2004-5177 tarih ve sayılı kanunun 27 maddesi ile değişiklik yaparak 6/10 olmuştur. İlgili kanuna göre Maden İşleri Genel Müdürü veya Yardımcısı ile Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürü veya Yardımcısı da Yüksek Kurula üye olarak katılacaklardır.

### 3. KARAR METİNLERİNİN YAPISI ve KARAR ALMA SÜRECİ

Karar metinlerinin düzenlenmesinde uyulması gerekli kurallar, 09.02.1996 tarih ve 277 sayılı Bakanlık oluru ile yürürlüğe giren Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu Büro Müdürlüklerinin Çalışma Esaslarına İlişkin Yönerge’de tanımlanmıştır. 1996 yılında yürürlüğe giren bu yönerge öncesinde, karar metinlerinin yapısının şekil ve içerik olarak nasıl olması gerektiği açıkça tanımlanmamıştır. GEEAYK’nun 5805 sayılı kuruluş yönetmeliği ve bu yönetmeliğin 1973 yılında 1741 sayılı kanunla değişik metninde de daha çok çalışma yöntemi üzerinde durulmuştur. Bu metinlerde, karar metinlerinde içerik ve şekil açısından neler bulunması gerektiğine ilişkin detaylı bilgi olmamakla birlikte, her iki düzenlemenin on altıncı maddesinde kurul kararlarının oy birliği ile alınmadığı durumlarda, karşı oy kullananların muhalefet nedenlerini özete yazdırabileceği ve kararların imzası sırasında muhalefetlerini kararların altına yazdırarak imzalamalarının mümkün olduğu belirtilmiştir.

Şeklen tarif edilmemiş olmakla birlikte, karar metinleri yazımında 1951 yılından beri kullanılmakta olan bir format mevcuttur. 1987 yılında bölge kurullarının oluşturulmasının ardından, karar kağıtlarının bastırılmasına esas olmak üzere, daha

<sup>5</sup> Bazı kurul üyeleri yürütmeyi durdurma kararları ile görevine iade edilmiş ancak bütün bu işlemler sırasında karar sürecinin kesintiye uğraması kültür varlıklarının zarar görmesine neden olmuştur.

önce de kullanımda olan bu formun bir örneği gönderilmiş ve söz konusu formatın kullanımı benimsenmiştir.

İstanbul Eski Eserleri Koruma Encümeni'nin kararları, GEEAYK kuruluncaya kadar bu konuda tek yetkili olması nedeniyle, İstanbul ili dahilinde geçerlidir. Encümenin görev yaptığı dönemdeki koruma anlayışı, boyutu ve mevcut mevzuat göz önünde bulundurulduğunda, kararların geçerliğinin ön planda olmadığı yorumu yapılabilmektedir. Bir başka deyişle kurul kararlarına uyulmadığı durumda uygulanacak yaptırımlar tanımlanmamış ve etkinleştirilmemiştir. Encümene ait kararlar üzerinde yapılan sınırlı incelemede ise kurul kararlarına karşı itirazların Belediye'ye veya Müze'ye yapılabildiği anlaşılmaktadır.

**Karar alma süreci,** Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu Büro Müdürlüklerinin Çalışma Esaslarına İlişkin Yönerge'de, hizmete; konuların incelenmesine; gündeme; toplantıya; kararlara; karar dağıtımına ilişkin esaslar ve yargı organları ile ilişkiler başlıkları altında ele alınmış ayrıntılı bir biçimde anlatılmıştır. Bu yönergeye göre, bir konunun kurul gündemine alınmasından dağıtımına kadar geçen süreci kısaca özetlemek gerekirse:

Koruma kurulu büro müdürlüklerine, görüşülmesi istenen konuya ait belgeler ve konunun görüşülmesi isteğini belirten bir dilekçe ile birlikte başvurulur. Başvurular kültür varlığı sahibi, proje müellifi veya ilgili kuruluşça yapılabilir. Başvuru sırasında istenen belgelerin niteliği konunun özelliğine bağlı olarak değişmektedir ve koruma kurulu büro müdürlüklerinden öğrenilebilir. Konunun toplantı gündemine alınıp alınmayacağı, yine büro müdürlüklerince, gündemin belirlenmesine ilişkin esaslar çerçevesinde belirlenir ve gündem bilgilendirme amacıyla Bakanlığa, kurul üyelerine gönderilir, ayrıca müdürlük panosuna asılır. Toplantı sırasında üyeler, konuyu incelemekle görevlendirilmiş ve yerinde görerek raporunu hazırlamış müdürlük uzmanının aktardığı bilgiler ve mevcut dokümanlar ışığında, konuyu değerlendirerek karara bağlarlar. Karar metinleri ve ekleri üyelerce imzalanır ve konunun niteliğine bağlı olarak ilgili kuruluşlara, ekleriyle birlikte dağıtımı yapılır.

GEEAYK'nun görev yaptığı dönemde de karar süreci, yukarıda sözü edilen 1996 tarihli yönergedeki kadar detaylı olmamakla birlikte tanımlanmıştır. Söz konusu süreç, GEEAYK'nun 1952, 1959, 1971 ve son olarak 1974 yıllarında değişiklik gören yönetmeliğinin ikinci bölümünde "çalışma" başlığı altında yer almaktadır. GEEAYK'nun 1974 tarihli yönetmeliğine göre, konunun gündeme alınmasından karar dağıtımına kadar geçen süreci kısaca özetlemek gerekirse:

Bir konunun gündeme alınabilmesi için Bakanlıklar, Genel Müdürlükler, Vilayetler ve Belediyelerle, İl Eski Eserleri Koruma Encümenleri'nden birince veya Kurul üyelerinden biri tarafından Başkanlığa (GEEAYK) yazılı olarak başvurulur. Özel kişilerin başvuruları ancak GEEAYK Başkanlığı'nca uygun görülürse kabul edilir. Görülecek konular bir hafta öncesinden kurul üyelerine yazılı olarak bildirilir. Bir konunun gündeme alınabilmesi için gerekli belgeler açıkça tanımlanmamış "her türlü bilgi ve belge" ifadesi kullanılmıştır. Toplantı sırasında konuyu raportörün açıklamasının ardından konu tartışmaya açılır. Eğer açıklama yeterli görülmezse, dosyanın seçilecek komisyon veya raportörce tekrar incelenmesi ve belirlenen süre sonunda tekrar görüşülerek karara bağlanması sağlanır. Görüşülen konu ile ilgili kurum uzmanının her toplantıda bulunması zorunluluğu yoktur, hatta toplantıya katılabilmesi

için Kurul'un bu yönde karar alması gereklidir. Karar metinleri ve ekleri üyelerce imzalanır ve Kültür Müsteşarlığı'na (Kültür ve Turizm Bakanlığı), ilgili kuruluşa ve gerekirse Cumhuriyet Savcılığı'na gönderilir. Tanımlanan süreçler küçük farklılıklar göstermektedir bununla birlikte 1996 yılında hazırlanan yönerge sonrasında daha sistemli ve düzenli bir çalışmanın sergilenebildiği, görev tanımlarının daha açık yapıldığı gözlenmektedir.

#### 4. KARAR METİNLERİNİN İÇERİĞİNİ BELİRLEYEN ETMENLER

Kişisel gözlem, görüşmeler ve karar metinlerinin incelenmesi sonucu karar içeriğini biçimlendirdiği saptanan etmenler karar konusu; mevzuat; süreç; kurul üye yapısı ve olanaklar başlıkları altında sınıflandırılmıştır (6). Bu etmenler şu şekilde açıklanabilir.

Konu, niteliği, kapsamı ve yeri açısından karar içeriğinin oluşmasında etkilidir. Kültür varlığı olup olmama, kültür varlığı ise derecesi, korunmuşluk durumu, mülkiyet durumu, yapısal özellikler konunun niteliğini tanımlarken, kapsam kültür varlığı tek yapıdan sit alanlarına değin genişleyebilmekte, kapsamla ilişkili olarak plan ve projenin ölçeği farklılaşabilmektedir. Benzer şekilde, konu; sit alanı içinde olup olmadığı, yeni yapı ise koruma alanında mı yoksa sit alanında mı olduğu, sit alanı ise, varsa başka sit alanları ile ilişkisi, sit alanının bulunduğu çevre ile ilişkisi yani yerine göre farklı şekillerde ele alınmakta ve karara bağlanmaktadır.

Mevzuat, karar içeriğinin oluşmasını etkileyen en önemli etmenlerden biridir. Kararlar yasal kurallar çerçevesinde alınmak zorunda olduğundan ve ancak bu şekilde geçerli olacağından, içeriğin mevzuata uygun olması üzerinde durulmaktadır. Kurul kararlarının mevzuata uygun olmaması durumunda, gerekli uyarıyı yapmak kurul büro müdürünün görevidir. Kararların mevzuata uygun olmadığı durumlarda Genel Müdürlük'ten görüş istenmesi gereklidir. Mevzuatta yöntem tanımlanmış, ilke kararları ile konuların genel çerçevesi belirlenmiş, ancak ayrıntılı tanımlar yapılmamıştır. Her durumun kendine özgü nitelikleri nedeniyle ayrıntılı tanımlar yapılmamış olması ve mevzuatın bu anlamda içerik üzerindeki etkisini kurul üyelerinin bilimsel yeterliliğine bırakması olumludur. Kurul kararlarının içeriğinin belirlenmesinde, mevzuatı oluşturan yazılı kurallar kadar olmasa da, genel kabul ve alışkanlıklar da bir başka etmendir. Karar konusunun hangi yolla kurul gündemine alındığı; kurul gündeminde daha önce görüşülüp görüşülmediği; daha önce görüşülmüşse, alınan kararın niteliği; kurul gündemine alınmasından toplantı sırasında görüşülmesine değin geçen sürece ait işlemlerin nasıl gerçekleştiği; yerinde görülüp görülmediği; toplantı sırasında konuyla ilgili uzmanın söz konusu toplantıda aktif katılımcı olup olmadığı ve tartışma süreci, karar içeriğini etkilemektedir.

Sürecin basamaklarının bir kısmı önceden belirlenmiş (tanımlanmış) olmakla birlikte süreçte rol alan kişilere ve olanaklara bağlı olarak işleyişte farklılıklar olabilmekte ve metnin içeriği değişebilmektedir. Ayrıca sürecin karar metninin oluşumundaki etkisi sadece görüşülen kararlar sınırlı olmayıp, benzer konuların görüşülmesi sırasında da ortaya çıkmaktadır. Bir başka deyişle, bir karar metnini etkileyen süreçte kazanılan deneyim; nitelik, kapsam ve yer açısından benzeyen başka konularda, karar içeriğinin oluşturulmasında etken olabilmektedir. Bu durum kurul üyeliği açısından değerlendirilirse, doğru yapılandırılması durumunda, üyeliğin sürekliliğinin sağlanmasının karar sürecine katkıda bulunacağı açıkça görülmektedir.

Üzerinde durulması gerekli bir başka konu, sürecin doğru işletilmesi yanında, ne kadar sürede tamamlandığıdır. Karar sürecinin uzaması durumunda, kültür varlığının özgün niteliklerini kaybetmesi, kaçak yapılaşma gibi çeşitli nedenlerle metinlerin içeriği olması gerektiğinden çok farklı şekillenebilmektedir. Örneğin basit onarım yapılarak korunması mümkün olan bir yapı zamanında başvuru yapılmaması, konunun kısa sürede görüşülerek karara bağlanamaması gibi nedenlerle esaslı onarım gerektirebilmektedir.

Üyelerin hem nitelik, hem de nicelikleri karar içeriğinin oluşmasında önemli bir etmendir. Bu nedenle de, kurul üye yapısında yapılan değişiklikler her zaman en fazla eleştiri alan konu olmuştur. Kurul gündemlerinde yer alan konuların çeşitliliği, aynı çeşitlilikte uzmana ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Ayrıca kurul kararlarının oy çokluğu ile alınması ve bürokrat üyelerin sayıca çokluğu nedeniyle üyelerin bağlı olduğu kurumlara karşı sorumlulukları ve kültür varlığı koruması konusundaki deneyimleri de karar içeriğinin oluşmasında önemlidir. Kurul üyelerinin entelektüel birikim ve etkileşimleri, üyelerin birbirleriyle ilişkileri karar içeriğini dolaylı olarak etkilemektedir.

Karar içeriğinin oluşmasındaki bir diğer etken, kurul çalışmalarının gerçekleştirilebilmesi için gerekli personel ve araçların ne ölçüde sağlamış olduğudur. Konuların kurul gündeminde görüşülmesi sırasında, konuyla ilgili hazırlık yapan ve kurul üyelerine açıklamada bulunan raportörün önemli bir işlevi vardır. Bürodaki personel sayısı ve raportör niteliğinin yeterli olması, gündemde görüşülen konuların içeriğini bu nedenle doğrudan etkilemektedir ve büyük önem taşımaktadır. Teknik donanım ve ekonomik olanakların yeterliği ile teknolojik araçların kullanımı, gerekli bilgi ve belgenin zamanında temin edilmesini sağlamakta ve karar alma sürecinin aksamasını önlemektedir. Ayrıca kurul müdürlüklerinde fiziksel koşulların yeterli düzeyde olması da psikolojik olarak olumlu ortamlar oluşmasını ve çalışma kalitesini yükseltmektedir.

## **5. GENEL DEĞERLENDİRME**

Türkiye’de kültür mirası koruması alanında izlenecek ilke ve esasları belirleyecek ve uygulamaları yönlendiren kararları alacak kurumsal oluşumun tarihi oldukça yenidir. Bu kısa tarihsel süreç içinde koruma alanına ilişkin yasa, ilke ve kavramların, kurumsal yapı ve oluşumlar ile izlenen politikanın değişip gelişmediğini söylemek doğru değildir. Ancak bu kısa süreçte tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de her şey çok hızlı bir değişim sürecindedir. Koruma kavram ve yaklaşımları kendi içinde değişip gelişirken ülke dinamiğini yakalamakta geç kalınmıştır. Özellikle tarihi kent merkezleri hızlı kentleşme baskısı altında ezilmiş, yöneticiler bu baskıyı seçim kazanma aracı olarak görüp söylemlerine dahil etmişlerdir. Koruma politikasının sağlam temellere dayanmaması kurumsal yapıyı da politik baskılardan uzak tutamamıştır.

1951-2002 yılları arasında kurulların yapısı ve alınan kararlarının incelenmesi geçen yarım asır boyunca kurulların çalışma düzeninde önemli bir değişiklik olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte özellikle son yıllarda kurul yapısı, üyelerin nitelik ve nicelikleri ile üyelik sürelerinde yapılan değişiklikler dikkat çekicidir. Kurul yapılanmalarında 1983 sonrasında yapılan değişikliklerin radikal müdahaleler içermemesi bir yandan bu konuda belli bir yaklaşım (!) sergilendiğini düşündürürken diğer yandan hükümetlerin kendi politik söylemlerine uygun kararlar üretebilecek

kurumsal yapıyı oluşturmaya yönelik tavırlarını ortaya koymaktadır. Benzer şekilde 2863 sayılı kanunda yapılan son değişiklikle bölge kurullarının yetkilerinin bir kısmı belediye ve il özel idarelerine devredilmiştir. Geçmişte edinilen deneyimlere rağmen yasanın bu şekli ile kabul edilmiş olması, alınmış kurul kararlarını uygulamakta yetersiz kalan yerel yönetimleri karar organı haline getirmesi nedeniyle kültür mirasının bilimsel ölçütler çerçevesinde korunması açısından tehlikeli bir durum sergilemektedir. Oysa kültür mirası açısından dünyanın en zengin ülkelerinden biri olan Türkiye'nin uluslar arası birçok antlaşma ile benimsediği bilimsel ve evrensel koruma ilkelerini uygulamaya aktaracak mekanizmayı siyasi baskılardan uzak bir niteliğe kavuşturması gereklidir. Uygulamada her konunun kurul gündemine alınmadan daha kısa sürede çözümlenmesini hedefleyen bu düzenleme daha öncesinde de yapıldığı gibi kısa erimli çözümler sunmaktan öteye gitmeyecek bu arada geri döndürülemez şekilde tahrip edilen yine tarihsel doku ve kültürel miras olacaktır. Bu nedenle kültürel miras korumasında yeni politikalar benimsenirken bölgeler özelinde ve geriye dönük kapsamlı analizler yapılmalı, kurul yetkilerini başka kurumlara devretmek yerine, kurul kararlarının uygulamaya aktaran sistemi etkinleştirecek düzenlemeler yapılmalıdır.

## 6. KAYNAKLAR

1. RG 20.07.2004/ 25535
2. İAAED Mukarrarat Defteri, İstanbul, 1917.
3. Binan, D., "Koruma Kurullarının Oluşumu ve Sorumluluk Bölgelerini Saptanmasında Ölçütler ve Sorunlar Kapadokya Bölgesi Örneği", 2. Kentsel Koruma Yenileme Uygulamalar Kolokiyumu MSÜ Yayını, 176-186, İstanbul, 1994.
4. Çeçener, B., Anıtlar Yüksek Kurulu Yılları, TMMOB, 2003.
5. EEMGM., Haberler, Eski Eserler ve Müzeler Genel Müdürlüğü Bülteni, 1, 3, 1986.
6. Durukan, İ. "Türkiye'de Gayrimenkul Eski Eserler ve Anıtlar Yüksek Kurulu Sonrası Kültür Mirası Korumasının Gelişimi ve Uygulama Sorunları" İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Basılmamış Doktora Tezi, İstanbul, 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 incelenmesi 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 ifadedeli olmalıdır. Başlık, büyük harflerle ve sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Makale 1 satır aralıkla yazılmalıdır. Alt başlıklarla ilk paragraf ve paragraflar arasında 1 aralık bırakılmalıdır. Yazar ad ve soyadları unvan belirtilmeden, başlığın 1 cm altına sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Yazar sayısı birden çok ise, hepsi alt alta yazılmalıdır. Yazar adresi (Üniversite, Fakülte, Bölüm, Şehir) makale başlığının altına yazılmalıdır.

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

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

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

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

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

Yayınlanması 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

Uçucu Kül Katkılı Betonların Mekanik Özellikleri <i>Mechanical Properties of Concrete Containing Fly Ash</i> Rıza DİNÇER, İsmail H.ÇAĞATAY.....	235
Pomza ile Yapılan Hafif Betonların Mekanik Özellikleri <i>Mechanical Properties of Lightweight Concrete with Pumice</i> Rıza DİNÇER, İsmail H.ÇAĞATAY.....	247
Uçucu Kül, Çelik Lif ve Pomza İçeren Betonların Mekanik Özellikleri <i>Mechanical Properties of Concrete Containing Fly Ash, Steel Fiber and Pumice</i> Rıza DİNÇER, İsmail H.ÇAĞATAY.....	261
Donatılı Kum Zemin Üzerine Oturan Ring (Halka) Temellerin Analizi Bearing Capacity of Ring Foundations on Geogrid-Reinforced Sand Mustafa LAMAN, Şerife Duygu BABACAN.....	281
Huzurkent (Mersin) Kuzey ve Kuzeybatısının Stratigrafisi <i>Stratigraphical Properties of Huzurkent (Mersin) Area (N-NW)</i> Sibel AKARPINAR, Cavit DEMİRKOL.....	291
Yapı, Yetki ve İşleyiş Açısından Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurullarının Tarihsel Gelişimi <i>Historical Development of Conservation Councils of Cultural and Natural Properties for Structure, Power and Activity</i> İpek DU'UKAN.....	301

Türk Tekstil Sanayinde Enerji Kullanımının Genel Değerlendirilmesi <i>General Utilization of Energy Consumption in Turkish Textile Industry</i> Emel KAPLAN, Erdem KOÇ.....	97
İndirgen Yıkama ile Yapılan Boyarmadde Söküm İşleminin Dokuma Kumaşın Yumuşaklık ve Boncuklaşma (Pilling) Özellikleri Üzerine Etkisi <i>Effect of Dyestuff Removing Process Made with Reductive Washing on Softness and Pilling Properties of Woven Fabric</i> Onur BALCI, R.Tuğrul OĞULATA.....	115
Tekstilde Kullanılan Suyun Önemi ve Örnek Bir İşletmede Yapılan Su Analiz Çalışmaları <i>The Importance of Water in Textile Industry and Investigation Water Analysis in a Chosen Textile Mill</i> Serin MAVRUZ, R.Tuğrul OĞULATA.....	127
İki Boyutlu Elastostatik Problemlerinin Süreksiz Kuadratik Sınır Elemanları Kullanılarak Çözümü <i>The Solution of Two Dimensional Elastostatic Problems By Using Discontinuous Quadratic Boundary Elements</i> M.Hakan SEVERCAN, A.Hamza TANRIKULU, A.Kamil TANRIKULU.....	135
Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Perde Yerleşiminin Etkisi ve A2 Düzensizlik Durumunun İncelenmesi <i>Investigation for Design Effect of Shear Walls and A2 Irregularity Condition According to Turkish Earthquake Code</i> Erbil GÜLLÜ, Hüseyin R.YERLİ.....	149
Planda Değişik Geometriye Sahip Çok Katlı Betonarme Yapıların Zaman-Tanım Aralığında Dinamik Analizi <i>Time-Historical-Dynamic Analysis of Different Geometrical Shaped Buildings on Plane</i> Adnan KARADUMAN, H.Murat ARSLAN, M.Sami DÖNDÜREN.....	163
Fiber Çubuklarla Güçlendirilmiş Tabakalı Plakların Plak Düzlemine Dik Yükleme Etkisindeki Davranışı <i>The Behaviour of Fiber-Reinforced Laminated Plates under the Effects of the Vertical Loading to Plate Surface</i> Ali DOĞAN, H.Murat ARSLAN.....	173
Sürekli Bağlantı Yöntemi ile Güçlendirici Kiriş Konumunun ve Bina Yapısal Davranışının Belirlenmesi <i>Determination of Stiffening Beam Location and Structural Behavior of Building with Continuous Connection Method</i> Cevher Deha TÜRKÖZER, H.Murat ARSLAN.....	191
Bayındırlık İşleri Birim Fiyat Analizlerindeki İşgücü Verimliliklerinin İrdelenmesi <i>Examine of Labor Force Productivity in Unit Price Analysis of Public Works</i> M.Emin ÖCAL, Ali TAT, Ercan ERDİŞ.....	207
İnşaat Projelerinde Yatırım Kararı Sürecinin Analizi ile İlgili Bir Model Önerisi <i>A Model Suggestion on the Analysis Process of Investment Decisions in Construction Projects</i> M.Emin ÖCAL, İlker GÖNEN.....	210