ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ

ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT 10 SAYI 1-2 HAZİRAN-ARALIK 1995 ISSN 1019-1011
VOL NO JUNE-DECEMBER

## İÇİNDEKİLER *(CONTENTS)*

Radye Temel Analizi İçin Genel Amaçlı Bir Bilgisayar Programı
*A General Purpose Computer Program for the Analysis of Mat Foundations*
Süleyman KOÇAK, Yalçın MENGİ ..... 1

Çubuk Yöntemle Yapılan İnşaat İş Programlarının İşlevselliğini Artırıcı Şekilde Düzenlenmesine Yönelik Öneriler
*Some Suggestions for the Improvement of Efficiency of Construction Work Schedules by Ganit Charts*
M.Emin ÖCAL ..... 15

Nonlineer Sığ-Su Dalga Denklemlerinin Dalga Kırılması Problemine Uygulanması
*Application of Nonlinear Shallow Water Wave Equations to the Wave Breaking Problem*
M.Salih KIRKGÖZ, Zeliha SELEK ..... 25

Öngerilmeli Beton Kirişlerin Optimum Kesit Alanının Hesabı İçin Bir Formül
*A Formula for the Computation of Optimum Cross-Sectional Area of Prestressed Concrete Beams*
Cengiz DÜNDAR, İ.Hakkı ÇAĞATAY ..... 37

Deprem Etkisi Altındaki Yapılar İçin Yapı-Zemin Etkileşim Analizi
*Soil-Structure Interaction Analysis for Structures Subjected to Earthquake Excitation*
A.Hamza TANRIKULU, Hüseyin R. YERLİ ..... 51

Çok Katlı Binaların Üç Boyutlu Statik Analizi İçin Bir Bilgisayar Programı
*A Computer Program for the Static Analysis of Three Dimensional Multi-Storey Building Frames*
Cengiz DÜNDAR, Bülent ŞAHİN ..... 61

Çukurova Bölgesindeki Yaylaların Genel Çevre Sorunları, Zorkun Yaylası Örneği
*The Environmental Problems of High Plateaus in Çukurova Region*
Yusuf GÜRÇINAR, Nilgün S.YÜCEER ..... 79

Dairesel Çubukların Düzlemine Dik Serbest Titreşimi
*Out-of-Plane Free Vibration of Circular Bars*
Vebil YILDIRIM, Gökhan ELBİR ..... 91

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**
**MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ**
**DERGİSİ**
*Çukurova Universty, Journal of Faculty of Engineering and Architecture*

**Sahibi**
Aziz ERTUNÇ
Çukurova Üniversitesi
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanı

**Editör**
Mesut ANIL

**YAYIN KURULU**

Mesut ANIL — Fikret İŞLER
Beşir ŞAHİN — Ziya Gökalp ALTUN
Recep YURTAL

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

İ.Deniz AKÇALI (Ç.Ü.) — Nur AKIN (İ.T.Ü.)
Ergin ARIOĞLU (İ.T.Ü.) — Orhan AKSOĞAN (Ç.Ü.)
Ahmet AYHAN (G.Y.T.E.) — Ergüzer BİNGÖL (Ç.Ü.)
A.Feyzi BİNGÖL (F.Ü.) — Baki CANİK (A.Ü.)
Cavit DEMİRKOL (Ç.Ü.) — İlhan ERHAN (M.S.Ü.)
Ayhan ERLER (O.D.T.Ü.) — Veysel EROĞLU (İ.T.Ü.)
Okay EROSKAY (İ.Ü.) — Aziz ERTUNÇ (Ç.Ü.)
Cahit HELVACI (D.E.Ü.) — O.Tuğrul GÖNCEL (Ç.Ü.)
M.Baki KARAMIŞ (E.Ü.) — Erdal KEREY (A.İ.B.U.)
Erhan KIRAL (Ç.Ü.) — Salih KIRKGÖZ (Ç.Ü.)
Erdem KOÇ (Ç.Ü.) — Engin MERİÇ (İ.Ü.)
Güven ONAL (İ.T.Ü.) — Işık ÖZPEKER (İ.T.Ü.)
Kazım PIHTILI (F.Ü.) — Senai SALTOĞLU (İ.T.Ü.)
Hamit SERBEST (Ç.Ü.) — Yusuf TATAR (F.Ü.)
Vedia TOKER ( A.Ü.) — Bedri TUÇ (G.Ü.)
İbrahim UZMAY (E.Ü.) — Servet YAMAN (Ç.Ü.)
Tahir YAVUZ (K.T.Ü.) — Cengiz YETİŞ (Ç.Ü.)
Yücel YILMAZ (İ.T.Ü.) — Tuncay YILMAZ (Ç.Ü.)

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

Tibet CEBESOY (Pamukkale Ü.) — Cengiz DÜNDAR (Ç.Ü.)
Gaye ERBATUR (Ç.Ü.) — Mehmet ERBİL (Ç.Ü.)
Hunay EVLİYA (Ç.Ü.) — Lütfullah GÜNDÜZ (S.D.Ü)
Mustafa LAMAN (Ç.Ü.) — Tuğrul OĞULATA (Ç.Ü.)
Kamil TANRIKULU (Ç.Ü.) — Seyhan TÜKEL (Ç.Ü.)
Paşa YAYLA (Kocaeli Ü.) — Ahmet YÜCEER (Ç.Ü.)

YAZIŞMA ADRESİ:
Ç.Ü.Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Dergi ve Yayın Kurulu Başkanlığı
01330 Balcalı/ADANA
Tel: (322) 338 63 57 Fax:(322) 338 61 26

Kait.
6.6.96

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ

ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT 10 SAYI 1-2 HAZİRAN-ARALIK 1995 ISSN 1019-1011
VOL NO JUNE-DECEMBER

## İÇİNDEKİLER *(CONTENTS)*

Radye Temel Analizi İçin Genel Amaçlı Bir Bilgisayar Programı
*A General Purpose Computer Program for the Analysis of Mat Foundations*
Süleyman KOÇAK, Yalçın MENGİ ..... 1

Çubuk Yöntemle Yapılan İnşaat İş Programlarının İşlevselliğini Artırıcı Şekilde Düzenlenmesine Yönelik Öneriler
*Some Suggestions for the Improvement of Efficiency of Construction Work Schedules by Ganit Charts*
M.Emin ÖCAL ..... 15

Nonlineer Sığ-Su Dalga Denklemlerinin Dalga Kırılması Problemine Uygulanması
*Application of Nonlinear Shallow Water Wave Equations to the Wave Breaking Problem*
M.Salih KIRKGÖZ, Zeliha SELEK ..... 25

Öngerilmeli Beton Kirişlerin Optimum Kesit Alanının Hesabı İçin Bir Formül
*A Formula for the Computation of Optimum Cross-Sectional Area of Prestressed Concrete Beams*
Cengiz DÜNDAR, İ.Hakkı ÇAĞATAY ..... 37

Deprem Etkisi Altındaki Yapılar İçin Yapı-Zemin Etkileşim Analizi
*Soil-Structure Interaction Analysis for Structures Subjected to Earthquake Excitation*
A.Hamza TANRIKULU, Hüseyin R. YERLİ ..... 51

Çok Katlı Binaların Üç Boyutlu Statik Analizi İçin Bir Bilgisayar Programı
*A Computer Program for the Static Analysis of Three Dimensional Multi-Storey Building Frames*
Cengiz DÜNDAR, Bülent ŞAHİN ..... 61

Çukurova Bölgesindeki Yaylaların Genel Çevre Sorunları, Zorkun Yaylası Örneği
*The Environmental Problems of High Plateaus in Çukurova Region*
Yusuf GÜRÇINAR, Nilgün S.YÜCEER ..... 79

Dairesel Çubukların Düzlemine Dik Serbest Titreşimi
*Out-of-Plane Free Vibration of Circular Bars*
Vebil YILDIRIM, Gökhan ELBİR ..... 91

Dairesel Çubukların Düzlemi İçindeki Serbest Titreşimi
*In Plane Free Vibration of Circular Bars*
Vebil YILDIRIM, Gökhan ELBİR ..... 103

Bilgisayar Destekli İşmili Tasarımı
*Computer Aided Design of Machine Tool Spindle*
Ali ÜNÜVAR ..... 115

Reküperatif Tip Eşanjörlerde Verim Ölçümü
*Measurement of Efficiency in Recuperative Type Heat Exchangers*
R.Tuğrul OĞULATA, Ayşe KÜÇÜK ..... 135

Sürgülü Yön Kontrol Valflerinde Viskoz Sürtünme Kuvvetleri
*Viskous Frictional Forces in Spool Type Directional Control Valves*
Erdem KOÇ, Emel Ceyhun SABIR ..... 147

CNC Torna Tezgahlarında Kesme Parametrelerinin
Teorik ve Deneysel Analizi
*Theoretical and Experimental Analysis of Cutting*
*Parameters on CNC Turning Machines*
Erdem KOÇ, Ertuğrul ÜNVER ..... 161

Effect of Ozonation on Biodegradability of Substituted Aromatic Compounds
*Ozonlamanın Susbtitue Aromatik Bileşiklerin Biyolojik*
*Parçalanabilirliklerine Etkisi*
Şermin GÜL, Osman SERİNDAĞ , Hamit BOZTEPE ..... 177

Toxicity Measurement of Sulphur Black 1, Sulphur Blue
and Sulphur Brown 5 Textile Dyes
*Sülfür Siyah, Sülfür Mavi ve Sülfür Kahverengi 5 Tekstil*
*Boyar Maddelerinin Toksisite Tayini*
Şermin GÜL, Selahattin SERİN ..... 185

Demir Korozyonu Üzerine Tiyoürenin İnhibitör Etkisi
*Inhibitor Action of Thiourea on Iron Corrosion*
Birgül YAZICI ..... 191

Sağkaya (Adana) Alanının Stratigrafisi
*Stratigraphy of the Sağkaya (Adana) Area*
Müzeyyen ŞEVKİN, Cengiz YETİŞ ..... 203

Sondaj Kuyularında Formasyon ve Sondaj Akışkanlarına Bağlı Görülen
Kuyu Sorunları, Yapılması Gereken İşlemler ve Yöntem Seçimi
*Problems to be Met at Drilling Well Depending on the Formation and*
*Drilling Mad and Towards the Select of Solution the These Problems*
Mesut TONÇER, Mesut ANIL ..... 211

Madencilikte Aydınlatmanın İş Güvenliği, İşçi Sağlığı ve Üretkenlik
Üzerindeki Etkisi
*The Effects of Mine Lighting on Safety, Health and Productivity*
M.Semih YÜKSEK, Gündüz ÖKTEN ..... 221

Afşin-Elbistan Linyit Havzasındaki Döner Kepçeli Ekskavatör-
Band Konveyör-Dökücü Sisteminde Yapılan İyileştirmeler
*The Improvement of the Bucket Wheel Excavator-Belt Conveyor-*
*Spreader System in Afşin-Elbistan Lignite Basin*
Suphi URAL, A.Hakkı GÜVEN, A.Hakan ONUR, Mesut ANIL ..... 233

Çukurova Bölgesinde Kullanılan İthal ve Yerli Kömürlerin Çevresel Etkileri
*Environmental Impacts of Import and Domestic Coal Utilisation in*
*Çukurova Region*
Suphi URAL, Mesut ANIL, A.Hakan ONUR, M.Semih YÜKSEK ,
Mehmet YILDIRIM, Oktay BAYAT, A. Hakkı GÜVEN ..... 251

ISSN 1019-1011

| Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ | | Haziran/Aralık | 1995 | Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH. | |
|---|---|---|---|---|---|
| *CİLT 10* | *SAYI 1-2* | June/December | | *VOL.10* | *NO.1-2* |


# RADYE TEMEL ANALİZİ İÇİN GENEL AMAÇLI BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI

**Süleyman KOÇAK**
*Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye*
**Yalçın MENGİ**
*O.D.T.Ü., Mühendislik Bilimleri Bölümü, Ankara / Türkiye*

**ÖZET** : *Bu çalışmada radye temellerin analizi için genel amaçlı bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Temel ve zemin arasındaki etkileşimin Winkler hipotezine uygun olduğu kabul edilmiştir. Program, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hazırlanmış olup, Winkler tipi elastik zemine oturan plak ve kiriş elemanlarını içermektedir. Program FORTRAN 77 dilinde yazılmıştır. Programın değerlendirilmesini yapabilmek için bazı örnek problemler çözülmüş ve sonuçlar programın temel analizinde güvenilir ve efektif bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.*

# A GENERAL PURPOSE COMPUTER PROGRAM FOR THE ANALYSIS OF MAT FOUNDATIONS

**ABSTRACT** : *A general purpose computer program is developed for the analysis of mat foundations. The interaction between the mat foundation and soil is taken into account by using Winkler hypothesis. The program is based on the finite element formulation of mat foundations and uses two types of elements: one for plates and the other for beams, both resting on a Winkler foundation. The program is written in FORTRAN 77. To assess the computer program, some examples are considered and it is found that the program can be used reliably and effectively in the analysis of foundations.*

## 1.GİRİŞ

Temeller, üstyapıdan gelen yüklere ve zemin özelliklerine bağlı olarak çeşitli şekillerde düzenlenebilirler (tekil, mütemadi, ızgara, radye vb.). Bu temel çeşitleri arasında, analizi daha karmaşık ve zor olan radye temeller, inşaat mühendisliğinin önemli konularından birisidir.

Bu çalışmada, radye temellerin analizi için genel amaçlı bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Radye temelin formülasyonunda temel ile zemin arasındaki etkileşimin Winkler hipotezine uygun olduğu, yani temelin herhangi bir noktasındaki çökmenin o noktadaki taban basıncı ile orantılı olduğu, kabul edilmiştir (1). Radye temeli oluşturan plak ve kiriş elemanlarının formülasyonunda sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Temelin davranışını ifade eden sistem denklemleri, plak ve kiriş elemanları düğüm noktalarında denge denklemleri ve uygunluk şartları sağlanacak şekilde kodlama tekniği ile birleştirilerek bulunmuştur.

Bilgisayar programı FORTRAN 77 dilinde yazılmıştır. Girdi dosyasının hazırlanmasını kısaltan değişik data türetme imkanları mevcuttur. Çıktı dosyası kullanıcı tarafından kolay anlaşılabilir ve yorumlanabilir bir şekilde düzenlenmiştir.

## 2. RADYE TEMELİN FORMÜLASYONU

Daha önce belirtildiği üzere bu çalışmanın amacı radye temeller için bir bilgisayar yazılımı geliştirmektir. Radye temel formülasyonu deplasmanları bilinmeyen kabul eden sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılacaktır. Sonlu elemanlar yöntemi ile ilgili bilgiler birçok standart kitapta bulunabilir (2,3). Sonlu elemanlar yöntemini zemine oturan plak ve kiriş elemanlarından oluşan radye temelin analizine uygulayabilmek için şu adımların izlenmesi gerekir: (i) zemine oturan plak ve çubuk elemanları için eleman rijitlik matrisi ve yük vektörünün bulunması (ii) plak ve çubuk elemanlarının, düğüm noktalarında uygunluk şartları ve denge denklemi sağlanacak şekilde kodlama tekniği kullanılarak birleştirilmesi (iii) sistem denkleminin deplasmanlar için çözülmesi ve plak ve çubuk elemanları için eleman kuvvetlerinin hesaplanması.

Yukarıda sözü edilen analizde aşağıdaki basitleştirici kabuller yapılmıştır.

**1.** Plak ve çubuk malzemeleri elastik, doğrusal, homojen ve izotroptur.

**2.** Plak ve çubuk davranışları için klasik plak ve çubuk teorileri kullanılmaktadır (4,5).

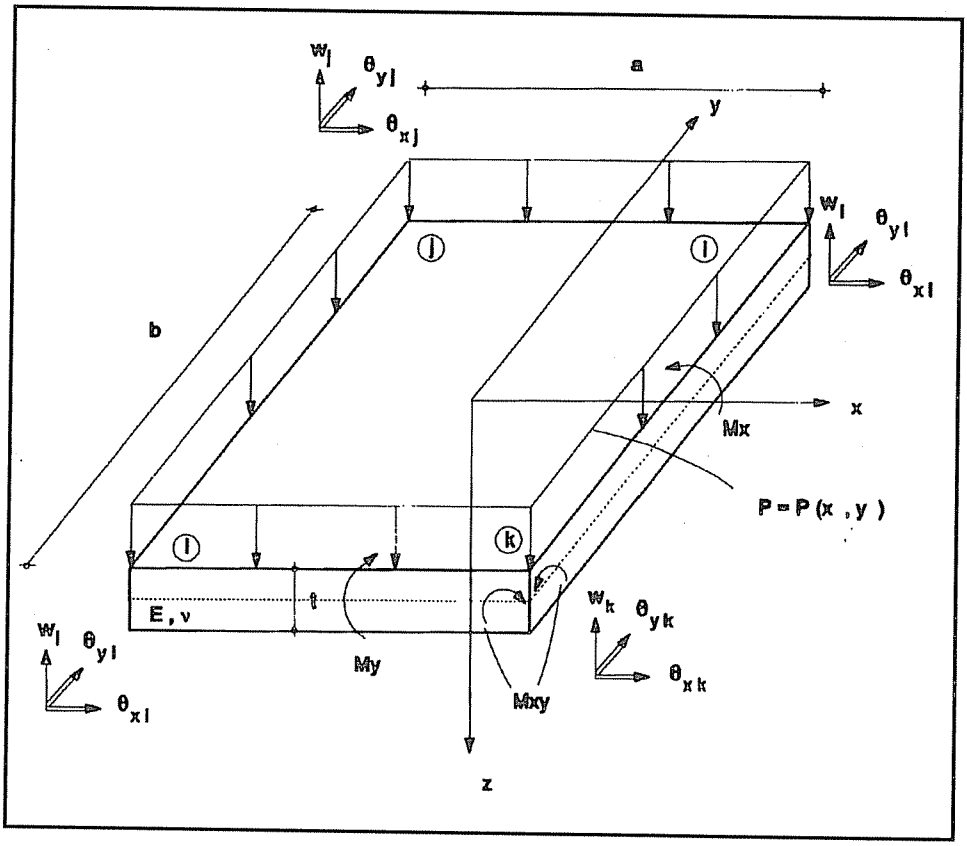
**3.** Zemin davranışı Winkler hipotezine uymaktadır; yani, plak veya çubuğun bir noktasının altındaki zemin tepkisi o noktadaki deplasmanla orantılıdır. Bu orantılık katsayısına literatürde yatak katsayısı ismi verilmektedir (6).

**4.** Çubuk elemanları birbirine dik veya paraleldir. Dolayısıyla çubuklar arasında kalan plak parçaları dikdörtgendir.

**5.** Plak orta düzlemi ile çubuk eksenlerinin çakıştığı, yani düzleme dik yönde bir eksantrisitenin olmadığı kabul edilmektedir.

## 2.1. Elastik Zemine Oturan Plak Elemanları İçin Sonlu Elemanlar Formülasyonu

Yukarıda bahsedildiği gibi bu çalışmada plak elemanı dikdörtgen olarak alınmıştır (bak.Şekil-1). Plak elemanı xyz yerel koordinat takımına kıyaslanmıştır. xy düzlemi, plak orta düzlemi ile çakışmaktadır ve x ve y eksenleri plak elemanının kenarlarına paraleldir. Plağın x yönündeki uzunluğu a ve y yönündeki uzunluğu ise b dir. Plak kalınlığı t , plak malzemesinin elastisite modülü E ve Poisson oranı ν dür. Plak köşeleri şekildeki gibi i, j, k, l harfleri ile gösterilmiştir. Şekilde Mx, My, Mxy birim genişliğe




**Şekil 1.** Dikdörtgen plak elemanı.

etkiyen plak momentlerini göstermektedir. Plak düşey z yönünde P yayılı yüküne maruzdur. Burada P yükünün hem plağa doğrudan etki eden düşey yayılı yükü "p" yi hem de zeminden gelen tepkiyi içerdiğine dikkat etmekte yarar vardır. Bu durum daha sonra zemin rijitliğinin eleman rijitlik matrisine katkısını hesap ederken gözönüne alınacaktır. Zeminden gelen tepki için Winkler hipotezi kullanılırsa, toplam P yayılı yükü için;

$$P=p-Kw \tag{1}$$

ifadesi yazılabilir. (1) denkleminde K yatak katsayısını, w düşey deplasmanı (pozitif yönü aşağı olmak üzere) göstermektedir. Şekil-1'deki plağın dört düğüm noktasının herbiri üç serbestlik derecesine sahiptir. Bu serbestlik dereceleri bir düşey deplasman, w, ve x ve y eksenleri etrafında iki dönme, $\theta_x$ ve $\theta_y$ den ibarettir.

Plak elemanı için;

$$\bar{x}=\frac{2x}{a}\,;\,\bar{y}=\frac{2y}{b} \tag{2}$$

dönüşümü yapılarak, klasik plak teorisi ve (1) denklemi ile verilen plak elemanına etki eden kuvvet ifadesi ışığı altında, virtüel iş prensibi yazılır ve literatürde izlenen standart sonlu elemanlar işlemleri yapılırsa, plak elemanı rijitlik matrisi $\underline{k}$ ve yük vektörü $\underline{f}$

$$\underline{k}=\frac{ab}{4}\left(\underline{C}^{-1}\right)^T\left[\int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1}\underline{H}^T\,\underline{D}^*\,\underline{H}\,d\bar{x}\,d\bar{y}\right]\underline{C}^{-1}+\frac{ab}{4}\left(\underline{C}^{-1}\right)^T\left[\int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1}K\,\underline{P}\,\underline{P}^T\,d\bar{x}\,d\bar{y}\right]\underline{C}^{-1}$$
$$\underline{f}=\frac{ab}{4}\left(\underline{C}^{-1}\right)^T\left[\int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1}p\,\underline{P}\,d\bar{x}\,d\bar{y}\right] \tag{3}$$

olarak elde edilebilir. Burada $\underline{k}$ ifadesinin birinci ve ikinci terimleri sırası ile plak ve zemin rijitliğinin eleman rijitlik matrisine katkısını göstermektedir. (3) denklemi

$$\underline{U}=\begin{bmatrix}\underline{U}_i\\ \underline{U}_j\\ \underline{U}_k\\ \underline{U}_l\end{bmatrix},\qquad \underline{U}_m=\begin{bmatrix}w_m\\ \theta_{xm}\\ \theta_{ym}\end{bmatrix}\quad (m=i,j,k,l) \tag{4}$$

ile tanımlanan plak elemanı köşe noktası deplasmanlarına bağlantılı olarak verilmiş olup

$$\underline{C}=\begin{bmatrix}\underline{C}_i\\ \underline{C}_j\\ \underline{C}_k\\ \underline{C}_l\end{bmatrix},\quad \underline{C}_m=\begin{bmatrix}-\underline{P}^T\\ -\frac{2}{b}\frac{\partial\underline{P}_m^T}{\partial\bar{y}}\\ -\frac{2}{a}\frac{\partial\underline{P}_m^T}{\partial\bar{x}}\end{bmatrix}\quad (m=i,j,k,l) \tag{5a}$$

$$\underline{H} = -\begin{bmatrix} \frac{4}{a^2}\frac{\partial^2 \underline{P}^T}{\partial \bar{x}^2} \\ \frac{4}{b^2}\frac{\partial^2 \underline{P}^T}{\partial \bar{y}^2} \\ \frac{4}{ab}\frac{\partial^2 \underline{P}^T}{\partial \bar{x}\,\partial \bar{y}} \end{bmatrix} \tag{5b}$$

$$\underline{D}^* = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}\begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \tag{5c}$$

tarifleri kullanılmıştır. Denklem (3) ve (5) de görülen $\underline{P}$ şekil fonksiyonu

$$\underline{P}^T = \begin{bmatrix} 1 & \bar{x} & \bar{y} & \bar{x}^2 & \bar{x}\bar{y} & \bar{y}^2 & \bar{x}^3 & \bar{x}^2\bar{y} & \bar{x}\bar{y}^2 & \bar{y}^3 & \bar{x}^3\bar{y} & \bar{x}\bar{y}^3 \end{bmatrix} \tag{6}$$

ile verilmektedir. Plak elemanı köşe noktalarında tanımlanan momentler için ise

$$\underline{M}^* = \underline{D}_M \underline{U} \tag{7}$$

ifadesi yazılabilir. Burada $\underline{D}_M$ moment matrisini göstermekte olup

$$\underline{M} = \begin{bmatrix} \underline{M}_i \\ \underline{M}_j \\ \underline{M}_k \\ \underline{M}_l \end{bmatrix}, \quad \underline{M}_m = \begin{bmatrix} Mx_m \\ My_m \\ Mxy_m \end{bmatrix} \quad (m = i,j,k,l)$$

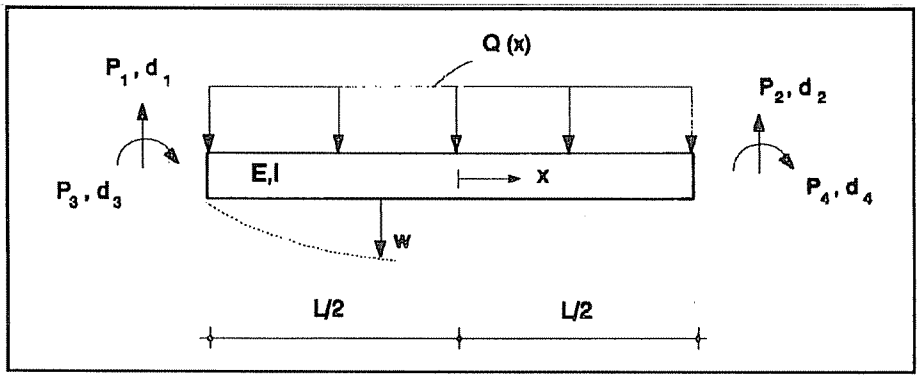
$$\underline{D}_M = \begin{bmatrix} \underline{D}^* \underline{H}_i \\ \underline{D}^* \underline{H}_j \\ \underline{D}^* \underline{H}_k \\ \underline{D}^* \underline{H}_l \end{bmatrix} \underline{C}^{-1} \tag{8}$$

tarifleri kullanılmıştır. Denklem (8) de Mx, My ve Mxy momentleri plak birim genişliği için tariflenmiştir. 4, 5, 7 ve 8 denklemlerinde alt indis, ilgili büyüklüğün plak elemanının hangi köşesinde tariflendiğini göstermektedir.

(3) denkleminde görülen çift katlı integral işlemleri Gauss integral yöntemi ile hesaplanabilir; ancak, bu integrallerin kapalı formda elde edilmesi de mümkündür (3). Bu çalışmada geliştirilen bilgisayar programında rijitlik matrisi $\underline{k}$ ve yük vektörü $\underline{f}$ nin hesabı için (3) de verilen kapalı formdaki ifadeler kullanılmıştır.

## 2.2 Elastik Zemine Oturan Kiriş Elemanları İçin Sonlu Elemanlar Formülasyonu

Bu bölümde Winkler hipotezi ile modellenen elastik zemine oturan bir kiriş elemanı için eleman denklemleri elde edilmiştir. Elastik zemine oturan ve uzunluğu "L" olan tipik bir kiriş elemanı Şekil-2'de görülmektedir. Şekilde aynı zamanda elemana ait eleman uç kuvvetleri $P_i$ (i=1-4) ve deplasmanları $d_i$ (i=1-4) nin pozitif yönleri gösterilmiştir. Kirişin elastisite modülü E ve kesit atalet momenti I dır. w ise kirişin düşey deplasmanıdır. Kiriş elemanı Q yayılı yüküne maruzdur. Plak elemanında




**Şekil 2.** Elastik zemine oturan kiriş elemanı.

olduğu gibi bu elemanda da zemin tepkisi için Winkler hipotezi kullanılırsa, kiriş elemanına etkiyen yük

$$Q= q-kw \tag{9}$$

ifadesi ile verilebilir. (9) denkleminde

$$k= c\,K \tag{10}$$

ile tanımlanan "k" çubuk zemin katsayısını, q elemana doğrudan etkiyen yayılı kuvveti, kw ifadesi zemin tepkisini göstermektedir. Denklem (10) da "c", kirişin zemine oturan kısmının genişliğini temsil etmektedir.

Kiriş elemanı için

$$\bar{x} = \frac{2x}{L} \tag{11}$$

dönüşümü yapılarak klasik plak teorisi ve (9) denklemi ile verilen kiriş elemanına etki eden kuvvet ifadesi ışığı altında, virtüel iş prensibi yazılır ve literatürde izlenen standart sonlu elemanlar işlemleri yapılırsa, kiriş elemanı rijitlik matrisi $\underline{k}$ ve yük vektörü $\underline{f}$

$$\underline{k} = \left(\frac{2}{L}\right)^3 \int_{-1}^{1} EI\, \partial_{\bar{x}\bar{x}} \underline{N}\, \partial_{\bar{x}\bar{x}} \underline{N}^T d\bar{x} + \frac{L}{2} \int_{-1}^{1} k\, \underline{N}\, \underline{N}^T d\bar{x}$$

$$\underline{f} = \frac{L}{2} \int_{-1}^{1} q\, \underline{N}\, d\bar{x} \tag{12}$$

olarak elde edilebilir. (12) denkleminde $\underline{k}$ ifadesinin birinci ve ikinci terimleri sırası ile kiriş ve zemin rijitliğinin eleman rijitlik matrislerine katkılarını göstermektedir. Denklem (12) kiriş elemanı köşe noktası deplasmanları $d_i$ (i=1,4) ve uç kuvvetleri $P_i$ (i=1,4) için verilmekte olup

$$\underline{N} = \left(\underline{C}^{-1}\right)^T \underline{P} \tag{13}$$

tarifi kullanılmıştır. (13) denkleminde, $\underline{C}$ matrisi

$$\underline{C} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & \frac{2}{L} & \frac{-4}{L} & \frac{6}{L} \\ 0 & \frac{2}{L} & \frac{4}{L} & \frac{6}{L} \end{bmatrix} \tag{14}$$

ifadesi ile ve şekil fonksiyonu vektörü $\underline{P}$ ise

$$\underline{P} = \left[1 \;\; \bar{x} \;\; \bar{x}^2 \;\; \bar{x}^3\right]^T \tag{15}$$

ile tanımlanmaktadır. Şekil (2) de verilen kiriş elemanının burulması ile ilgili rijitlik ifadeleri literatürden alınmıştır (7).

### 2.3 Plak ve Kiriş Elemanlarının Kodlama Tekniği ile Birleştirilmesi

Daha önce de belirtildiği gibi sistemi oluşturan plak ve kiriş elemanları, birleşim yerlerindeki (düğüm noktalarındaki) uygunluk şartları ve denge denklemleri sağlanacak

şekilde, kodlama tekniği ile birleştirilmiştir. Plak ve çubukları kodlama tekniği ile birleştirebilmek için plak elemanı köşe noktalarındaki deplasman yönleri ile çubuk elemanı uç noktalarındaki deplasman yönlerinin uyumlu olması gerekmektedir. Pozitif deplasman yönleri, plak elemanı için Şekil-1'de ve çubuk elemanı için ise Şekil-2'de gösterilmiştir. Deplasman yönleri uyumlu olan plak ve çubuk elemanları kodlama ile birleştirilerek, radye temel davranışını ifade eden sistem denklemi elde edilebilir. Kodlama yöntemi sonlu elemanlar metodu ile ilgili herhangi bir standart kitapta bulunduğundan (7) bu yöntem burada tartışılmayacaktır. Kodlama sonucu sistem denklemi

$$\underline{P} = \underline{K}\,\underline{D} \tag{16}$$

olarak elde edilir.

Bu denklemde $\underline{P}$, n boyutlu sistem yük vektörünü; $\underline{K}$, (n x n) boyutlu sistem rijitlik matrisini; $\underline{D}$, n boyutlu sistem deplasmanları vektörünü göstermektedir (n: sistem serbestlik derecesi).

(16) denklemi bilinmeyen deplasmanlar $D_m$ (m=1-n) için çözüldükten sonra, eleman kod numaraları kullanılarak plak eleman momentleri ve kiriş eleman kuvvetleri hesap edilebilir.

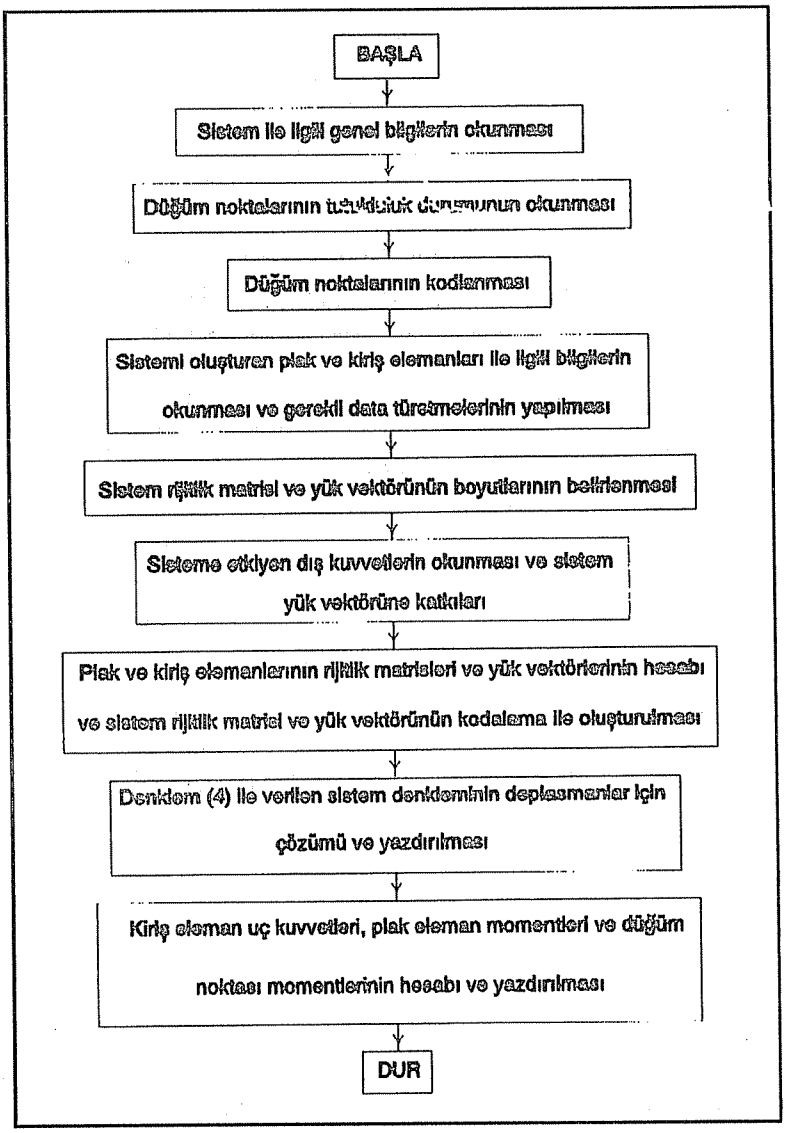
### 3. Bilgisayar Programı

Bu çalışmada, daha önceki bölümlerde anlatılan temel formülasyonlar kullanılarak Winkler tipi elastik zemine oturan radye temellerin analizini yapan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Program ile birbirine dik veya paralel kirişler ve bu kirişler arasında kalan dikdörtgen plak elemanlarından oluşan sistemlerin analizi yapılabilir.

Program ile elastik zemine oturan radye temellerin yanısıra ızgara, mütemadi ve tekil temel analizi de yapılabilmektedir. Aynı zamanda zemine ait K yatak katsayısı sıfır verilerek kirişli döşeme analizi de yapmak mümkündür.

Program girdi dosyası ile çalışmakta olup çeşitli data türetme imkanlarına sahiptir. Girdi dosyası hazırlanmasında hata yapılmış ise programın çalışması kesilmekte ve hatanın nerede olduğu kullanıcıya bildirilmektedir.

Program analiz sonunda, isimleri girdi dosyası ile aynı ve uzantıları "SYS" ve "OUT" olan iki dosya türetmektedir. "SYS" uzantılı dosya, analizi yapılan sistem ile ilgili olarak girdi dosyasından okunan ve gerekli data türetmeleri sonucu elde edilen bilgileri içermektedir. "OUT" uzantılı dosyada analiz sonucu hesaplanan düğüm noktaları deplasman ve dönmeleri, kiriş eleman uç kuvvetleri, plak eleman momentleri ve düğüm noktaları momentleri bulunmaktadır. Şekil-3'de programın genel akış diyagramı görülmektedir.




**Şekil 3.** Programın genel akış diyagramı.

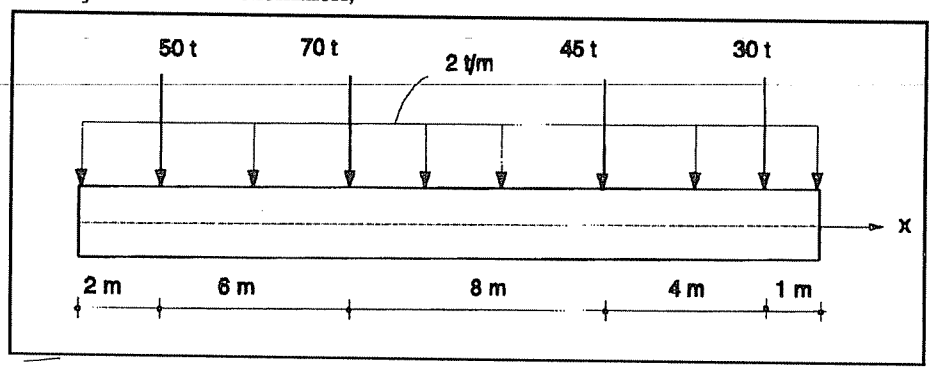
## 3. ÖRNEKLER

Geliştirilen bilgisayar programı ile çeşitli sistemlerin analizi yapılmıştır. Karşılaştırma yapabilmek için bu sistemler SAP80 (8) ile de çözülmüştür. Anlatımı kolaylaştırmak için, geliştirilen bilgisayar programı "RADYE" ismi ile anılacaktır. Bilindiği gibi yatak katsayısı (K) sıfır alınarak RADYE programı ile zemine oturmayan kiriş ve döşeme sistemlerinin analizi yapılabilmektedir. Programı kontrol etmek amacıyla K=0

olması hali için çeşitli örnek problemler hem RADYE hem de SAP80 ile çözülmüş ve sonuçların aynı olduğu görülmüştür. Çalışmanın uzunluğu nedeni ile bu kısımda biri sürekli biri radye olmak üzere temel analizi ile ilgili iki örnek üzerinde durulacaktır.

**ÖRNEK 1**

Şekil-4'de görülen mütemadi kirişin, elastik zemine oturduğu kabul edilmiştir. Sistemin düğüm noktalarındaki düşey deplasman ve dönmeler serbesttir. Ancak, yüklemenin y yönünde (şekil düzlemine dik yönde) simetrik olması nedeni ile sistemin burulma dönmelerine maruz kalmayacağı açıktır. Dolayısı ile analizde bu dönmeler tutulmuştur. Sistemin özellikleri,



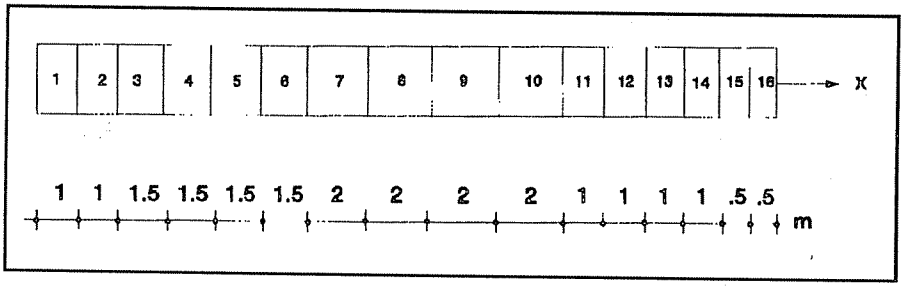

**Şekil 4.** Örnek-1'de gözönüne alınan elastik zemine oturan mütemadi kiriş.

$E = 2 \times 10^6$ t/m$^2$ , K=20000 t/m$^3$ , $\nu = 0.15$

Kiriş kesiti: 0.6m x 0.8m (taban genişliği = 0.6m)

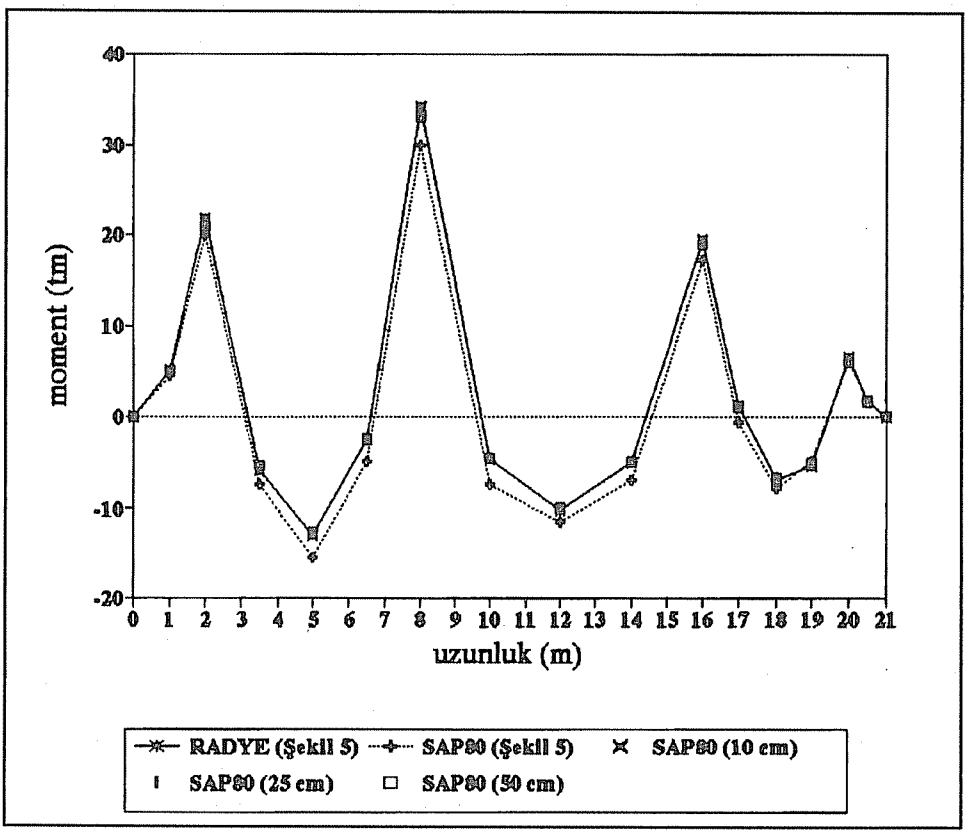
olarak verilmiştir.

Bu sistemin analizi, RADYE ve mütemadi kiriş altına ayrık yaylar yerleştirilerek SAP80 ile yapılmıştır. RADYE ile yapılan analizde kullanılan bölümlere ayrılmış kiriş Şekil-5'de görülmektedir. SAP80 ile mütemadi kirişin altına uzunluğu boyunca




**Şekil 5.** Bölümlere ayrılmış mütemadi kiriş.

10, 25 ve 50 cm aralıklarla ayrık yaylar yerleştirilerek analiz yapılmış ve elde edilen sonuçlar RADYE sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Şekil-6'da RADYE ve SAP80 ile yapılan analiz sonucu elde edilen mütemadi kiriş moment diyagramı görülmektedir.




**Şekil 6.** RADYE ve SAP80 ile yapılan analiz sonucu elde edilen mütemadi kiriş moment diyagramı.

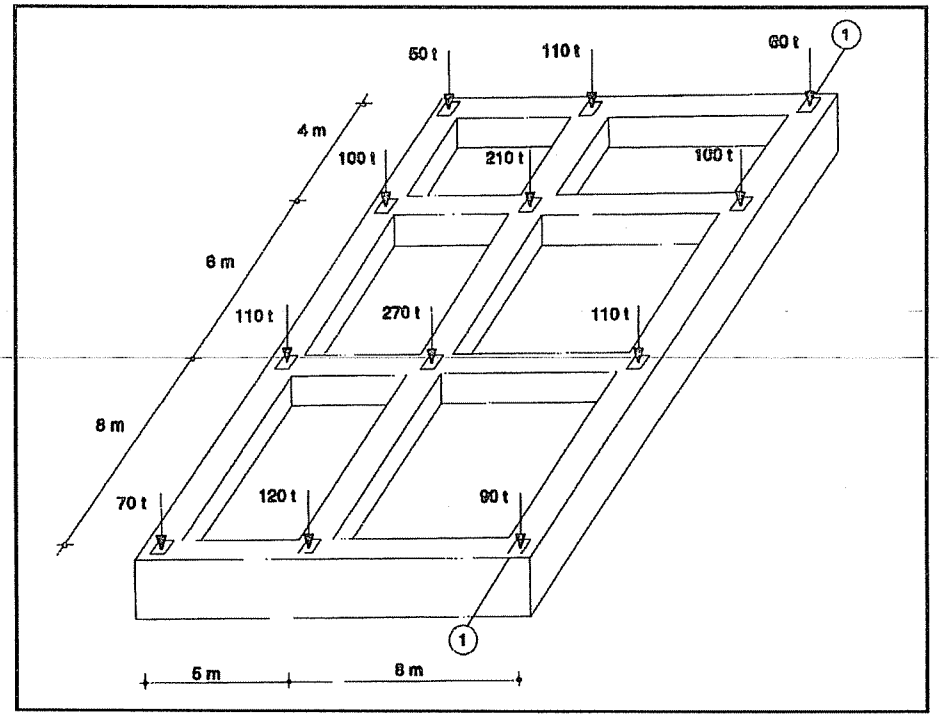
**ÖRNEK 2**

Şekil-7'de görülen kiriş ve plak elemanlarından oluşan radye temelin elastik zemine oturduğu kabul edilmiştir. Sistemin düğüm noktalarındaki düşey deplasman ve dönmeler serbesttir. Sistem ile ilgili özellikler

$t = 0.3m$ , $E = 2 \times 10^6$ t/m$^2$ , $K = 10000$ t/m$^3$ , $\nu = 0.15$
$p = 2.72$ t/m$^2$ (plaklar için) , $q = 1.152$ t/m (kirişler için)
Kiriş kesiti: 0.60 m x 0.80 m (taban genişligi=0.6m)

olarak verilmiştir.

Bu sistemin analizi, açıklıkların her iki doğrultuda dört ve sekiz bölüme ayrılması durumlarında RADYE ile ve düğüm noktalarına ayrık yaylar yerleştirilerek SAP80 ile




**Şekil 7.** Örnek 2'de gözönüne alınan elastik zemine oturmuş kirişli radye temel.

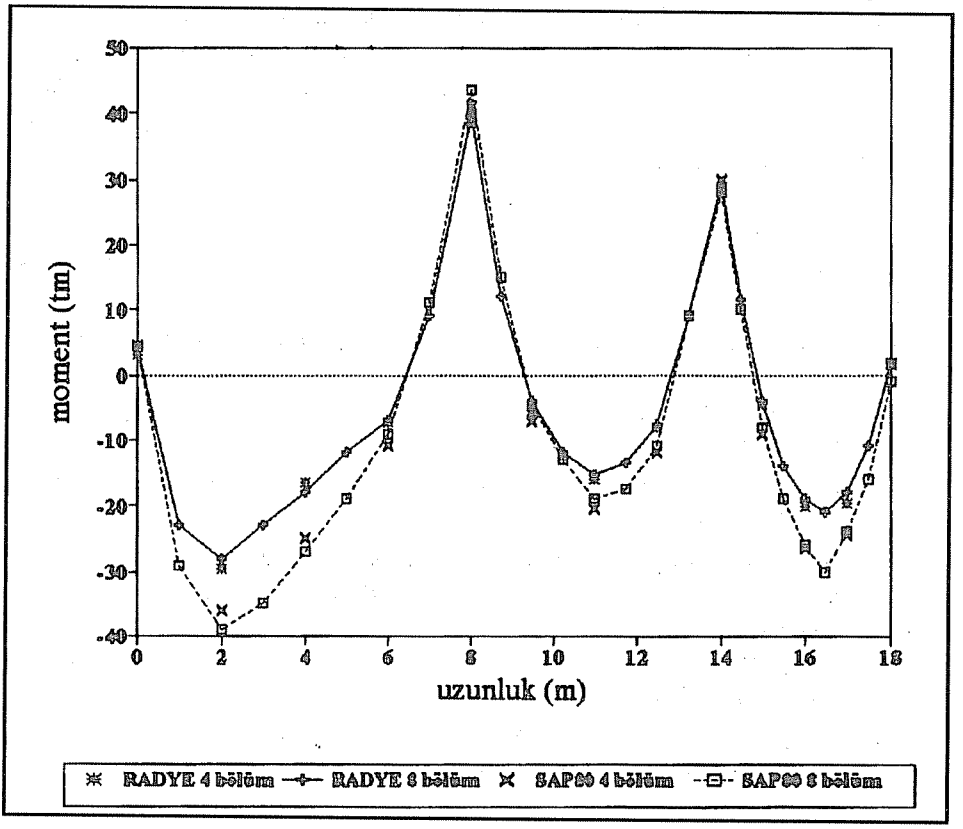
yapılmıştır. Açıklıkların dört ve sekiz bölüme ayrılması durumlarında RADYE ve SAP80 ile yapılan analiz sonuçlarında elde edilen 1-1 aksı kirişi eğilme momenti diyagramı Şekil-8'de verilmiştir.

## 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu bölümde, Bölüm (3) de sunulan örneklerin sonuçları tartışılacak ve bu çalışmada geliştirilen RADYE isimli programın değerlendirilmesi yapılacaktır.

Örnek 1'de elastik zemine oturan bir mütemadi temelin, RADYE ve düğüm noktalarına ayrık yaylar yerleştirilerek SAP80 ile analizi yapılmış ve elde edilen moment diyagramları Şekil-6'da karşılaştırılmıştır. Şekil-6'dan görüleceği üzere SAP80 sonuçları, ayrık yay aralıkları azaldıkça RADYE sonuçlarına yaklaşmaktadır. Dolayısı ile SAP80 bilgisayar programı kullanılarak sağlıklı bir sonuç elde edebilmek için bölüm sayısını büyük tutmak gerekmektedir. Bu ise SAP80 yardımı ile yapılan temel analizlerinde hesap yükünün artmasına neden olur. Ayrıca, temel analizinin

SAP80 yardımı ile yapılması halinde, ön hazırlık yapmak ve girdi dosyası hazırlanmasından önce ayrık yay sabitlerini hesaplamak gerekir. Bu durum ise SAP80 bilgisayar programının temel analizlerinde sistematik olarak kullanılmasını engeller.




**Şekil 8.** Radye ve SAP80 ile yapılan analiz sonucu elde edilen 1-1 aksı kirişi moment diyagramı.

Örnek 2'de elastik zemine oturan bir radye temelin analizi iki farklı bölüm sayısı kullanılarak RADYE ve ayrık yaylar kullanılarak SAP80 ile yapılmış ve 1-1 aksı kirişi (bak. Şekil-7) eğilme momenti diyagramı Şekil-8'de karşılaştırılmıştır. Bu şekillerden görüleceği üzere RADYE ve SAP80 analiz sonuçları birbirinden farklıdır. Ancak, SAP80 sonuçları, RADYE sonuçlarına, bölüm sayısı arttıkça yaklaşma eğilimi göstermektedir. SAP80 bilgisayar programının temel analizinde kullanılması ile ilgili olarak Örnek 1'de belirtilen sakıncalar bu örnekte de aynen geçerlidir.

Şimdi de RADYE bilgisayar programının bazı özellikleri özetlenecektir. RADYE programı ile radye temel analizini sistematik olarak yapmak ve pratikte kullanılan

yöntemlerdeki kabullerden (temelin zemine göre esnek veya rijit kabul edilmesi, kolon yüklerinin temel kirişlerine dağıtılması gibi) ve ön hazırlık yapmaktan kurtulmak mümkündür. RADYE bilgisayar programı, radye temel analizinde, literatürde mevcut olan SAP80 gibi yapı analizi programlarına göre daha etkin bir şekilde kullanılabilir. Çünkü bu mevcut programlar elastik zemine oturan elemanları içermemekte ve dolayısı ile, temel analizinde kullanılabilmeleri için girdi dosyasının hazırlanmasından önce, ayrık yay sabitlerinin hesap edilmesi ve sağlıklı bir sonuç elde edebilmek için de bölüm sayısını büyük tutmak gerekmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

1. *Kany, M., Yüzeysel Temellerin Hesap Metodları, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul, 1967.*

2. *Cook, R.D., Concepts and Application of Finite Element Analysis, John Wiley and Sons, Kanada, 1974.*

3. *Zienkiewizc, O.C., The Finite Element Method in Engineering Science, McGraw-Hill, London, 1971.*

4. *Timoshenko, S. ve Woinowsky-Krieger, S., Theory of Plates and Shells, McGraw-Hill, New York, 1958.*

5. *Ghali, A.ve Neville, A.M., Structural Analysis, Chapman and Hall, London, 1978.*

6. *Köseoğlu, S., Temeller Statiği ve Konstrüksiyonu 2, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1986.*

7. *Dündar, C., Kıral, E. ve Mengi, Y., Yapı Mekaniğinde Bilgisayar Programları, Teknik Yayınevi, Ankara, 1986.*

8. *Wilson, E.L., Habibullah, A., SAP80-Structural Analysis Programs, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, 1984.*

ISSN 1019-1011

Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ Haziran/Aralık 1995 Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH.
*CİLT 10* *SAYI 1-2* June/December *VOL.10* *NO.1-2*

# ÇUBUK YÖNTEMLE YAPILAN İNŞAAT İŞ PROGRAMLARININ İŞLEVSELLİĞİNİ ARTIRICI ŞEKİLDE DÜZENLENMESİNE YÖNELİK ÖNERİLER

**M.Emin ÖCAL**
*Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye*

**ÖZET :** *Çubuk iş programları, hazırlanma ve izlenmeleri kolay olduğundan, halen Türkiye'de yaygın kullanılmaktadırlar. Ancak, mevcut düzenlenme şekilleri ile daha çok süresel programlama işlevi görmekte olup, proje sürecinde kullanılacak parasal kaynağın programlanması ve izlenmesi konusunda yetersiz kalmaktadırlar. Bu çalışmada, çubuk iş programlarının planlanma ve denetim aracı olarak etkinliklerini artıracak şekilde düzenlenmelerine yönelik öneriler sunulmuştur.*

# SOME SUGGESTIONS FOR THE IMPROVEMENT OF EEFICIENCY OF CONSTRUCTION WORK SCHEDULES BY GANTT CHARTS

**ABSTRACT :** *Work schedules in the form of Gantt charts are widely used in Turkey on account of their being both easy to prepare and to implement during operations. In their present form, they are mainly oriented towards planning and programming of the work activities. However, these charts are not very effective for initial programming and operation-time management of the financial resources to be used for the fullfillment of the project. In this study, some suggestions are made for modification of the work schedules in form of bar charts so as to improve the efficiency of their being used as means of both initial planning and operation-time control.*

## 1. GİRİŞ

Gantt şeması veya Gantt Diyagramı olarak da anılan çubuk iş programları esas itirabiyle süresel planlama ve denetim amacıyla geliştirilmişlerdir (1, 2). Ancak, iş programında yeralan faaliyet süreleri projede kullanılması öngörülen kaynakların çeşidi ve miktarı gözönünde tutularak belirlendiğinden, süresel kestirimlerin gerçekleşebilirliği, tutarlı bir kaynak planlanmasının hazırlanması ve uygulanmasına bağlı olmaktadır. Bu nedenle, özellikle yapı üretiminde kullanılan çubuk iş programlarını, süresel planlama ile birlikte, öngörülen iş hızına uyumlu kaynak kullanım düzeyini de yansıtacak şekilde düzenleme eğilimi yaygınlaşmış ve "faaliyet süresi-kaynak kullanımı" ilişkisinin ifade edilmesi ile ilgili çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (3). Çubuk iş programı, ülkemizde, küçük ve orta büyüklükteki yapı projelerinin yönetiminde halen kullanılmakta olan yegane planlama ve denetim aracı durumundadır (4). Yaygın kullanılış şekli ile, işlerin proje takvimi içindeki yeri ve sırası ile birlikte, kaynak kullanım programı da verilmektedir. Kaynak kullanım programı, projede kullanılacak çeşitli nitelikteki kaynakların parasal değeri ve bunun proje süresince kullanım düzeyini rakamsal ve grafik olarak yansıtacak biçimde düzenlenmektedir. Ancak, "Nakit Akış Grafiği" ya da "Bedel Grafiği" olarak da anılan kaynak kullanım programı, düzenlenmesinde kullanılan kabul ve yöntemlerin yetersizliği nedeniyle, uygulama aşamasında meydana gelecek değişikliklerin sağlıklı bir biçimde izlenmesine ve nedenlerinin yorumlanmasına olanak vermemektedir. Bunun sonucu olarak da, uygulamaya konulduktan kısa bir süre sonra, çubuk iş programları, özellikle kaynak kullanımı konusundaki öngörüleri bakımından güncellik ve geçerliliklerini yitirmektedirler. Bu çalışmada, çubuk iş programlarının kaynak planlaması ve denetimi bakımından da etkinliğini artırmak amacıyla, bu programların önemli bir bölümünü teşkil eden nakit akış diyagramının teşkiline ve uygulama aşamasındaki değişikliklerin daha pratik ve gerçekçi bir şekilde programa yansıtılabilmesine yönelik öneriler sunulmuş bulunmaktadır. Önerilen düzenleme şekli, "Yapı Projelerinde Kullanılan Kaynakların Planlama ve Kontrolünde şebeke Analizi ve Çubuk Diyagrama Dayalı Karma Bir Model Önerisi ve Uygulaması (5)" adı altında ve gerçek uygulama koşullarında yürütülen bir çalışmada ulaşılan sonuçlar göz önünde tutularak oluşturulmuş bulunmaktadır.

## 2. PROGRAMIN ANA BÖLÜMLERİ

İş programının proje tanımlama, iş tanımlama, üretim takvimi, nakit akışı tablosu ve ödeme grafiği bölümlerinden oluşması öngörülmüştür. (Ek:1)

### 2.1. Proje Tanımlama Bölümü

Bu bölümde işin, adı, keşif bedeli, ihale tenzilatı, başlama tarihi, sahibi, yüklenicisi gibi projeyi tanımlayıcı bilgiler verilmektedir (Ek:2-A)

### 2.2. İş Tanımlama Bölümü

Bu bölüme, tanımlanan iş çeşit ve gruplarının, birim fiyat numarası, planlanan gerçekleşme süresi, önkeşif tutarı ve toplam önkeşif bedeline oranı işlenmektedir (Ek:2-B). Birim fiyat numarası, örneğin, kazı, kalıp, kalıplamalar gibi kendi içinde farklı nitelikli alt gruplar içeren işlerde bu alt grupları tanımlayabilmek ve buna dayalı olarak her bir iş grubunun ön keşif tutarını keşif özet cetvelinden ayıklayabilmek amacıyla verilmektedir.

Süre sütununa, proje sürecinde her bir işin gerçekleştirilmesi için harcanacak toplam süre yazılmaktadır. Beton kür süresi, ayrıca kaynak kullanımı gerektirmemesine rağmen, kendisinden sonra gelen işlerin başlamasını etkileyeceğinden, beton işleri süresine ilave edilmektedir. Önemli mirtarda kaynak kullanımı gerektirmesi nedeniyle ayrı bir iş grubu olarak tanımlanan taşımalar, kısa fasıllarla, ancak, proje süresince sık tekrarlanan faliyet olmaları nedeniyle, sürekli bir faaliyet gibi gösterilmekte ve süre kestiriminde bulunulmamaktadır. "Diğer İlaveler" olarak ayrılan satır, uygulama aşamasında ve gerçekleşen nakit akışının belirlenmesi amacıyla kullanılacağından, planlama aşamasında bu satıra herhangi bir bilgi işlenmemektedir.

İş gruplarının önkeşif bedeli, keşif özet cetvelinde ilgili iş kalemleri için öngörülen değerlerin toplanması ile bulunmaktadır. Ayrıca, her iş programının keşif bedeli proje önkeşif bedeline bölünerek, iş gruplarının proje toplam maliyeti içindeki payı hakkında oransal bilgi de işlenmektedir.

### 2.3. Üretim Takvimi Bölümü

Bu bölümde, proje toplam süresini içine alan, "Üretim Takvimi" ile, gerçekleştirilecek işlerin, proje süresindeki yerlerinin şematik tanımları ve gerçekleştirilmelerinde kullanılan parasal kaynağın düzeyini ifade eden oransal değeri yer almaktadır (Ek:2-C).

Üretim takviminde süreler, "yıl, ay, hafta" olarak bölümlendirilmektedir. Projenin başladığı tarih dikkate alınarak, proje süresinin kapsadığı ay ve yıllar belirlenmektedir. Aylık sürelerin tamamını eşit sayıda haftaya bölmek gerçekçi olamıyacağından, haftalar, pazartesi gününü ifade eden takvim günü yazılarak tanımlanmakta ve böylece üretim takviminin daha gerçekçi olarak teşkil edilmesi ve kolay izlenmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, bitimi hafta ortasına rastlaması halinde söz konusu hafta, biten ayın son pazartesi günü ile başlayan ayın ilk gününü belirtecek şekilde ikiye ayrılmakta ve ilgili takvim günleri yazılmaktadır. Bu süresel bölümleme tamamlandıktan sonra, iş gruplarının, proje sürecinde gerçekleştirildikleri sıra ve süreleri göz önünde tutularak üretim takvimi içindeki yerleri belirlenmektedir.

İşlerin gerçekleştirilme sürelerini ifade eden süre çizgileri üzerine, her iş için öngörülen önkeşif bedelinin kullanılma düzeyini gösteren oranlar yazılmaktadır. Parasal kaynağın (% olarak) işin tamamlanma süresine dağılımı, işin gerçekleştirildiği tarihler

arasındaki genel veya yerel nitelikli resmi tatil günleri, mevsim ve yörenin iklim koşulları ile çalışma hızını etkileyen faktörler dikkate alınarak saptanmaktadır. Taşımalar gibi, gerçekte küçük fasıllarla yapılmasına rağmen sürekli faaliyetmiş gibi şematize edilen işlerde, parasal kaynak kullanım yoğunluğu, planlama aşamasındaki söz konusu işin gerçekleştirilmesine ilişkin öngörülere göre belirlenmektedir. Örneğin, gerekli malzemelerin çoğunu inşaatın başlangıç aşamasında alarak bir an önce şantiyeye nakletmek veya şantiyede yeterli yer olmaması nedeniyle malzemeleri ancak kullanım aşamasında nakletmek zorunda kalmak gibi kısıt ve tutumlar, parasal kaynak kullanım oranlarının faaliyet süresine yayılmasını etkilemektedir.

Kaynak kullanım düzeyini belirleyen oranlar, işin gerçekleştirilme sürecinde (her dönemdeki öngörülen harcama oranı, bir önceki dönem oranına ilave edilmek suretiyle) kümilatif olarak ifade edilmektedir. Böylece, proje veya her hangi bir faaliyetin gerçekleştirilme sürecinin herhangi bir kesintide, o tarihe kadar kullanımı öngörülen parasal kaynağın yüzde kaçının kullanıldığı ya da kullanımının planlandığı kolayca saptanabilmektedir. Bir işin gerçekleştirilme süresinin herhangi bir dönemde kullanımı öngörülen kaynak oranını saptamak gerektiğinde de, söz konusu dönem içinde yer alan orandan, bir önceki dönem oranını çıkarmak yeterli olmaktadır. Örneğin, Ek:2'deki beton işlerinin Temmuz ayında öngörülen kaynak kullanım oranının, Temmuz ayı oranından Haziran ayı oranı çıkarılarak (%70 - %25 =) %45 olduğu bulunabilmektedir.

Kaynak kullanım oranları, haftalık süreler esas alınarak düzenlenebilmektedir. Daha az karmaşık olacağı düşünülerek burada, kaynak kullanım oranlarının değişim periyodunda bir aylık süre esas alınmıştır. Hazırlanan iş programının genel ya da detaya yönelik oluşuna göre, oranların değişim periyodu, hafta, gün ya da öngörülen hakediş dönemleri esas alınarak belirlenebilmektedir.

Aynı iş grubuna ait süre çizelgesinin birbirini izleyen dönemlerde kaynak kullanım oranının değişmemesi, işin süre almasına karşın kaynak kullanımı gerektirmediğini ifade etmektedir. Bu durum, küçük fasıllarla yapıldığı bilindiği halde kesintisiz devam ediyormuş gibi kabul edilen işlerin süre çizelgelerinin ölü noktalarında, ya da beton kür süresi gibi ayrıca kaynak kullanımı gerektirmeyen durumlarda sözkonusu olabilmektedir.

### 2.4. Nakit Akış Tablosu Bölümü

Bu bölüm, projenin gerçekleştirilmesi için öngörülen kaynağın, proje sürecinde kullanım düzeyinin programlanması ve izlenmesi amacıyla düzenlenmektedir (Ek:2-D). Bu bölümde derlenen bilgiler,

**a.** Yapı üretimi sürecinin her hangi bir kesitine kadar ne kadar parasal kaynağa ihtiyaç duyulacağı,

**b.** Proje sürecinin üretim peryodlarının her birinde nekadar kaynak kullanımının programlandığı;

c. Ödeneği önceden bilinen yapı projelerinde, mevcut ödeneğin hangi üretim aşamasına kadar yeteceği konularında saptama yapma ve geleceğe dönük kestirimlerinde bulunabilme olanağı vermektedir.

Nakit akış tablosu, planlanan ve uygulama aşamasında gerçekleşen verilerin yazıldığı iki ana bölümdem oluşmaktadır. Her iki bölümde aynı alt bölümler yer almaktadır. "Dönemlik" değerler, öngörülen süresel dönemlerde gerçekleştirilmesi planlanan ya da gerçekleştirilen işlerde kullanılan parasal kaynağın toplamını göstermektedir. "Kümülatif" değerlerin yazıldığı satırda ise, proje sürecinin herhangi bir dönemine kadar harcanması planlanan ya da harcanan kaynağın parasal tutarları verilmektedir.

Nakit akış tablosundaki bilgiler, üretim takvimi bölümünden aktarılmaktadır. Dönemlik harcamalar hesaplanırken, ilgili aylık dönemi sınırlayan düşey aralık içinde kalan işlerin keşif bedelleri ile, o dönemdeki kaynak kullanım oranlarının çarpımlarının toplamı alınmaktadır. Örneğin, Temmuz ayındaki harcama, bu ayda yapılan kazı, kalıp, donatı ve taşıma işlerinin gerçekleştirilmesi için öngörülen harcamaların toplamına (30.000.000*0.40+210.000.000*0.30+42.000.000*0.10+45.000.000*0.20=158.700.000 ,-TL'ye) eşit olmaktadır. Aynı aya ait kümülatif değer (427.000.000,-TL) ise, bu aya kadar yapılması planlanan parasal kaynağın tutarını, % 88 oranı da, Temmuz ayına kadar yapılan toplam harcamanın, proje önkeşif bedeli içindeki payını ifade etmektedir.

### 2.5. Nakit Akış Grafiği Bölümü

"Ödeme Grafiği" olarak da adlandırılan bu bölüm, nakit akışının proje sürecindeki değişimini grafiksel olarak tanımlamak amacıyla düzenlenmektedir (Ek:2-E). Burada nakit akış tablosundakinden farklı bir bilgi verilmemekte, ancak kaynak kullanım eğiminin kolay algılanmasında grafik anlatımın katkı sağlıyacağı umulmaktadır.

Grafiğin düşey ekseninde, planlanan ya da gerçekleşen harcamaların kümülatif değerleri, yatay ekseninde ise kümülatif değerlere esas olan süresel dönemler yer almaktadır.

## 3. PROGRAMIN DENETİM İŞLEVİ

Denetimle, uygulama aşamasında, projede gerçekleştirilmesi öngörülen işlerin süre ve kaynak kullanımı bakımından planlanana uyup uymadığının izlenmesi, sapmalar varsa bunların düzeyini ve nedenlerini belirleyerek, ileriye dönük önlemlerin alınması kasdedilmektedir. Tanımlanan iş programı, projenin, ifade edilen anlamda süre ve nakit akışı bakımından denetimine olanak sağlamaktadır (Ek:3).

### 3.1. Süresel Denetim

Denetim Her bir işin başlama ve bitim tarihlerinin planlanana uyup uymadığı izlenmektedir. İşlerin planlanandan farklı tarihlerde başlama veya bitişleri, süre çizgisinin başlama ve bitiş yerlerini belirten çizginin yeri değiştirilerek ifade

edilmektedir. Erken başlama ve geç bitişi ifade etmek amacıyla süre çizgisi boyundaki değişim, "kesik çizgi" ile gösterilmektedir. Örneğin, Ek.3'de, planlanana göre, kalıp işinin ikinci aşamasının daha geç başladığı, üçüncü aşamasının geç başlayıp geç bittiği, taşıma işinin ise erken başlayıp geç bittiği anlaşılmaktadır.

### 3.2. Nakit Akışının Denetimi

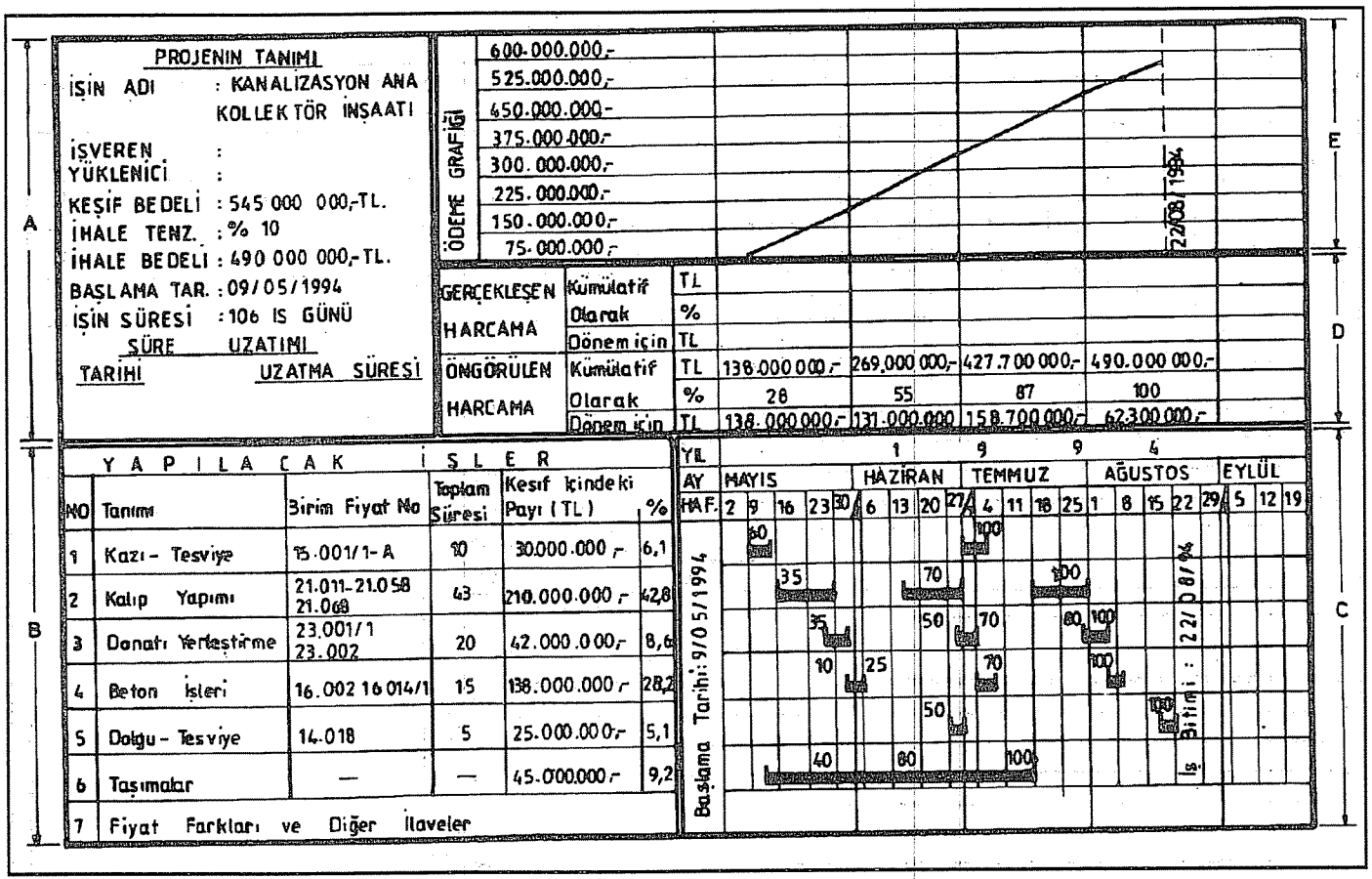
Yapı üretimi aşamasında kullanılan parasal kaynağın, proje sürecindeki değişiminin, planlanana uygunluğu izlenmektedir. Nakit akış tablosunu besleyen bilgiler, üretim takvimi içinde yer alan işlerin nakit kullanımına dayalı olduğundan, öncelikle her işin nakit kullanım oranındaki değişiminin izlenmesi gerekmektedir.

İşlerin süre çizgisi üzerinde yazılmış olan kaynak kullanım oranları, geçerli olduğu sürede kullanılan parasal kaynağın, söz konusu işin keşif bedeli içindeki payını ifade ettiğinden, bu oranlarda, uygulama aşamasında meydana gelecek değişimin iki nedeni olacaktır. Birinci olasılık, belirtilen dönemde planlanandan farklı miktarda iş yapılmış olması; ikinci olasılık ise, planlandığı miktarda iş yapılmasına rağmen işlerin birim fiyatında meydana gelmiş değişimin nakit kullanım düzeyini etkilemiş olmasıdır. Meydana gelen değişikliğin gerekçesini kesin olarak belirleyebilmek amacıyla, nakit kullanımının hesaplanmasına esas olan süresel periyodlar içinde, işlerin birim üretim fiyatındaki değişimlerin, kaynak kullanım oranlarına yansıtılmayarak, bu şekildeki maliyet artışları ile diğer muhtemel ilavelerin, üretim takvimi bölümü altında yer alan "Fiyat artışları ve diğer ilaveler" satırında verilmesi öngörülmektedir. Özellikle birim fiyat usulu ihalelerde, fiyat farkları ayrıca hesaplanarak hakedişlere yansıtıldığından, fiyat artışına dayalı kaynak kullanımının tutarının iş programına aktarmak ek bir külfet getirmeyecek, tersine, programda nakit akışındaki değişimin gerçekçi olarak izlenmesine olanak sağlayacaktır. Belirtilen nedenlerle, işlerin süre çizgisi üzerindeki kaynak kullanım oranlarında bir değişme olmuşsa bunun, ön keşifte belirlenmiş bulunan iş miktarının planlanandan farklı tempoda yapılıyor olmasından kaynaklandığı; ancak, kaynak kullanım oranı % 100'ü geçmişse buna, söz konusu işin miktarındaki bir artışın (keşif artışının) neden olduğu anlaşılacaktır. Nakit kullanım oranlarında değişim olduğunda, değişecek oran üzeri çapraz çizgi ile iptal edilip gerçekleşen kaynak kullanımını ifade eden oran, yanına veya üzerine yazılmaktadır. Örneğin, Ek.3'de Mayıs ayında taşıma işinin kaynak kullanımı % 40'dan % 50'ye çıkmış olması, söz konusu iş için, planlanana göre, Mayıs ayında daha fazla harcama yapılmış olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan, kazı işinin bitirilmesi için kullanılan kaynak oranının % 120'ye ulaşmış olması, bu iş kaleminde keşif artışı olduğunu ortaya koymaktadır.

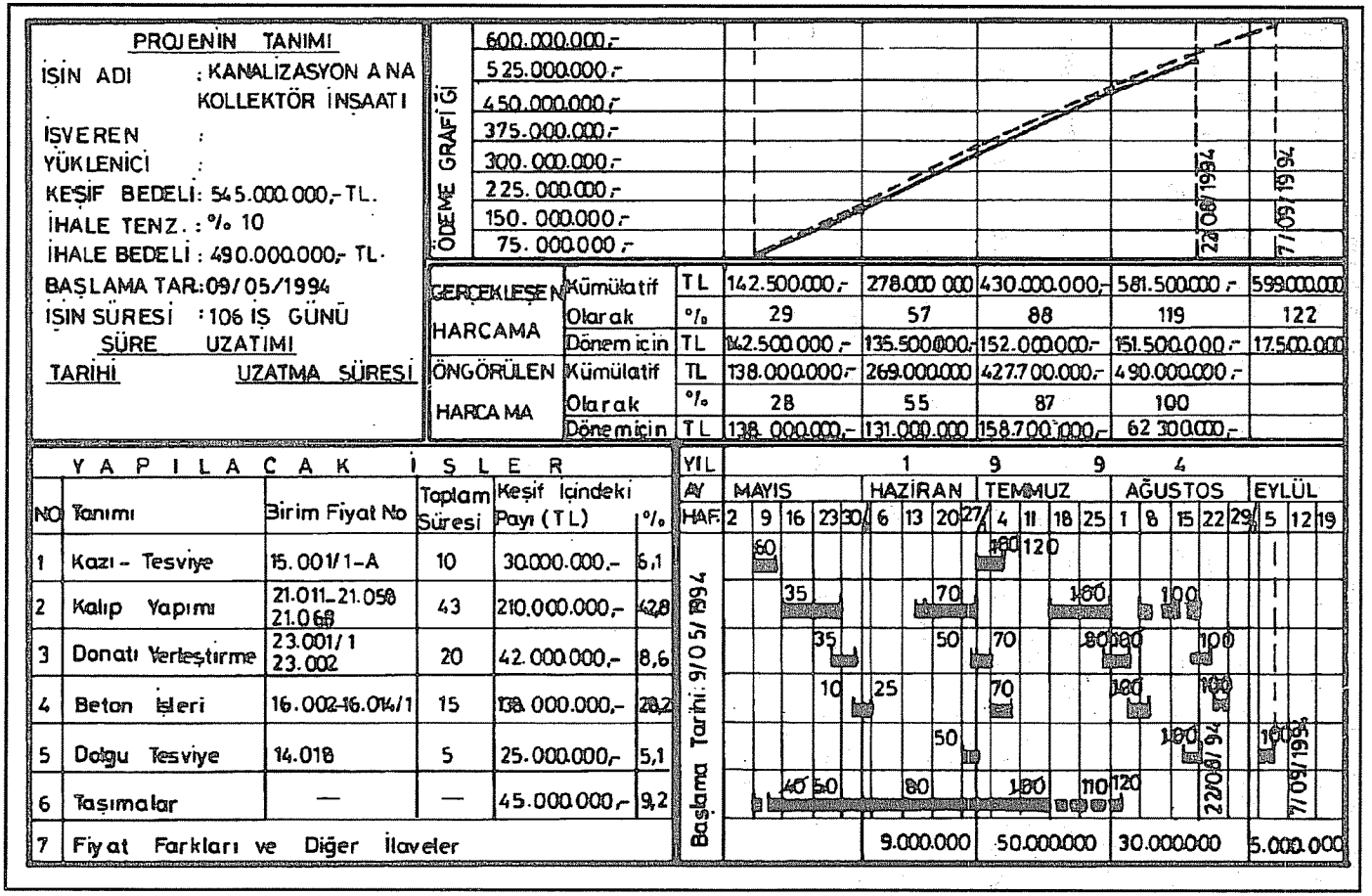
## 4. SONUÇ

Yapı projesi için öngörülen parasal kaynağın proje sürecindeki kullanım düzeyinin gerçekçi bir şekilde belirlenmesi ve izlenebilmesi, finansman yönetimini

EK 1 : İş Programını Oluşturan Ana Bölümler




EK 2 : Süre ve Kaynak Programı




| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GERÇEKLEŞEN HARCAMA | Kümülatif | TL | 142.500.000,- | 278.000.000 | 430.000.000,- | 581.500.000,- | 599.000.000 |
| | Olarak | % | 29 | 57 | 88 | 119 | 122 |
| | Dönem için | TL | 142.500.000,- | 135.500.000,- | 152.000.000,- | 151.500.000,- | 17.500.000 |
| ÖNGÖRÜLEN HARCAMA | Kümülatif | TL | 138.000.000,- | 269.000.000 | 427.700.000,- | 490.000.000,- | |
| | Olarak | % | 28 | 55 | 87 | 100 | |
| | Dönem için | TL | 138.000.000,- | 131.000.000 | 158.700.000,- | 62.300.000,- | |

YAPILACAK İŞLER

| NO | Tanımı | Birim Fiyat No | Toplam Süresi | Keşif İçindeki Payı (TL) | % |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Kazı - Tesviye | 15.001/1-A | 10 | 30.000.000,- | 6,1 |
| 2 | Kalıp Yapımı | 21.011-21.058 21.068 | 43 | 210.000.000,- | 42,8 |
| 3 | Donatı Yerleştirme | 23.001/1 23.002 | 20 | 42.000.000,- | 8,6 |
| 4 | Beton İşleri | 16.002-16.014/1 | 15 | 138.000.000,- | 28,2 |
| 5 | Dolgu Tesviye | 14.018 | 5 | 25.000.000,- | 5,1 |
| 6 | Taşımalar | — | — | 45.000.000,- | 9,2 |
| 7 | Fiyat Farkları ve Diğer İlaveler | | | | |

9.000.000 50.000.000 30.000.000 5.000.000

EK 3 : Süre ve Kaynak Programının Denetimi.

kolaylaştırması yanında, finansman yetersizliğinden kaynaklanan süresel sapmaların tesbitine ve bunun nasıl telafi edileceği ile ilgili karar oluşturulmasına yardımcı olacağı kuşkusuzdur.

Yapı üretiminde planlama ve denetim aracı olarak halen oldukça yaygın kullanılmakta olan çubuk iş programlarının, önerildiği şeklinde hazırlanmaları halinde, kaynak planlama ve denetim etkinliklerinin önemli ölçüde artacağı umulmaktadır.

## 5. KAYNAKLAR

1. *Lockyer,K., "Critical Path Analysis and Other Project Network Techniques", Pitman Publishing Ltd., London, S.1, 1986.*

2. *Ahuja,H.N., "Construction Perfonmance Control By Network", John Wiley and Sons Inc., New York, S.6, 1976.*

3. *Cook,B., Jepson,W.B., "Cost and Financial Control For Contruction Firms", The Mecmillan Press Ltd., London, S.59, 1979.*

4. *Barutçugil,İ.S., "İnşaat Yönetimi", İnkilap Kitabevi, İstanbul, S.97, 1984.*

5. *Öcal,M.E., "Yapı Projelerinde Kaynakların Planlama ve Kontrolünde şebeke Analizi ve Çubuk Diyagrama Dayalı Karma Bir Model Önerisi ve Uygulaması", Doktora Tezi, Adana, 1991.*

ISSN 1019-1011

| Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ | | Haziran/Aralık | 1995 | Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH. | |
|---|---|---|---|---|---|
| *CİLT 10* | *SAYI 1-2* | June/December | | *VOL.10* | *NO.1-2* |


# NONLİNEER SIĞ-SU DALGA DENKLEMLERİNİN DALGA KIRILMASI PROBLEMİNE UYGULANMASI

**M.Salih KIRKGÖZ ve Zeliha SELEK**

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

**ÖZET :** *Eğimli bir tabanda kıyıya dik yayılan periyodik dalgaların kırılma bölgesindeki davranışı nonlineer sığ-su dalga denklemleri yardımıyla teorik olarak incelenmiştir. Denklemlerin çözümü için karakteristikler yöntemi kullanılmış ve bu yönteme dayalı bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Başlangıç değerleri için akım fonksiyonu dalga teorisi kullanılmış, ters yıkama hızları için deneysel verilerden yararlanılmıştır. Sayısal uygulamalar 1/7 ve 1/10 taban eğimindeki dalgalar için yapılmıştır. Ortalama akım hızlarını başlangıç değerler alarak yapılan çözümün doğrudan su yüzü hızları kullanılarak elde edilen çözüme göre dalga transformasyonunu daha gerçekçi olarak temsil ettiği görülmüştür.*

# APPLICATION OF NONLINEAR SHALLOW WATER WAVE EQUATIONS TO THE WAVE BREAKING PROBLEM

**ABSTRACT :** *Using the nonlinear shallow water wave equations the behaviour of breaking oscillatory waves which propagate perpendicularly to the shore on a sloping bed, is studied theoretically. In the solution of equations the method of characteristics is used and based on this method a computer program is developed. Initial values are taken from the stream function wave theory and experimental data concerning the backwash velocities are used. Computations are carried out for waves propagating on 1/7 and 1/10 slopes. It is found that the solution with initial particle velocities of vertical mean values represents the wave transformation better compared to that when used the surface velocities directly as initial values.*

## 1. GİRİŞ

Hız ve basınç gibi özellikleri yer ve zamanla değişen akımlar değişken akım olarak sınıflandırılır. Doğada su derinliğinin dalga uzunluğuna oranının küçük olduğu ve akışkanın düşey ivmesinin önemsiz sayılabileceği bazı değişken akımlar vardır. Bunlar arasında denizlerdeki gel-git ve deprem dalgaları, akarsulardaki taşkın dalgaları, ve deniz dalgalarının sığlaşma bölgelerindeki yayılma ve kırılmaları örnek olarak verilebilir. Nonlineer uzun dalga teorisi olarak da bilinen bu yaklaşımla dalga profilinin kırılma sürecinde maruz kaldığı asimetrik oluşumlar akımı idare eden denklemlerin çözümü ile ifade edilebilmektedir.

Kıyı çizgisine doğru ilerleyen bir dalga tabanın eğimine bağlı olarak belirli derinlik şartlarına ulaşınca profilindeki simetriyi kaybederek kırılma sürecine girer. Dalga kırılması dalga dikliği ve taban eğimine bağlı olarak çökme, sıçrama veya taşma şeklinde meydana gelir. Sıçrayarak kırılan dalgalar profil değişmelerinin oluştuğu transformasyon bölgesini müteakip bir kırılma noktasından geçerek köpüklenme bölgesine girerler.

Bu çalışmada, nonlineer uzun dalga teorisi sığlaşan dalgaların sıçrayarak kırılması problemine uygulanmıştır. Akımı idare eden denklemlerin sayısal çözümü için karakteristikler yöntemi kullanılmıştır. Sayısal çözümdeki başlangıç değerlerinin seçiminde akım fonksiyonu dalga teorisi kullanılmış, ayrıca, ters yıkama etkilerinin gözönüne alınmasında Kırkgöz (1) tarafından verilen deneysel bulgulardan yararlanılmıştır. Sayısal hesap bulguları su yüzü partikül hızlarını aynı düşey için üniform kabul eden başlangıç değerleri ve partikül hızlarının düşey ortalamalarını başlangıç değerler kabul eden durumlar için kıyaslanmıştır.

## 2. EĞİMLİ BİR TABANDA SIĞ SU DALGA DENKLEMLERİ

Birinci mertebeden sığ su dalga denklemleri, süreklilik ve momentum denklemleri olarak aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial}{\partial x}[u(d+\eta)] = -\frac{\partial \eta}{\partial t} \tag{1}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} = -g\frac{\partial \eta}{\partial x} \tag{2}$$

Burada, d(x) su derinliğini, $\eta(x,t)$ dalga profilini, u(x,t) akımın yatay hız bileşenini, x yatay mesafeyi ve t zamanı göstermektedir. (1) ve (2) denklemleri birinci mertebeden nonlineer, hiperbolik kısmi diferansiyel denklemler olup bu denklemlerin kırılan dalgalara uygulanışı ilk kez Stoker (2) tarafından verilmiştir.

Airy (3) uzun dalgalarda, yersel su yüksekliğine bağlı olarak farklı parçacıkların farklı hızlarla hareket ettiğine işaret etmiştir. Stoker (2) tarafından da onaylanan bu kabule göre dalga profili üzerindeki herhangibir kesitte yayılma hızı

$$C = \sqrt{g\,(d+\eta)} \tag{3}$$

şeklinde ifade edilmiştir.

Nonlineer sığ su dalga denklemlerinin sayısal çözümünde karakteristikler yönteminin uygulanması Stoker (2), Freeman ve Le Méhaute (4), Amein (5), Abbott (6) ve Kırkgöz (7) tarafından ele alınmıştır. Bu yönteme göre (1) ve (2) denklemleri bir çift karakteristik eğriler boyunca geçerli karakteristik diferansiyel denklemler olarak adlandırılan adi diferansiyel denklemlere dönüştürülür:

İlerleyen karakteristik eğriler üzerinde

$$u + 2C - g\frac{dd}{dx}t = \text{sabit} \tag{4}$$

$$\frac{dx}{dt} = u + C \tag{5}$$

Gerileyen karakteristik eğriler üzerinde

$$u - 2C - g\frac{dd}{dx}t = \text{sabit} \tag{6}$$

$$\frac{dx}{dt} = u - C \tag{7}$$

(4)-(7) karakteristik denklemlerinin çözümü bir t anında x, u, ve C nin başlangıç değerlerinin bilinmesiyle yapılabilir. Bu çalışmada, sayısal çözüm için başlangıç şartları olarak dalganın kırılma sürecinin başlangıcındaki transformasyon noktası şartları esas alınmıştır.

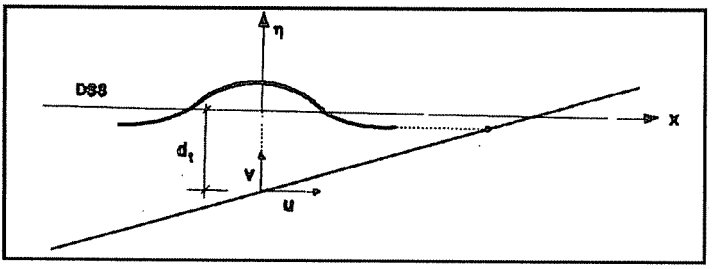
## 3. KARAKTERİSTİKLER YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

### 3.1 Sayısal Çözüm Modeli ve Başlangıç Değerlerinin Seçimi

(4)-(7) karakteristik denklemlerindeki değişkenleri aşağıdaki gibi boyutsuzlaştırmak uygun olmaktadır:

$$x^* = x / d_t,\quad t^* = t\,C_m / d_t,\quad u^* = u / C_m,\quad C^* = C / C_m$$

Burada, $d_t$ transformasyon noktasında durgun su derinliği ve $C_m=\sqrt{gd_t}$ dir (Şekil 1).




**Şekil 1.** Transformasyon Noktasında Dalga.

Karakteristik denklemlerdeki dd/dx=-S taban eğimini temsil etmektedir. Ancak, istenirse taban sürtünmesi ve köpüklenme bölgesinde görülen şiddetli türbülans enerji kayıpları bu terime dahil edilebilir. Burada sadece taban eğimi gözönüne alınmıştır.

Şekil 2 de $x^*$, $t^*$, $u^*$, ve $C^*$ değerlerinin dalga kırılma bölgesinde karakteristik eğriler yardımıyla nasıl bulunduğunu gösteren sayısal hesap modeli verilmiştir. Şekil 2 deki 3 noktasında $x_3^*$, $t_3^*$, $u_3^*$ ve $C_3^*$ bilinmeyenlerini hesaplamak için 1-3 ve 2-3 noktaları arasında boyutsuzlaştırılmış karakteristik denklemler yazılır.

İlerleyen karakteristik eğri üzerinde (Şekil 2 de 1 ve 3 arasında)

$$u_1^* + 2C_1^* + S_1 t_1^* = u_3^* + 2C_3^* + S_1 t_3^* \tag{8}$$

$$x_3^* - x_1^* = (u_1^* + C_1^*)(t_3^* - t_1^*) \tag{9}$$

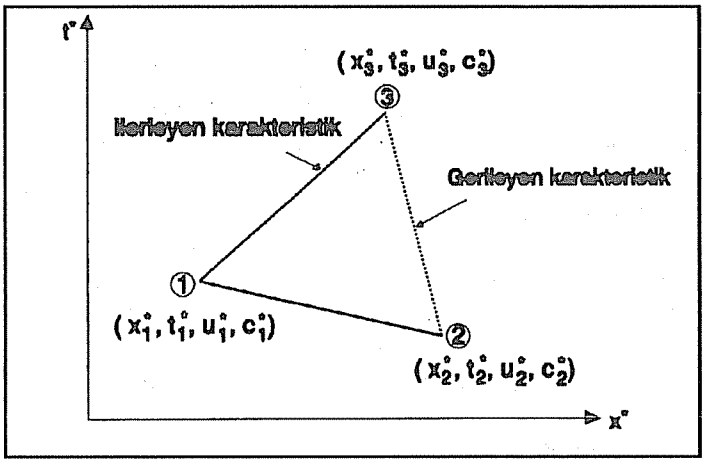
Gerileyen karakteristik eğri üzerinde (Şekil 2 de 2 ve 3 arasında)

$$u_1^* - 2C_2^* + S_2 t_2^* = u_3^* - 2C_3^* + S_2 t_3^* \tag{10}$$

$$x_3^* - x_2^* = (u_2^* - C_2^*)(t_3^* - t_2^*) \tag{11}$$

Buna göre 1 ve 2 noktalarındaki bilinen değerler kullanılarak 3 kesişme noktasındaki $x_3^*$, $t_3^*$, $u_3^*$, $C_3^*$ bilinmeyenleri (8)-(11) denklemlerinden hesaplanabilir.

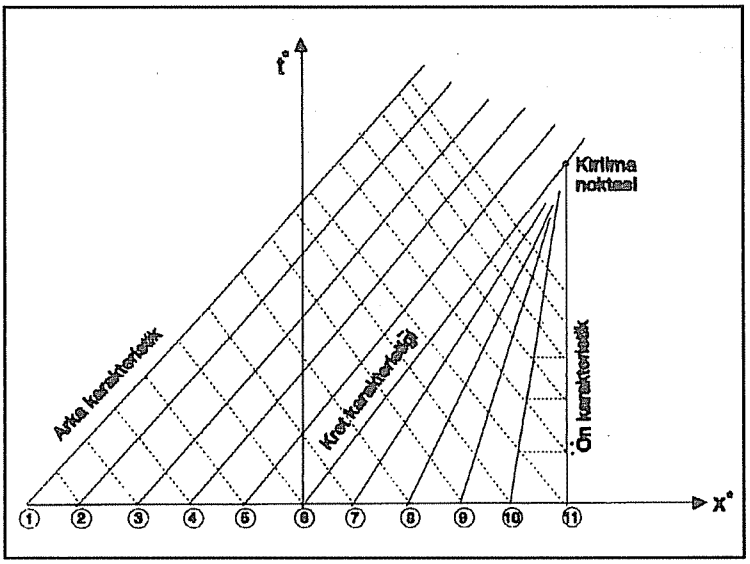
Yukarıda açıklanan hesap modeli Şekil 3 de görüldüğü gibi bir dalga hareketinin tüm profiline uygulanabilir. Şekildeki gibi $t^*=0$ anında, yani transformasyon noktasındaki profil üzerinde seçilen $\Delta x^*$ aralıklı noktalarda, $u^*$ ve $C^*$ başlangıç değerleri ile sayısal hesaplar başlatılabilir ve karakteristik eğriler yardımıyla hesaplar adım adım yürütülerek $x^*$, $t^*$ düzlemindeki karakteristikler ağı elde edilir. $\Delta x^*$ aralıklarının küçültülmesi ile sayısal hesabın hassasiyeti artırılabilir. Bu çalışmada transformasyon noktasındaki başlangıç değerlerinin tayininde akım fonksiyonu dalga teorisinden yararlanılmıştır. Şekil 3 de görüldüğü gibi dalganın ön yarısındaki ilerleyen karakteristik eğrilerinin gittikçe sıklaşması dalga ön yüzünün kırılma noktasına doğru dikleşmekte olduğunu tesbit etmektedir. Kırılma noktasında dalga ön yüzü teorik




**Şekil 2.** Sayısal Hesap Modeli.

olarak düşey hale gelmekte ve dalga kreti arkasında kalan karakteristik eğrileri yayılmaya devam etmektedir. Kırılan dalganın yayılması dalga ön çukurunun eğimli taban ile temas ettiği noktada son bulmakta, bu noktadan sonraki dalga hareketi bir eğik yüzey tırmanmasına dönüşmektedir. Böylece kıyıya dik olarak yayılan bir dalga kinetik enerjisinin tükendiği noktaya kadar kıyı üzerinde tırmanarak hareketini tamamlamaktadır.

Şekil 3 de 11 noktasına ait karakteristik eğri üzerindeki noktalarda gerileyen karakteristik eğriler ile kesişme olmadığından bu eğri üzerindeki noktalarda akım




**Şekil 3.** Karakteristikler Ağı.

parametrelerinin tesbitinde bu noktalar bir önceki karakteristik eğrideki kesişme noktaları ile eş zamanlı olarak alınarak sadece (8) ve(9) karakteristik denklemleri kullanılmıştır.

Periyodik dalgalar için yapılan deneysel ölçümler (1) kırılma bölgesine giren dalganın partikül hızları bakımından bir önceki dalganın ters yıkama etkisine girdiğini göstermiştir. Ters akıntı olarak kıyı düzleminden geri dönen dalga suları kıyıya doğru yayılmakta olan dalganın ön çukurundaki ters akım hızlarına katkıda bulunmakta, bu durum dalganın kırılmasını hızlandırmaktadır. Bu çalışmada, ters yıkama etkilerinin gözönüne alınmasında Kırkgöz (1) tarafından verilen deneysel bulgulardan yararlanılmıştır. Buna göre uygun bir dalga teorisinden alınan partikül hızları dalganın ön çukuru bölgesinde deney bulgularına dayanarak düzeltilmiş ve bu etki transformasyon bölgesindeki akış boyunca hesaplara yansıtılmıştır.

### 3.2. Köpüklenme Bölgesinde Uygulama

Köpüklenme bölgesinde düşey duruma gelen dalga ön yüzü dalga kretine karşı gelen ilerleyen karakteristik eğri ile temsil edilir. Bu bölgede taban sürtünmesinden başka köpüklenme nedeni ile şiddetli türbülans kayıpları sözkonusudur. Dalga enerjisinin %15 ile %30 unun köpüklenme bölgesinde kaybolduğu tahmin edilmiştir (8,9).

Kırkgöz (1) tarafından yapılan deneylerde belirli dalga ve taban eğimi şartlarında kırılma noktasındaki dalga genliği durgun su derinliği oranının ($\eta_b/d_b$) ortalama olarak 0,78 civarında olduğu bulunmuştur. Bu çalışmada $\eta_b/d_b$ oranı kırılma noktasında dalga yüksekliğini sınırlayan bir derinlik kontrol parametresi olarak kabul edilmiş ve benzer kontrolun köpüklenme bölgesinde de sürdüğü kabul edilmiştir. Bu şekilde kırılma noktasında elde edilen $\eta_b/d_b$ değeri köpüklenme bölgesindeki kret karakteristiğinin tesbitinde ilave bir şart olarak kullanılmıştır. Şekil 4 de tanımlanan bu uygulama A temas noktasına kadar devam etmektedir.

Köpüklenme bölgesindeki $\eta$ derinliğe bağlı olarak belirli hale gelince kret karakteristiği üzerindeki akım parametreleri hesaplanabilir. Şöyle ki Şekil 4 deki $\Delta x$ aralıklı 1 ve 2 kesitlerinden 1 kesitinde $x_1^*$, $t_1^*$, $u_1^*$ ve $C_1^*$ biliniyor ise 2 noktasındaki değerler aşağıdaki gibi yazılabilir.

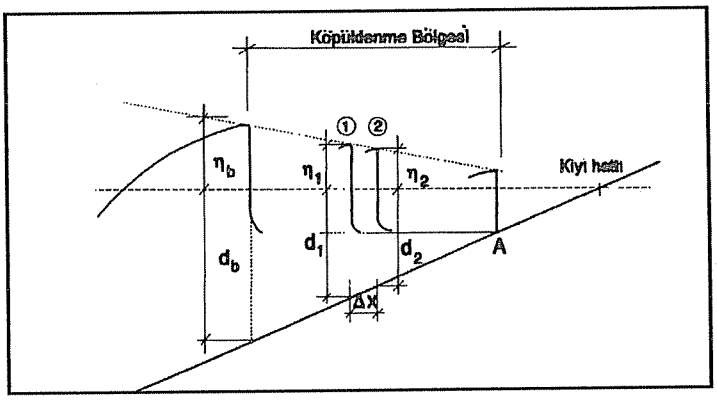
$$x_2^* = x_1^* + \Delta x^* \tag{12}$$

$$C_2^* = [(d_2 + \eta_2)/d_t]^{1/2} \tag{13}$$

$\Delta t^* = \Delta x^* / (u_1^* + C_1^*)$ şeklinde yazılırsa,

$$t_2^* = t_1^* + \Delta t^* \tag{14}$$

$$u_2^* = u_1^* + 2C_1^* + S\,\Delta t^* - 2C_2^* \tag{15}$$




**Şekil 4.** Köpüklenme Bölgesi.

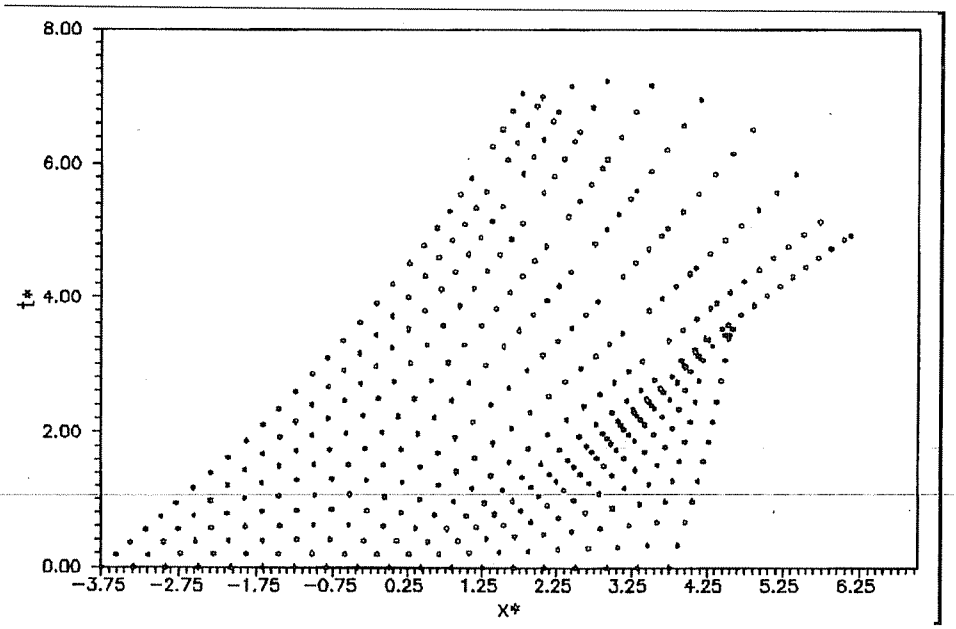
## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada karakteristikler yönteminin yukarıda açıklanan sayısal hesap modeline uygulanabilmesi için FORTRAN dilinde bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Sayısal hesaplar iki farklı taban eğiminde, 1/7 ve 1/10, yapılmış ve her iki taban eğimi için derin-su yüksekliği $H_0$=0,071 m ve derin-su uzunluğu $L_0$=1,890 m olan dalga örnek olarak seçilmiştir. Bu dalga için su profili ve partikül hızları transformasyon noktasındaki dalga şartları ile uyum sağlaması bakımından akım fonksiyonu dalga teorisinden alınmıştır.

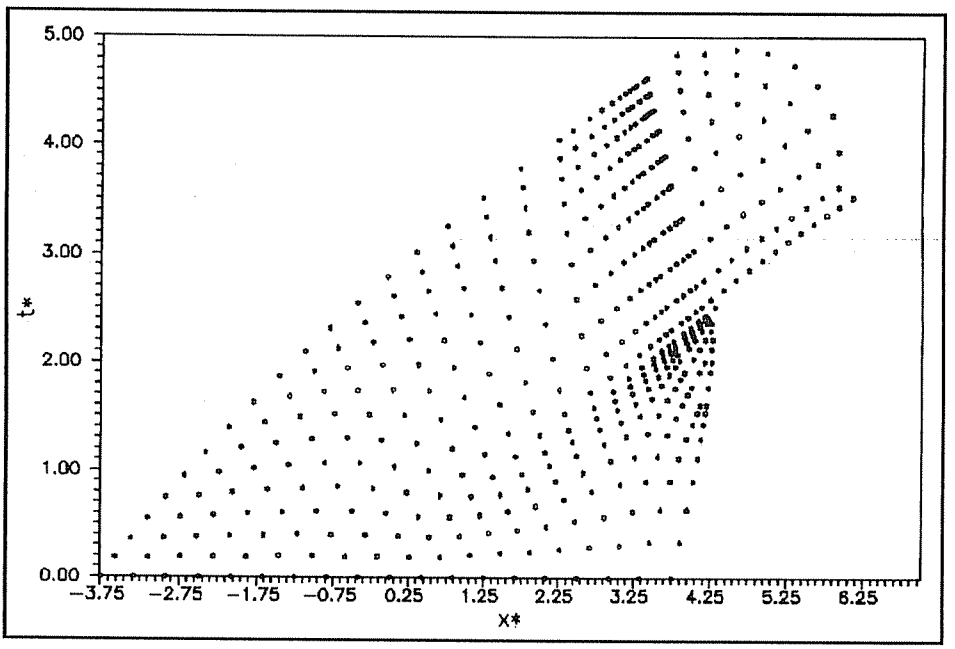
Şekil 5 ve 6 da 1/7 eğimli taban üzerindeki dalganın kırılma bölgesinde $x^*$, $t^*$ düzlemindeki yayılmasını temsil eden karakteristikler ağı görülmektedir. Şekil 5 deki karakteristikler ağında $t^*$=0 başlangıç durumunda su yüzü yatay akım hızları aynı kesitler için aynen kullanılmış Şekil 6 da ise partikül hızlarının düşey dağılımından ortalama yatay akım hızları bulunmuş ve başlangıç değerleri olarak esas alınmıştır. Şekillerde görüldüğü gibi başlangıç dalga profili 19 nokta ile temsil edilmiştir. Aynı uygulamalar 1/10 eğimli taban üzerinde de yapılmış ve elde edilen karakteristikler ağı Şekil 7 ve 8 de verilmiştir.

Şekil 5-7 deki karakteristik ağlarında kırılma noktasının oluştuğu nokta açıkça görülmektedir. Yani, dalga kretinin önündeki ilerleyen karakteristik eğriler yayılma ile birlikte birbirine doğru yaklaşmakta ve nihayet bir noktada kret karakteristiği hepsini yakalayarak dalga ön yüzünün düşey hale gelmesini sağlamaktadır. Şekil 5-8 deki karakteristik ağların incelemesinden ortalama hızlara göre alınan başlangıç değerlerinin su yüzü hızlarına kıyasla daha düzenli transformasyon bölgeleri oluşturduğu görülmektedir. Ortalama hızlarla yapılan hesap enerji yayılması bakımından da daha gerçekçi bir durum ortaya koymaktadır.

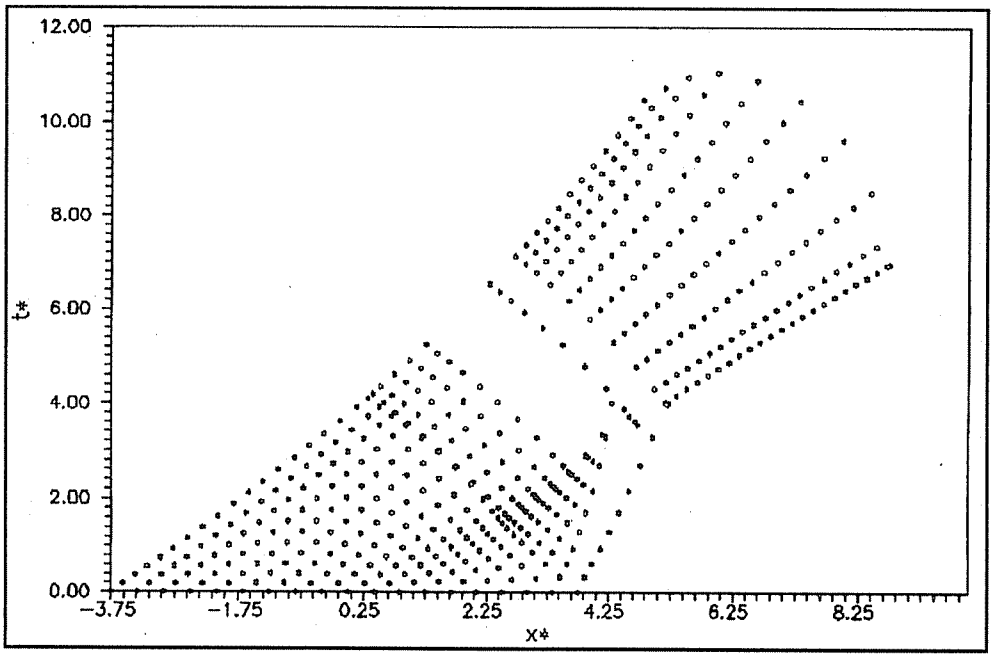
Şekil 9 ve 10 da 1/7 eğimli tabandaki dalga profillerinin zaman içindeki gelişimleri verilmiştir. Ortalama hızlarla hesaplanan dalga profillerinde kırılma noktasına doğru daha fazla dikleşmenin oluştuğu tesbit edilmiştir.



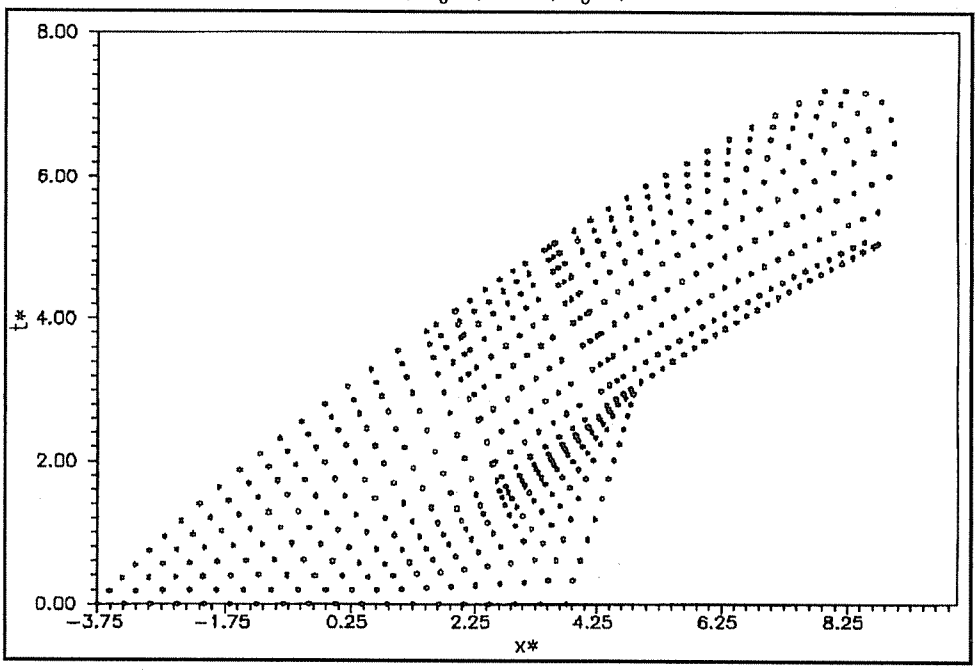

**Şekil 5.** Su Yüzü Hızlarına Göre Karakteristikler Ağı, S=1/7, $H_0$=0,071 m, $L_0$=1,890 m.



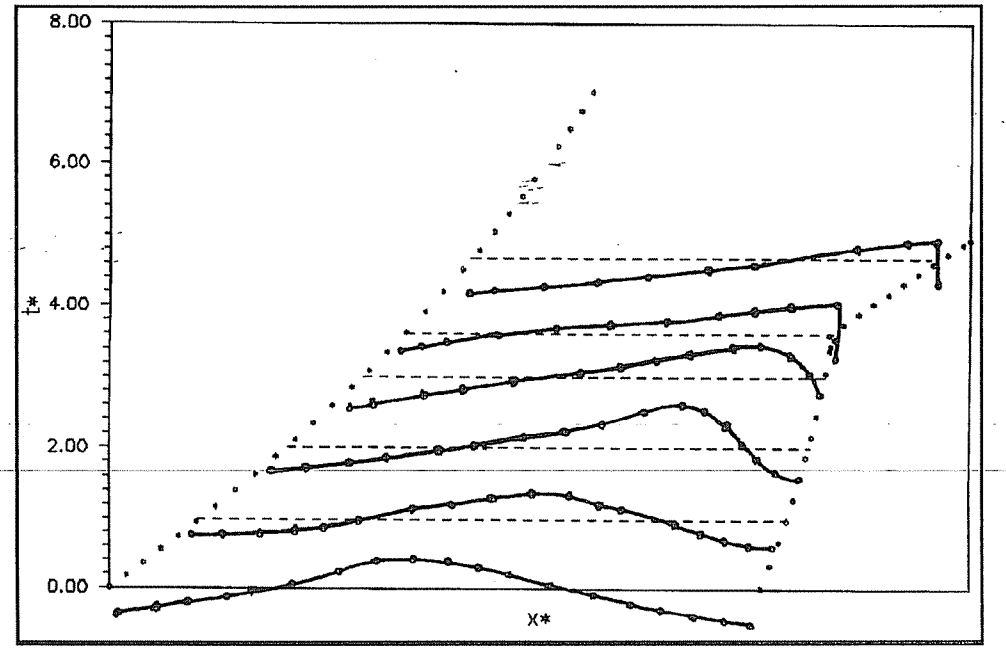

**Şekil 6.** Ortalama Hızlara Göre Karakteristikler Ağı, S=1/7, $H_0$=0,071 m, $L_0$=1,890 m.



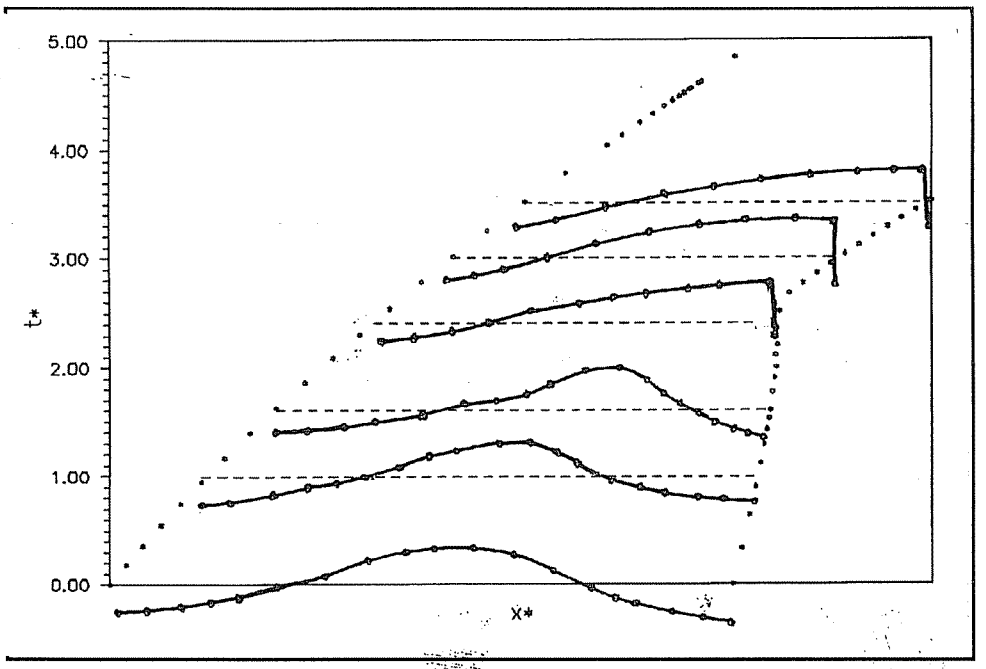

**Şekil 7.** Su Yüzü Hızlarına Göre Karakteristikler Ağı, S=1/10, $H_0$=0,071 m, $L_0$=1,890 m.




**Şekil 8.** Ortalama Hızlara Göre Karakteristikler Ağı, S=1/10, $H_0$=0,071 m, $L_0$=1,890 m.




**Şekil 9.** Su Yüzü Hızlarına Göre Dalga Profilinin Gelişimi, S=1/7.




**Şekil 10.** Ortalama Hızlara Göre Dalga Profilinin Gelişimi, S=1/7.

## 5. SONUÇ

Nonlineer sığ-su dalga denklemleri eğimli bir tabandaki kırılan dalgaların yayılması problemine uygulanmış ve transformasyon noktası ile kıyı çizgisi arasında dalga profilinde meydana gelen değişimler hesaplanmıştır. Elde edilen bulgulardan, düşeylerdeki ortalama akım hızları ile yapılan hesapların dalga transformasyonunu daha gerçekçi biçimde temsil ettiği görülmüştür. Bu durumda, kırılma noktasındaki dalga dikliği bakımından da deney gözlemlerine daha yakın sonuçlar elde edilmektedir.

## 6. KAYNAKLAR


1. *Kırkgöz, M.S., Breaking Waves: Their Action on Slopes and Impact on Vertical Seawalls. Ph.D. Thesis, The University of Liverpool, 1978.*

2. *Stoker,J.J., Water Waves. Interscience Publishers, New York 1957.*

3. *Airy, G.B., On Tides and Waves. Encylopaedia Metropolitana, London, 1845.*

4. *Freeman, J.C. and Le Mehaute, B., Wave Breakers on a Beach and Surges on a Dry Bed. Journal of Hydraulic Division, A.S.C.E., HY.2, 187-216, 1964.*

5. *Amein, M., A Method for Determining the Behaviour of Long Waves Climbing a Sloping Beach. Journal of Geophysical Research, Vol 71 (2), 401-410, 1966.*

6. *Abbott, M.B., An Introduction to the Method of Charasteristics. American Elsevier, New York, 1966.*

7. *Kırkgöz, M.S., A Theoretical Study of Plunging Breakers and their Run-Up. Coastal Engineering, 5, 353-370,1981.*

8. *Fuhrboter, A., Air Entrainment and Energy Dissipation in Breakers. Proc. 12th Conf. on Coastal Eng., A.S.C.E., Vol. 1, Ch.24, 1970.*

9. *Sawaragi, T. and Iwata, K., On Wave Deformation After Breaking. Proc. 14th Conf. on Coastal Eng., A.S.C.E., Vol. 1, Ch. 27, 1974.*

ISSN 1019-1011

| Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ | | Haziran/Aralık | 1995 | Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH. | |
|---|---|---|---|---|---|
| *CİLT 10* | *SAYI 1-2* | June/December | | *VOL.10* | *NO.1-2* |


# ÖNGERİLMELİ BETON KİRİŞLERİN OPTİMUM KESİT ALANININ HESABI İÇİN BİR FORMÜL

**Cengiz DÜNDAR ve İsmail Hakkı ÇAĞATAY**
*Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye*

**ÖZET :** *Bu çalışmada öngerilmeli beton kirişlerin optimum kesit alanı ile hareketli yük ve kiriş açıklığı arasındaki ilişki incelenmiş ve bir formül önerilmiştir. Bu formül hazırlanan bilgisayar programı ile değişik açıklıklarda ve değişik hareketli yüklere maruz kirişlerin optimum çözümlerinden elde edilmiştir. Optimizasyon için "Grid Search" yöntemi kullanılmıştır. Önerilen formül ile optimum kesit alanı sadece hareketli yük ve kiriş açıklığına bağlı olarak hesaplanabilmektedir.*

# A FORMULA FOR THE COMPUTATION OF OPTIMUM CROSS-SECTIONAL AREA OF PRESTRESSED CONCRETE BEAMS

**ABSTRACT :** *In this study a simple formula has been recommended for the computation of optimum cross-sectional area of prestressed concrete beams subject to flexure. Computer program has been developed employing "Grid Search" optimization technique and run for the determination of optimum cross-sectional area of prestressed concrete I beams for various spans and subject to various live loads. Using the results of the program a simple formula has been derived for computing optimum cross-sectional area of prestressed concrete beams under given span and live load.*

## 1. GİRİŞ

Yapı malzemelerindeki gelişmeye paralel olarak günümüzde hem beton hem de çelik çok yüksek mukavemetli olarak imal edilebilmektedir. Ancak, bu tür yapı malzemeleri normal malzemelere göre daha pahalıdır. Bu nedenle de en ekonomik olacak şekilde kullanılmalıdırlar. Yüksek dayanımlı malzemelerin kullanılması ile yapıya etkiyecek yükleri en ekonomik olarak taşıyacak elamanların tasarlanması gerekmektedir. Bu tasarım ise optimizasyon teknikleri kullanılarak yapılmaktadır.

Öngerilmeli beton kirişlerin tasarımında genellikle iki tür problem vardır. Birinci tür problemde standart tipte kesitler kullanılmaktadır. Standart kesitlerin boyutları bellidir. Öngerilme kuvveti ve eksantrisite değerleri bilinmemektedir. Dolayısıyla, bu tür kesitlerin tasarımı sadece öngerilme kuvveti ve eksantrisite değerlerinin bulunmasıyla yapılabilmektedir. İkinci tür problemde ise kesit boyutları da belli değildir. Bu tür problemlerde ise hem kesit boyutları hem de öngerilme kuvveti ve eksantrisite değerleri belirlenmelidir. Özellikle geniş açıklıklarda maliyeti küçültmek için bu tür kesitlerin kullanılması gerekmektedir.

Öngerilmeli beton kirişlerin tasarımı için dokuz adet parametre kullanılmaktadır. Bunlar; beton dayanımı, öngerilme kuvveti, eksantrisite ve kesit boyutlarıdır. Kesit boyutlarını içeren parametre sayısı da kesit tipine göre değişmektedir. İdealize edilmiş I kesit altı parametre içermektedir.

Öngerilmeli beton kirişlerin optimizasyonu için değişik yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler analitik, gradyan ve araştırma yöntemleri olmak üzere üçe ayrılmaktadır. gradyan ve araştırma yöntemleri sayısal optimizasyon yöntemleridir.

Öngerilme kuvvetinin minimum olması ancak eksantrisitenin maksimum olması ile mümkün olmaktadır. Öngerilme kuvvetinin ve eksantrisite değerlerinin seçilmesinde en yaygın olarak kullanılan yöntem Magnel'in grafik yöntemidir ( 1,2,3,4,5,6).

Magnel, kesitte meydana gelen gerilme değerlerini gösteren eşitsizlikleri doğrusal olarak ifade etmiş ve öngerilme kuvveti-eksantrisite diyagramını elde etmiştir. Diyagramın en önemli özelliği kesitte meydana gelen gerilmeler için hesaplanacak öngerilme kuvveti ve eksantrisitenin uygun bölge içerisinden seçilebilmesidir. Böylece kesitin hiçbir yerinde meydana gelen gerilme değerleri müsaade edilen gerilme değerlerini aşmamaktadır.

Khachaturian ve Gurfinkel (7) basit mesnetli bir kiriş için tasarıma etki eden değişkenleri boyutsuz formda ifade etmektedir. Ölü ve hareketli yük arasındaki moment oranı

$$R = \frac{M_D}{M_L} = \frac{8\,M_D}{A\,\gamma L^2} \qquad (1)$$

olarak verilmektedir. Burada $M_D$ ve $M_L$ ölü ve hareketli yük momentini, A kesit alanı, $\gamma$ beton birim ağırlığını ve L kiriş açıklığını göstermektedir. Bu ifadeden de

görüldüğü gibi R değerinin büyümesi ile alan değeri küçülmektedir. Aynı çalışmada (7) R oranı ayrıca

$$R = 8\,\rho\,f\,[(a_s + c_s) + \alpha\,(a_t + c_t)] - (1 - \alpha) \qquad (2)$$

şeklinde verilmektedir. Burada, $\rho$ 0 ile 0.25 arasında değişen verimlilik katsayısını, f, değeri 1 ile 10 arasında olan kesit katsayısını, $\alpha$ öngerilme kayıp faktörünü, $a_s$, $c_s$, $a_t$ ve $c_t$ gerilme katsayılarını göstermektedir. Kesitte meydana gelen gerilmelerin müsaade edilen gerilmelere eşit olması durumunda R değeri maksimum olmakta ve dolayısıyla alan minimum olmaktadır. R değeri teorik olarak 0 ile sonsuz arasında olmasına karşın pratikte 0 ile 10 arasında değişmektedir.

T. Y. Lin (8) öngerilmeli beton kirişlerin kesit alanının yaklaşık hesabı için aşağıdaki formülü vermektedir.

$$A_c = \frac{A_p f_{se}}{0.50\, f_c} \qquad (3)$$

Burada, $A_p$ öngerilme donatısı alanını, $f_{se}$ öngerilme donatı gerilmesini, $f_c$ beton basınç dayanımını göstermektedir. Gerekli beton kesit alanın hesabı için donatı alanının bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada öngerilmeli beton kirişlerin optimum tasarımını yapan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Program ile değişik açıklıklarda ve değişik haraketli yüklere maruz kesitler incelenmiş, açıklık ve hareketli yük momentine bağlı minimum kesit alanı ifadesi elde edilmiştir.

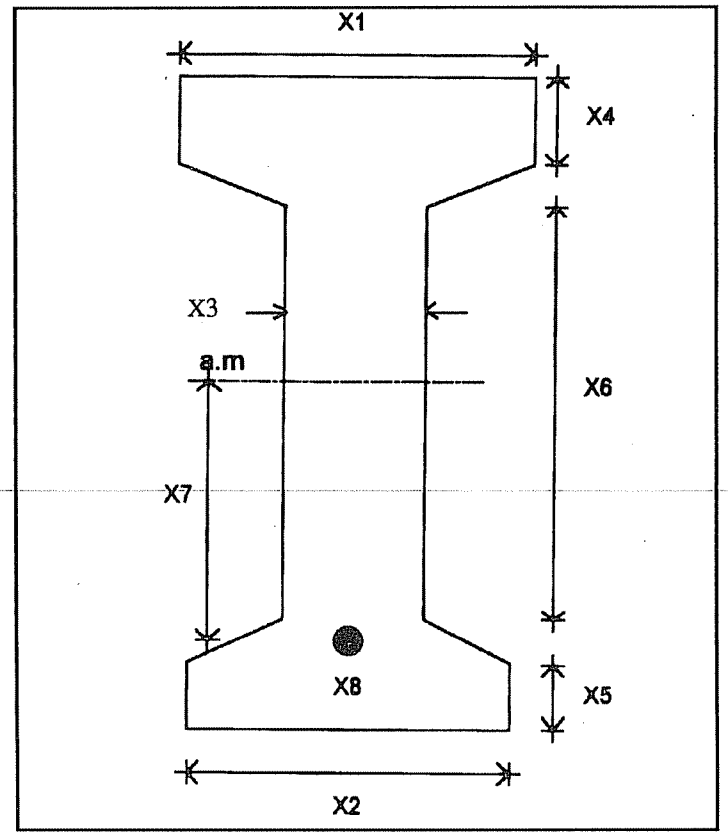
Şekil 1' de görülen I kesit sekiz parametre ile tanımlanmaktadır. Bunlardan altısı kesit boyutları ile ilgili parametrelerdir (X1-X6). X7 eksantrisite, X8 ise öngerilme kuvvetini gösteren parametrelerdir.

Optimizasyon yöntemi olarak direkt araştırma yöntemlerinden "Grid Search" yöntemi (9) kullanılmıştır.

Tasarımda minimum kesit alanı, minimum öngerilme kuvveti ve eksantrisite değerleri hesaplanmaktadır. Öngerilme kuvvetinin minimum olması eksantrisitenin maksimum olmasına bağlı olduğu için, eksantrisite değerinin maksimum olması sağlanmaktadır. Bunun için, kesite uygulanabilecek eksantrisite değeri için de optimizasyonda kısıtlayıcı kullanılmaktadır. Öngerilme kuvveti ve eksantrisite değerlerinin hesaplanmasında Magnel'in grafik metodundan yararlanılmaktadır.

## 2. ÖNGERİLMELİ BETON KİRİŞLERİN OPTİMUM TASARIMI

Öngerilmeli beton kirişlerin optimum tasarımında optimizasyon problemi aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.




**Şekil 1.** Öngerilmeli I Kesit.

Amaç fonksiyonu

$$\min Z(x) = A_c + A_p \tag{4}$$

Kısıtlayıcılar

$$g_i(x) \leq 0, \quad x \geq 0 \qquad (i=1,15). \tag{5}$$

Burada, $A_c$ ve $A_p$ beton ve donatı kesit alanlarını göstermektedir.

**a. Gerilme Kısıtlayıcıları**

Kesitte meydana gelen gerilmeler transfer durumunda

Üst lifte

$$FTT = \frac{P}{A} - \frac{PeY_t}{I} - F_{td} \tag{6}$$

Alt lifte

$$FTB = \frac{P}{A} + \frac{PeY_b}{I} - F_{bd} \tag{7}$$

Servis durumunda

Üst lifte

$$FST = \frac{P\alpha}{A} - \frac{P\alpha eY_t}{I} + F_{td} + F_{tl} \tag{8}$$

alt lifte

$$FSB = \frac{P\alpha}{A} + \frac{P\alpha eY_b}{I} - F_{bd} - F_{bl} \tag{9}$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Burada, P=Öngerilme kuvveti; e=eksantrisite; A=kesit alanı; I=kesit atalet momenti; $Y_t$,$Y_b$=sırasıyla kesit ağırlık merkezinden üst ve alt liflere olan mesafeler; $F_{td}$,$F_{bd}$=sırasıyla kirişin kendi ağırlığından dolayı üst ve alt liflerde meydana gelen gerilmeler; $F_{tl}$,$F_{bl}$=sırasıyla hareketli yükten dolayı üst ve alt liflerde meydana gelen gerilmelerdir. Eksantrisite e kesit ağırlık merkezinden aşağıya doğru pozitif kabul edilmektedir.

Transfer ve servis durumlarında meydana gelen gerilme değerleri müsaade edilen çekme ve basınç gerilme değerlerini geçmemelidir. Dolayısı ile ilk dört kısıtlayıcı ifadeleri

$$g_1(x) = -FTT - IT \leq 0 \tag{10}$$

$$g_2(x) = FTB - IC \leq 0 \tag{11}$$

$$g_3(x) = FST - FC \leq 0 \tag{12}$$

$$g_4(x) = -FSB - FT \leq 0 \tag{13}$$

olarak elde edilmektedir. Burada, IT=transfer durumunda müsaade edilen çekme gerilmesi; IC=transfer durumunda müsaade edilen basınç gerilmesi; FC=servis durumunda müsaade edilen basınç gerilmesi; FT=servis durumunda müsaade edilen çekme gerilmesidir.

**b. Taşıma Gücü Kısıtlayıcısı**

Kirişin taşıma gücü momenti hesap momentinden büyük olmalıdır. Taşıma gücü momenti hesabı ACI 318 standardına (11) göre yapılmaktadır.

$$g_5(x) = -M_{res} + M_d \leq 0 \tag{14}$$

Burada $M_{res}$ taşıma gücü momentini, $M_d$ ise hesap momentini göstermektedir.

**c. Kesme Kuvveti Kısıtlayıcısı**

Öngerilmeli beton kirişler öngerilme kuvvetinin etkisinden dolayı kesmeye karşı dayanıklıdır. Öngerilmeli beton elemanlar için nominal kayma gerilmesi $\vartheta_c$ ACI 318 standardına göre aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$\vartheta_c = 0.05\sqrt{f_c'} + 4.8265\frac{V_d d}{M_d} \tag{15}$$

Burada $f_c'$ karakteristik beton dayanımını, $M_d$ hesap eğilme momentini, $V_d$, kirişin mesnet ortasından d uzaklığındaki hesap kesme kuvvetini, d kesitin faydalı yüksekliğini göstermektedir.

Hesaplanan bu değer ise aşağıda verilen sınır değerleri içerisinde olmalıdır.

$$0.167\sqrt{f_c'} \leq \vartheta_c \leq 0.417\sqrt{f_c'} \tag{16}$$

Dolayısı ile 6 ve 7 nolu kısıtlayıcılar

$$g_6(x) = \vartheta_{cL} - \vartheta_c \leq 0 \tag{17}$$

$$g_7(x) = \vartheta_c - \vartheta_{cu} \leq 0 \tag{18}$$

olarak elde edilmektedir. Burada $\vartheta_{cL}$ ve $\vartheta_{cu}$ nominal kayma gerilmesi için alt ve üst sınırları göstermektedir. Beton tarafından taşınan kayma gerilmesinin, toplam kayma gerilmesinin beşte biri olduğu kabul edilmektedir.

$$b_w d \geq \frac{0.2\,V_d}{\vartheta_c} \tag{19}$$

bu durumda 8 nolu kısıtlayıcı

$$g_8(x) = \frac{0.2\,V_d}{\vartheta_c} - b_w d \leq 0 \tag{20}$$

şeklinde verilmektedir. Burada $b_W$ kesitin gövde genişliğini göstermektedir.

**d. Sehim Kontrolü Kısıtlayıcıları**

Öngerilmeli beton kirişlerde sehim üç aşamada incelenmektedir. Birinci aşama başlangıç aşamasıdır. Bu durumda kirişe sadece kirişin kendi ağırlığı ve öngerilme kuvveti etki etmektedir. Öngerilmeli beton kirişlerde transferden sonra kirişin kendi ağırlığının etkisi ile aşağı doğru sehim, öngerilme kuvvetinin etkisi ile de yukarı doğru ters sehim meydana gelmektedir. Kirişin kendi ağırlığından dolayı oluşan sehim ile öngerilme kuvvetinden dolayı oluşan sehim

$$\Delta_{wo}=\frac{5}{384}\frac{w_D L^4}{E_c I_g} \qquad (\downarrow \text{Aşağı}) \tag{21}$$

$$\Delta_{pi}=-\frac{5}{48}\frac{P_i e L^2}{E_c I_g} \qquad (\uparrow \text{Yukarı}) \tag{22}$$

İfadeleri ile hesaplanmaktadır. Kirişte oluşan toplam sehim ise

$$\Delta = \Delta_{wo} + \Delta_{pi} \tag{23}$$

ifadesi ile elde edilmektedir. Burada $P_i$ transferde öngerilme kuvvetini, e eksantrisiteyi, $E_c$ beton elastisite modülünü, $I_g$ çatlamamış kesit atalet momentini, L kiriş boyunu, $w_D$ kirişin kendi ağırlığından dolayı oluşan yükü göstermektedir. Toplam sehim ile ilgili kısıtlayıcı

$$g_g(x)=\Delta-\frac{L}{180}\le 0 \tag{24}$$

şeklinde ifade edilmektedir.

İkinci aşamada kiriş ihmal edilmiş olup kirişe efektif öngerilme kuvveti etki etmektedir. Bu durumda sehim,

$$\Delta_e=(\Delta_{wo}+\Delta_{pi}\alpha)C_{CL} \tag{25}$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Burada $C_{CL}$, betonun sünme etkisi gözönüne alınarak hesaplanmış ve değeri 1.8 olan sehim katsayısıdır (ACI 318). Bu duruma ait kısıtlayıcı

$$g_{10}(x)=\Delta_e-\frac{L}{180}\le 0 \tag{26}$$

ifadesi ile verilmektedir.

Üçüncü aşama servis aşaması olup kirişe hareketli yük etki etmektedir ve sehim,

$$\Delta_{wL}=\frac{5}{384}\frac{w_L L^4}{E_c I_g} \tag{27}$$

ifadesi ile toplam sehim ise,

$$\Delta_F = \Delta_{WL} + \Delta_{W0} + (\Delta_{pi}\,\alpha)\,C_{CL} \qquad (28)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır. $C_{CL}$ değeri betonun sünme etkisi gözönüne alınarak hesaplanmış ve değeri 1.8 olan katsayıdır (ACI 318). (28) ifadesi kullanılarak servis durumundaki kısıtlayıcı

$$g_{11}(x) = \Delta_F - \frac{L}{360} \le 0 \qquad (29)$$

olarak elde edilmektedir.

**e. Eksantrisite Kısıtlayıcısı**

$$g_{12}(x) = X7 - Y_b + e_c \le 0 \qquad (30)$$

Burada $e_c$ kesitin alt lifinden itibaren kabloyu korumak için bırakılan mesafeyi göstermektedir.

**f. Boyutsal Kısıtlayıcılar**

Boyutların uygulanabilir sınırlarda kalmasını sağlamak amacı ile boyutlar ile ilgili kısıtlayıcılar

$$g_{13}(x) = \frac{X1}{X4} - 8 \le 0 \qquad (31)$$

$$g_{14}(x) = \frac{X2}{X5} - 8 \le 0 \qquad (32)$$

$$g_{15}(x) = \frac{X6}{X3} - 8 \le 0 \qquad (33)$$

ifadeleri ile verilmektedir. Burada 8 katsayısı tasarımcının kararına göre değiştirilebilir.

## 3. OPTİMİZASYON ALGORİTMASI

Bu çalışmada direkt araştırma yöntemlerinden "Grid Search" yöntemi kullanılmaktadır. Bu metodun en önemli özelliği, amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcı fonksiyonların türevlerinin alınmasına gerek olmayışıdır.

Bu yöntemde $X_i$ değişkenlerinin minimum ve maksimum değerleri bellidir. Dolayısı ile optimum çözüm seti $X_i^* = X_1^*, \ldots\ldots\ldots\ldots, X_n^*$

$$X_{imin} \le X_i^* \le X_{imax} \qquad (i=1,n) \qquad (34)$$

değerleri arasındadır. Burada n parametre sayısını göstermektedir.

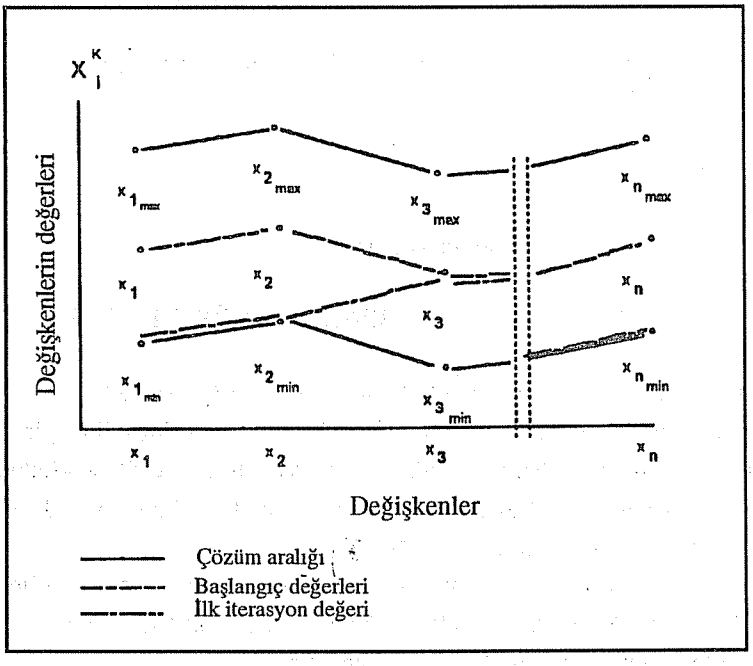
X değişkenlerinin minimum ve maksimum değerleri bilindiği için problemin çözüm aralığı,

$$\delta_i = X_{i_{max}} - X_{i_{min}} \qquad (i = 1, n) \qquad (35)$$

ile verilmektedir. Optimum değerleri bulmak için $\delta_i$ çözüm aralığı $m_J$ adet ara değere bölünmekte ve $(m_J + 1)$ nokta elde edilmektedir. Ara bölme sayısı ne kadar fazla olursa işlem miktarı da o kadar artmaktadır. Bu yöntemde işlem miktarını artırmamak için ara bölme sayısı iki olarak alınmaktadır. Böylece işlem sayısı azaltılarak etkin bir araştırma süreci ile optimum çözümler hesaplanabilmektedir.

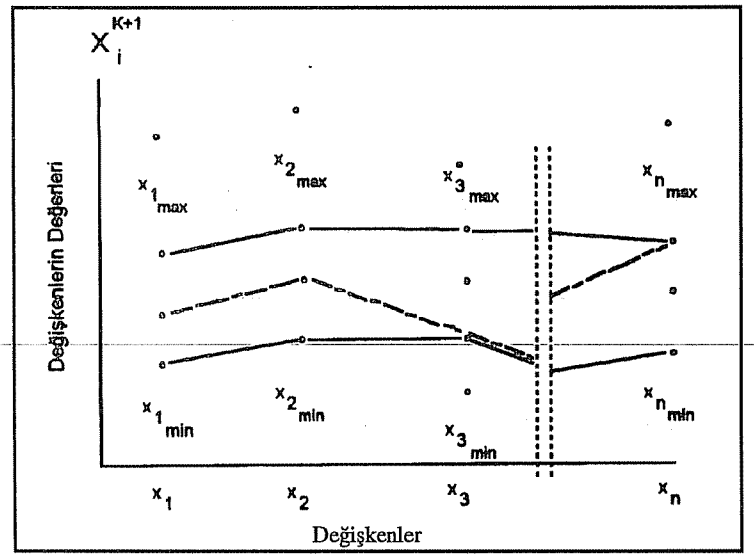
Optimizasyon algoritması aşağıda verilmektedir.

I. Başlangıç değerleri $X_i^K$ seçilir. Burada K iterasyon sayısını göstermektedir. $X_i = X_i^K$ için Z(x) amaç fonksiyonunun değeri hesaplanır. Fonksiyonun değeri $X_i^K + \beta_i$ noktalarında hesaplanır. Burada $\beta_i$, $0, \pm \delta_i / m_j$ olmak üzere üç adet değer almaktadır. $\delta_i / m_J$ sabit bir değerdir. İlk iterasyonda elde edilen yeni X değerleri Şekil 2' de görülmektedir.




**Şekil 2.** İlk iterasyon değerleri.

II. İlk iterasyonda bulunan değerler $X^{K+1}$ olarak alınır. Çözüm aralığı daraltılır ve I. adıma gidilir. Yeni değerler hesaplanır. Şekil 3'te hesaplanan yeni değerler görülmektedir.




**Şekil 3.** İkinci iterasyonda en iyi değerler.

III. Optimum $X_i^*$ değerleri bulununcaya kadar işleme devam edilir. Yakınsaklık kriteri

$$\frac{X^{K+1} - X^K}{X^K} \leq \varepsilon \qquad (36)$$

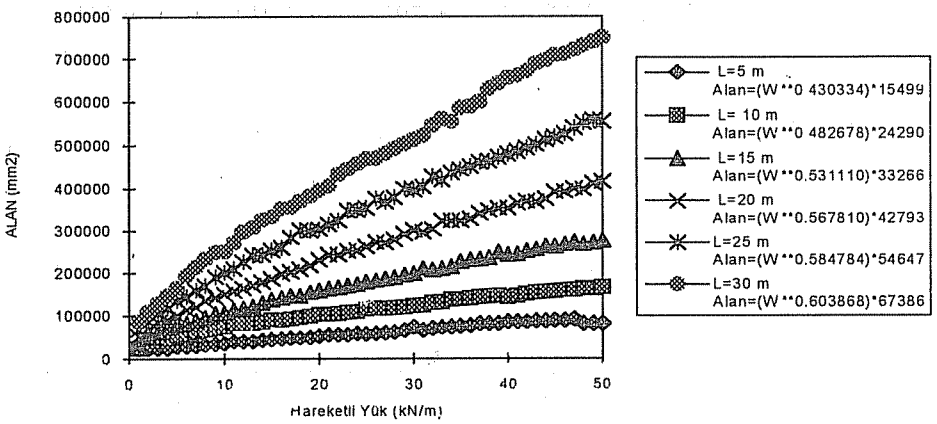
ile verilmektedir. Burada $\varepsilon$ $10^{-10}$ alınmaktadır.

## 4. OPTİMUM KESİT ALANI İLE HAREKETLİ YÜK VE KİRİŞ AÇIKLIĞI İLİŞKİSİ

Hazırlanan program ile değişik açıklıklardaki optimum öngerilmeli beton kirişlerin değişik hareketli yükler etkisi altındaki optimum kesit alanları elde edilmiştir.

Optimum kesit alanı ve hareketli yük arasındaki ilişki değişik açıklıktaki kirişler için Şekil 4' te verilmektedir. Şekil 4' te verilen ifadelerde optimum alan değerleri kiriş açıklığı ve w hareketli yük değerlerine bağlıdır.

w üniform yayılı yük 0 ile 50 kN/m arasında değişmektedir. Müsaade edilen gerilme değerleri; IC=13.2384 N/mm$^2$, IT=0.979 N/mm$^2$, FC=15.5137 N/mm$^2$, FT=2.9303 N/mm$^2$ dir. Öngerilme kayıp faktörü 0.85 alınmıştır.

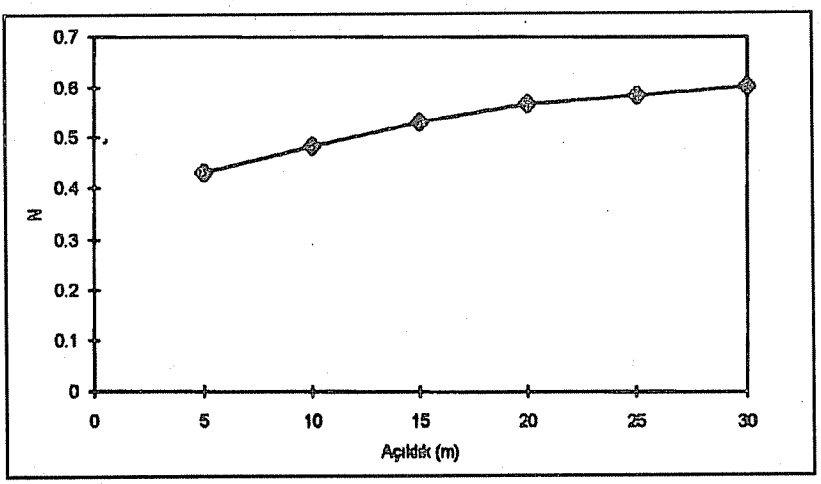



**Şekil 4.** Optimum değerler.

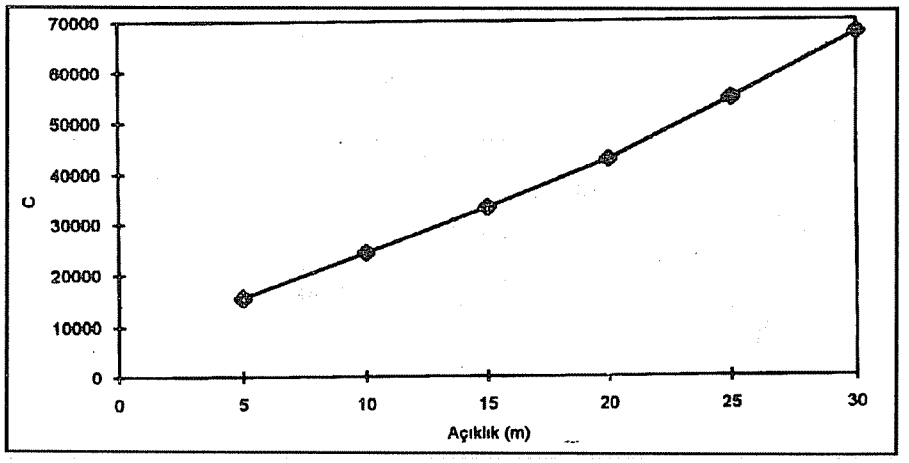
Optimum kesit alanı ile hareketli yük ve açıklık arasında elde edilen ifadeler aşağıdaki formda yazılabilmektedir.

$$A = c\, W^N \tag{37}$$

Burada c ve N açıklığa bağlı parametrelerdir. N ile L ve c ile L arasındaki ilişki Şekil 5 ve Şekil 6' da verilmektedir.




**Şekil 5.** N-Açıklık Eğrisi




Şekil 6. c - Açıklık Eğrisi.

(37) nolu denklemi kullanarak optimum kesit alanı için aşağıdaki ifade elde edilmektedir.

$$A = (B + C\ L)\ W^{(D+E\ L)} \qquad (38)$$

Burada B, C, D ve E sabit katsayılar olup, B=4400, C=2040, D=0.412 ve E=0.007 olarak verilmektedir.

## ÖRNEK

Taylor (2) tarafından çözülen ve 16.4592 m uzunluğundaki öngerilmeli beton kirişin minimum kesit alanı (38) denklemi ile hesaplanmıştır. Müsaade edilen gerilme değerleri; transfer durumu için basınç gerilmesi 13.2384 N/mm$^2$, çekme gerilmesi 0.979 N/mm$^2$, servis durumu için basınç gerilmesi 15.5137 N/mm$^2$, çekme gerilmesi 2.9303 N/mm$^2$ dir. Öngerilme kayıp faktörü 0.85 dir. Hareketli yük 23.34 kN/m dir. Önerilen formül ile hesaplanan minimum kesit alanı 199912 mm$^2$, Taylor (4) tarafından hesaplanan kesit alanı ise 205160 mm$^2$ dir.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada öngerilmeli beton kirişlerin minimum kesit alanının hesabı için bir formül önerilmektedir. Formül sadece hareketli yük ve kiriş açıklığına bağlıdır. Diğer parametreler ise sabit katsayılardır. Önerilen formül ile 30 m ye kadar değişik açıklıklarda ve 50 kN/m ye kadar değişik hareketli yükler etkisi altındaki kirişlerin optimum kesit alanı hesaplanmaktadır. Önerilen formül ön tasarım aşamasında gerekli minimum kesit alanı hesabında kullanılabilmektedir.

## 6. KAYNAKLAR


1. *Magnel, G., Prestressed Concrete, Concrete Publications Ltd, London, U.K.,1948.*
2. *Taylor, M. A., "Direct Design of Nonprismatic Prestressed Beams:I", Journal of Structural Engineering, Vol. 113, No. 6, ASCE, pp. 1154-1166, June, 1987.*
3. *Somayaji, S., "Prestressed Concrete Flexural Member: Design", Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 108, No. ST 8, pp. 1781-1796, August, 1982.*
4. *Taylor, M. A., and Amirebrahimi, A., "Direct Design of Nonprismatic Prestressed Beams:II", Journal of Structural Engineering, Vol. 113, No. 6, ASCE, pp. 1167-1184, June, 1987.*
5. *Orr, D. M. F., "Magnel Diagrams For Composite Prestressed Concrete Beams", Proc. Instn Civ. Engrs, Part 2, pp. 71-80, 1986.*
6. *Krishnamurthy, N., "Magnel Diagrams For Prestressed Concrete Beams", Journal of Structural Engineering, Vol. 109, No. 12, ASCE, pp. 2761-2769, December, 1983.*
7. *Khachaturian, N., and Gurfinkel, G., Prestressed Concrete, Mc Graw-Hill, New York, N.Y., 460 pp., 1969.*
8. *Lin, T. Y., ve Burns, N. D., Design of Prestressed Concrete Structures, John Wiley and Sons Inc, New York, 646 pp., 1981.*
9. *Walsh, G. R., Methods of Optimization, John Wiley and Sons Ltd., 200 pp., 1975.*
10. *TS 3233, Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Şubat 1979.*
11. *ACI 318-71, Building Code of Requirements for Reinforced and Prestressed Concrete, 1974.*

ISSN 1019-1011

| Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ | | Haziran/Aralık | 1995 | Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH. | |
|---|---|---|---|---|---|
| *CİLT 10* | *SAYI 1-2* | June/December | | *VOL.10* | *NO.1-2* |


# DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ YAPILAR İÇİN YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİM ANALİZİ

**Ali Hamza TANRIKULU ve Hüseyin R. YERLİ**
*Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*

**ÖZET :** *Deprem etkisi altındaki yapıların davranışı genel olarak iki farklı yaklaşımla incelenmektedir. Bunlardan birincisi pratik mühendislik uygulamalarında kullanılan ve yapı-zemin etkileşimini gözönüne almayan yaklaşımdır. Diğer yaklaşımda (direkt metod ve alt yapılara ayırma metodu) ise, bunun aksine, yapı ile zemin arasındaki etkileşim dikkate alınarak yapının davranışı belirlenmektedir. Bu çalışmada sözü edilen yöntemler kısaca tanıtılmaktadır. Ayrıca bir örnek üzerinde bu yöntemler kullanılmakta ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmaktadır.*

# SOIL-STRUCTURE INTERACTION ANALYSIS FOR STRUCTURES SUBJECTED TO EARTHQUAKE EXCITATION

**ABSTRACT :** *In general, there are two approaches for analysing the behaviour of structures subjected to earthquake excitation. One of the methods named regular earthquake analysis does not consider the interaction of soil and structure. Alternative approaches, namely, direct method and substructure method, make use of soil-structure interaction. In this study, above mentioned methods are briefly described. The methods are used for a sample problem and comparisons of the results from these methods are made.*

## 1. GİRİŞ

Bilindiği gibi, inşaat mühendisliğinin en önemli konularından biri yapıların deprem etkisi altında davranışlarının incelenmesidir. Güvenilir bir uyarı sisteminin henüz geliştirilememiş olması, yapıların depreme karşı dayanıklı ve sağlam düzenlenerek depremin etkilerinden korunması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Pratik mühendislik uygulamalarında yapı temelinin zemine ankastre olarak bağlandığı kabul edilmekte ve yapı ile zemin arasındaki etkileşim gözardı edilmektedir. Bu nedenle deprem hareketinden dolayı zeminde meydana gelen deplasman olduğu gibi yapıya aktarılmakta ve yapının davranışı incelenmektedir.

Gerçekte, yapı ile zemin arasında bir etkileşim bulunmakta ve bu etkileşimin gözönüne alınması yapının davranışında değişiklikler meydana getirmektedir. Yapı-zemin etkileşimini gözönüne alarak yapıların davranışını incelemek için başlıca iki yöntem bulunmaktadır. Bunlar, direkt metod (DM) ve alt yapılara ayırma metodu (substructure metodu, SM)'dur (1,2). Bu çalışmanın amacı, deprem etkisi altındaki yapının davranışının bu iki yöntemle incelenmesi ve pratikte uygulanan yöntemle (regular earthquake analysis, REA) karşılaştırılmasıdır.

## 2. DİREKT METOD

Bu yöntemde, yapı ve zemin birlikte gözönüne alınarak, deprem etkisi altında analiz yapılmaktadır. Bu yöntem iki aşamada uygulanmaktadır: *i)* deprem hareketinden dolayı zemin tabanında oluşan deplasmanın belirlenmesi (serbest analiz), *ii)* zemin tabanında bulunan deplasmanın etkisi altında yapı ve zemin birlikte düşünülerek analizin yapılması (etkileşim analizi) (2).

### 2.1. Serbest Analiz

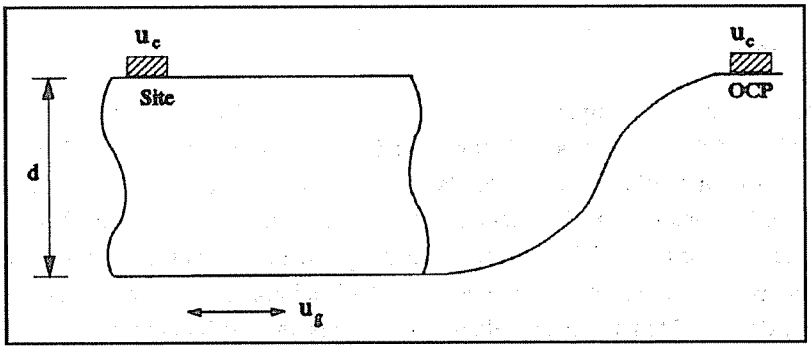
Bilindiği gibi, sismik araçlar yardımı ile yeryüzünün belirli yerlerinde (kontrol noktalarında) deprem hareketleri kaydedilmektedir. Serbest analizde, kontrol noktalarında elde edilen kayıtlar kullanılarak zemin tabanında meydana gelen deplasman ($u_g$) hesap edilmektedir. $u_g$'nin hesabı, kontrol noktasının yerine bağlı olarak değişmektedir. Kontrol noktalarının yeri genelde, yapı inşaa alanında (site'de) ya da yapı altındaki zemin tabanının yeryüzüne çıktığı kabul edilen bir noktada (outcrop, OCP) seçilmektedir (Şekil 1).

Buna göre zemin tabanındaki deplasman ($u_g$) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$u_g^F = \begin{cases} u_c^F \cos \alpha d & \text{Kontrol Noktası site'de} \\ u_c^F & \text{Kontrol Noktası OCP'ta} \end{cases} \qquad (1)$$

$$\alpha = \frac{\omega}{c_s} \quad , \quad c_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \tag{2}$$

Burada üst indis "F" ifadenin Fourier transform uzayındaki değerini göstermektedir. Ayrıca $\omega$, $\mu$, $\rho$ ve $c_s$ sırasıyla Fourier transform parametresi, kayma modülü, kütle yoğunluğu ve kayma dalga hızını ifade etmektedir.




**Şekil 1.** Kontrol noktasının yeri.

### 2.2. Etkileşim Analizi

Bu aşamada, serbest analiz sonucu bulunan $u_g^F$ deplasmanı etkisi altında tüm sistemin (yapı + zemin) analizi yapılmaktadır. Bu analizde genellikle sayısal bir çözüm yöntemi olan sonlu elemanlar metodu kullanılmaktadır.

## 3. SUBSTRUCTURE METODU

Bu yöntemde, yapı ile zemin ayrı ayrı gözönüne alınarak etkileşim analizi gerçekleştirilmektedir. Bu metodun çözüm basamakları şöyledir: *i)* impedans analizi, *ii)* serbest analiz, *iii)* impedans ilişkisinin modifikasyonu, *iv)* yapının analizi.

Burada ilk üç adımda sadece zemin gözönüne alınmakta ve impedans ilişkisi yardımıyla zeminin yapıya olan etkisi belirlenip son adımda bu etkileşim altında yapının analizi yapılmaktadır (2).

### 3.1. İmpedans Analizi

Burada amaç, yapının zemine temas ettiği noktalardaki etkileşim deplasmanlarıyla kuvvetler arasındaki ilişkiyi kuran impedans matrisinin elde edilmesidir. Bunun için zemin kısmının sadece etkileşim kuvvetlerinin etkisi altında olduğu varsayılmaktadır. Bu durumda impedans ilişkisi aşağıdaki gibidir:

$$\underline{F} = \underline{S}\,\underline{u} \tag{3}$$

$\underline{F}$ : Etkileşim kuvvetleri vektörü (nx1),
$\underline{u}$ : Etkileşim deplasmanları vektörü (nx1),
$\underline{S}$ : İmpedans matrisi (nxn),
n : Etkileşim noktalarındaki bilinmeyen deplasman sayısı.

(3) denkleminden

$$\underline{u} = \underline{C}\,\underline{F} \quad , \quad \underline{C} = \underline{S}^{-1} \tag{4}$$

yazılabilir. Burada $\underline{C}$ impedans matrisinin tersi olup "compliance" matrisi olarak adlandırılır. Böylece $\underline{C}$ matrisi bulunursa, tersi alınarak impedans matrisi elde edilebilir. $\underline{C}$ matrisinin elde edilmesinde kullanılan yöntemlerden biri birim yükleme metodudur. Bu yöntemde $\underline{F}$ vektörünün " i " nci elemanına 1 (i = 1,...,n) diğerlerine 0 verilmekte, bu yükleme durumu için zemin kısmı çözülerek etkileşim deplasmanları ($\underline{u}$) bulunmaktadır. Bu deplasmanlar $\underline{C}$ matrisinin " i " nci kolonunu oluşturur. Bu şekilde $\underline{C}$ matrisi elde edildikten sonra tersi alınarak impedans matrisi bulunmuş olur.

Ayrıca, istenirse birim deplasman metodu kullanılarak impedans matrisi direkt olarak bulunabilir (2).

### 3.2. Serbest Analiz

Bu adımda zeminin, deprem etkisi altında gözönüne alınarak etkileşim noktalarındaki deplasmanların (free field deplasmanları, $\underline{u}^f$ ) bulunması amaçlanmaktadır. Bunun için

$$\underline{P} = \underline{K}\,\underline{U} \tag{5}$$

sistem denklemi çözülür ve $\underline{U}$ sistem deplasman vektörü elde edilir. Burada sistem deplasman vektörü, $\underline{u}^f$ deplasmanlarını içermektedir. Dolayısıyla (5) denkleminin çözülmesiyle $\underline{u}^f$ belirlenmiş olur.

### 3.3. İmpedans İlişkisinin Modifikasyonu

Şimdi zeminin hem deprem ve hem de etkileşim kuvvetlerinin etkisi altında olduğunu düşünelim. Bu durumda, etkileşim kuvvetlerinin sıfır olması halinde ($\underline{F} = \underline{0}$) etkileşim noktalarındaki deplasmanların $\underline{u}^f$ 'ye eşit olması gerekmektedir. Bunu sağlamak için (3) denklemi aşağıdaki gibi yeniden düzenlenmelidir :

$$\underline{F} = \underline{S}\,(\underline{u} - \underline{u}^f) \tag{6}$$

### 3.4. Yapının Analizi

Önceki adımda elde edilen etkileşim kuvvetlerinin ifadesi yapıya ait sistem

denkleminde yerine yazılarak sistem denklemi çözülür. Böylece zeminin, yapı davranışı üzerindeki etkisi gözönüne alınmış olur (3,4).

Yapıya ait sistem denklemini aşağıdaki formda yazalım:

$$\begin{bmatrix} \underline{A} & \underline{B} \\ \underline{B}^T & \underline{H} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{u} \\ \underline{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\underline{F} \\ \underline{f} \end{bmatrix} \tag{7}$$

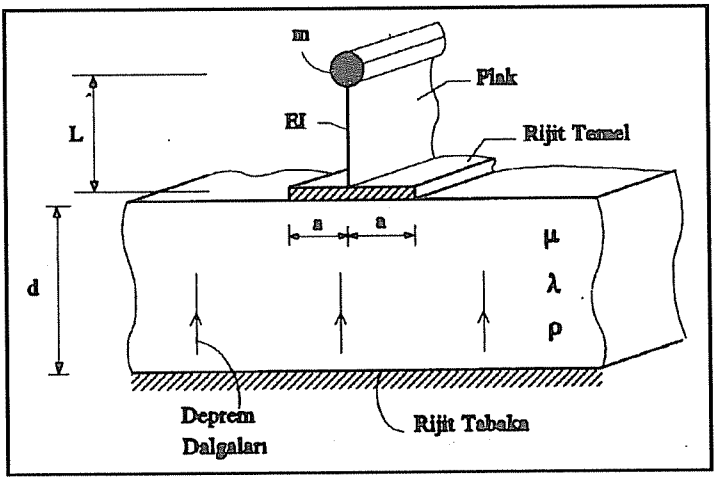
Burada $\underline{v}$ , yapının etkileşim noktaları dışında kalan düğüm deplasmanlarını, $\underline{f}$ ise yapıya etkiyen dış yükleri göstermektedir. (6) bağıntısı (7) de yerine konursa

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \underline{A}+\underline{S} & \underline{B} \\ \underline{B}^T & \underline{H} \end{bmatrix}}_{\underline{K}} \underbrace{\begin{bmatrix} \underline{u} \\ \underline{v} \end{bmatrix}}_{\underline{D}} = \underbrace{\begin{bmatrix} \underline{S}\,\underline{u}^f \\ \underline{f} \end{bmatrix}}_{\underline{P}} \tag{8}$$

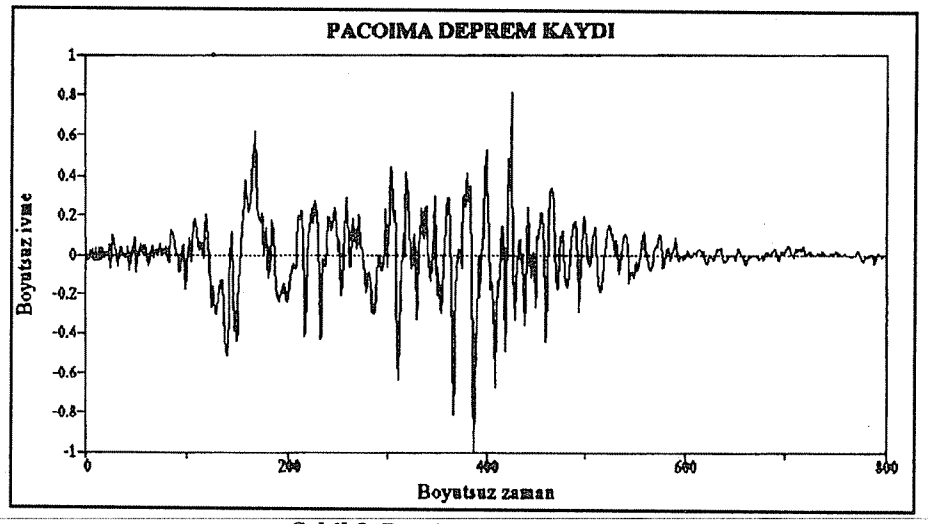
eşitliği elde edilir. Görüldüğü gibi yapı ile zemin arasındaki etkileşim, yapıya ait sistem denklemine katılmış olmaktadır.

## 4. SAYISAL UYGULAMA

Şekil 2'deki sistem, kalınlığı d olan zemin tabakası üzerindeki 2a genişliğinde rijit şerit temele oturan sonsuz uzunlukta kütlesiz elastik bir plak ve bu plak üzerinde toplanmış kütleden (m) oluşmaktadır. Şekilde EI plağın elastik özelliğini; $\mu$, $\lambda$ ve $\rho$ ise zemine ait özellikleri göstermektedir. Bu sistemin Pacoima depremi (2) etkisi altında olduğu (Şekil 3) kabul edilerek plak tabanında oluşan maksimum kesme kuvvetinin plak eğilme rijitliği ile değişimi incelenecektir. Bu değişim yukarıda anlatılan yöntemler kullanılarak bulunabilir.




**Şekil 2.** Sayısal uygulamada gözönüne alınan sistem.




**Şekil 3.** Pacoima deprem kaydı.

Problemin çözümünde boyutsuz büyüklükler kullanılmıştır. Boyutsuz büyüklüklerin tarifi aşağıdaki gibidir:

$$\bar{t}=\frac{tc_s}{a} \qquad \overline{V}=\frac{V}{\mu a^2} \qquad \overline{EI}=\frac{EI}{\mu a^4} \tag{9}$$

Burada $\bar{t}$ ve $\overline{V}$ sırasıyla boyutsuz zaman ve boyutsuz kesme kuvvetidir. Ayrıca bu problemde $\bar{d}$=10, $\overline{m}$=1, $\bar{L}$=1, Poisson oranı $\nu$=0.2 olarak alınmıştır.

### 4.1. Direkt Metod

**a) Serbest Analiz**

$$u_g=\begin{cases} u_c \cos \alpha d & \text{Kontrol Noktası site'de} \\ u_c & \text{Kontrol Noktası OCP'ta} \end{cases} \tag{10}$$

Burada $u_c$ Pacoima deprem kaydından alınan kontrol noktası deplasmanlarının Fourier transform uzayındaki değeridir.

**b) Etkileşim Analizi**

$u_g$ etkisi altında sistem, sonlu elemanlar yöntemiyle çözülerek çeşitli $\overline{EI}$ değerlerine karşılık maksimum kesme kuvvet hesaplanmıştır (Şekil 6). Analizde SAP90 paket programı kullanılmıştır (5).

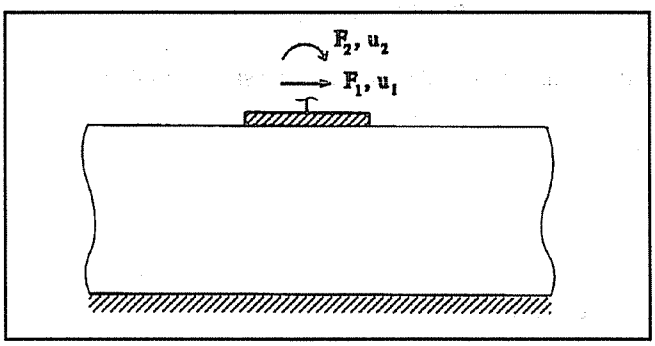
## 4.2. Substructure Metodu

### a) İmpedans Analizi

Şekil 4'te görülen etkileşim kuvvetleri ve deplasmanları arasında

$$\underbrace{\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix}}_{\underline{F}} = \underbrace{\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}}_{\underline{S}} \underbrace{\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}}_{\underline{u}} \tag{11}$$

eşitliği yazılabilir. Bu çalışmada $\underline{S}$ matrisinin elemanları birim yükleme ve sınır eleman yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir (6).




**Şekil 4.** Etkileşim kuvvetleri ve deplasmanları.

### b) Serbest Analiz

Etkileşim noktasındaki "free field" deplasmanları aşağıdaki gibidir:

$$u_2^f = 0$$

$$u_1^f = \begin{cases} u_c & \text{Kontrol Noktası site'de} \\ \dfrac{u_c}{\cos \alpha d} & \text{Kontrol Noktası OCP'ta} \end{cases} \tag{12}$$

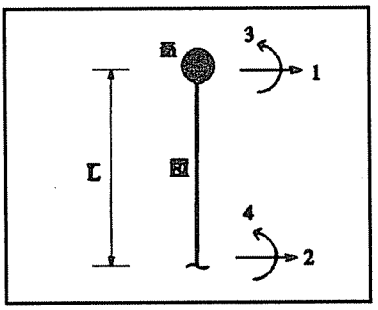
### c) İmpedans İlişkisinin Modifikasyonu

Bu problemde $S_{12}=S_{21}=0$ olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda etkileşim kuvvetleri:

$$\begin{aligned} F_1 &= S_{11}\,(u_1 - u_1^f) \\ F_2 &= S_{22}\,u_2 \end{aligned} \tag{13}$$

olarak elde edilmektedir.

**d) Yapının Analizi**




**Şekil 5.** Yapının analizi.

Şekil 5'de görülen yapıya etki eden kuvvetler aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} F_1 &= \omega^2 \overline{m} u_1 \\ F_2 &= -S_{11}(u_2 - u_2^f) \\ F_3 &= 0 \\ F_4 &= S_{22}\, u_4 \end{aligned} \qquad (14)$$

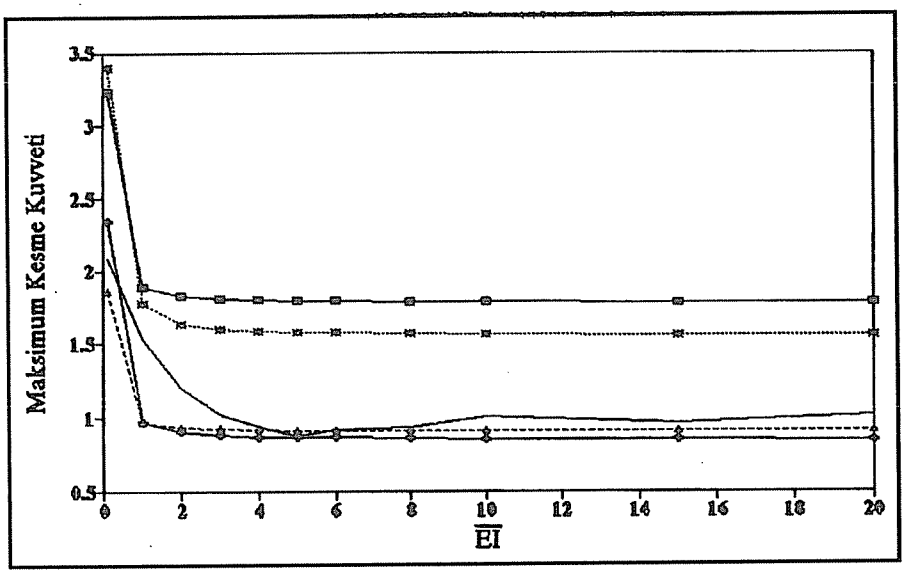
Bu durumda yapıya ait sistem denklemi

$$\overline{EI}\begin{bmatrix} 12 - \bar{\omega}^2/\overline{EI} & -12 & 6 & 6 \\ -12 & 12 + S_{11}/\overline{EI} & -6 & -6 \\ 6 & -6 & 4 & 2 \\ 6 & -6 & 2 & 4 - S_{22}/\overline{EI} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ S_{11}u_2^f \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad (15)$$

şeklinde elde edilir. (15) denklemi değişik $\overline{EI}$ değerleri için çözülerek tabandaki kesme kuvveti , $F_2$, (14) numaralı bağıntı yardımıyla bulunmaktadır (3,4).

## 5. SONUÇLAR

Şekil 6'da, pratikte uygulanan deprem analizi sonuçları ile yapı-zemin etkileşimi gözönüne alınarak yapılan deprem analizinden elde edilen sonuçların birbirlerinden pek farklı olmadığı görülmektedir. Bu nedenle pratikte uygulanan deprem analizi yönteminin fazla hatalı sonuçlar vermediği ve yapıların analizinde güvenle kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte çok hassas yapılarda (nükleer santraller, barajlar vb.) analizin, yapı ile zemin etkileşiminin gözönüne alınarak yapılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.




**Şekil 6.** Maksimum kesme kuvvetinin $\overline{EI}$ ile değişimi.

Yapı ile zemin etkileşiminin gözönüne alınmasında kullanılan substructure metodunun direkt metoda göre daha efektif olarak kullanılabileceği gözlenmiştir. Şöyle ki yapı özelliklerinin değişmesi durumunda direkt metodda her seferinde yapı ile zemin birlikte çözülmektedir. Oysa substructure metodunda zemin bir defa çözüldükten sonra, yapının özelliklerinin değişmesiyle sadece yapının analizini yapmak yeterli olacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

1. *Wolf, J.P., Soil Structure Interaction Analysis in Time Domain, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1988.*

2. *Mengi, Y., Earthquake Engineering and Soil Structure Interaction Analyses Ders Notları.*

3. *Mengi, Y., Structural Dynamics Ders Notları.*

4. *Clough, R.W., Penzien, J., Dynamics of Structures, McGraw-Hill, Singapore, 1993.*

5. *Wilson, E.L., Habibullah, A., SAP90 Structural Analysis Users Manual, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, 1995.*

6. *Mengi, Y., Tanrıkulu, A.H., Tanrıkulu, A.K., Boundary Element Method for Elastic Media - An Introduction, ODTÜ, Ankara, 1994.*

ISSN 1019-1011

Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ Haziran/Aralık 1995 Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH.
*CİLT 10* *SAYI 1-2* June/December *VOL.10* *NO.1-2*

# ÇOK KATLI BİNALARIN ÜÇ BOYUTLU STATİK ANALİZİ İÇİN BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI

**Cengiz DÜNDAR ve Bülent ŞAHİN**
*Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye*

**ÖZET :** *Bu çalışmada çok katlı yapıların statik yükler altında üç boyutlu analizini yapan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Üç boyutlu yapı, kendi düzlemi içinde rijit olan monolitik rijit döşeme diyaframları ile kolon, perde ve kiriş elemanlarından oluşmaktadır. Bilgisayar programı özellikle binaların analizi için geliştirildiğinden veri girişi çok basite indirgenmiştir. Ayrıca kullanılan programlama dilinin (C++) özellikleri ve uygulanan analiz yöntemi ile sonuca çok hızlı olarak ulaşılmaktadır. Program ile literatürde mevcut olan bir sayısal örnek ele alınmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.*

# A COMPUTER PROGRAM FOR THE STATIC ANALYSIS OF THREE DIMENSIONAL MULTI-STOREY BUILDING FRAMES

**ABSTRACT :** *In this study a computer program has been developed for the static analysis of three dimensional (3D) multi-storey building frames. The building frames consist of rigid floor diaphragms, columns, shear walls and beam elements. Since the program is developed for 3D building frames only, data preparation has been simplified greatly. C++ programming language is used for coding the computer program. Finally a numerical example which is available in the literature has been presented and results compared.*

## 1. GİRİŞ

Günümüzde yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki analizi için genel amaçlı olarak hazırlanmış birçok bilgisayar programı mevcuttur. Ancak bu programların kullanımı özellikle üç boyutlu yapı sistemlerinin analizinde veri dosyalarının hazırlanması yönünden çok zahmetli ve zaman alıcı olabilmektedirler. Bu çalışmada kolon, perde ve kiriş elemanlarından oluşan çerçevelerin meydana getirdiği üç boyutlu yapı modelinin statik analizini çok hızlı bir şekilde yapabilen bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Programın dayandığı varsayımlar aşağıda verilmektedir:

**1.** Çok katlı yapı, yapı çerçevelerine bağlı ve kendi düzlemi içerisinde rijit olan monolitik döşeme diyaframlarından oluşmaktadır.

**2.** Yapıyı oluşturan eleman eksenlerinin herbiri, ortak referans eksen takımının eksenlerinden birisine paraleldir.

**3.** Yapıyı oluşturan elemanlar prizmatik olup lineer elastik malzemeden yapılmıştır. Gerilme-deformasyon ilişkisi lineerdir.

**4.** Elemanlarda eksenel, kayma ve eğilme deformasyonları gözönüne alınmaktadır. Ancak sadece kirişlerin eksenel deformasyonu, düzlemi içerisinde sonsuz rijit diyafram nedeni ile gözardı edilmektedir.

**5.** Perde elemanları ince duvarlı açık kesitli kolon olarak gözönüne alınmaktadır.

**6.** Deplasmanlar yapının tüm boyutuna kıyasla küçüktür.

## 2. ANALİZ YÖNTEMİ

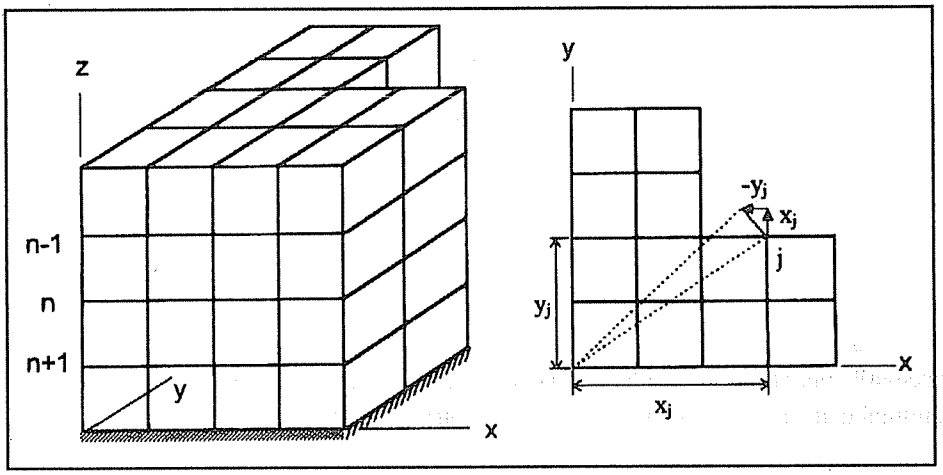
N katlı yapı ve yapının ortak referans ekseni (x, y, z) Şekil 1'de görülmektedir. z ekseninin pozitif yönü yukarıya doğru seçilmiştir. Yapı, düşey elemanlar (kolon ve perde) ile yatay kiriş elemanlarından oluşmaktadır. Yapının ortak referans eksenine göre kat hizalarında tanımlanan master noktalarının rijit diyafram deplasmanları ($u_x$, $u_y$, $q_z$) ile diyafram üzerindeki bir düğüme ait deplasmanlar arasındaki ilişki, 1 nolu varsayımdaki rijit diyafram kabulü gözönüne alınarak,

$$\begin{bmatrix} u_{jx} \\ u_{jy} \\ \theta_{jz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -y_j \\ 0 & 1 & x_j \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ \theta_z \end{bmatrix} \qquad (1)$$

bulunur. (1) ifadesi kapalı formda

$$\underline{D}_j = \underline{T}_j \underline{D}_M \qquad (2)$$

şeklinde yazılır (1-2). Burada $\underline{D}_j$, diyafram üzerinde bulunan bir düğümün deplasman vektörünü; $\underline{D}_M$ master noktasının deplasman vektörünü; $\underline{T}_j$ ise j düğümünün geometrik transformasyon matrisini göstermektedir.




**Şekil 1.** Üç boyutlu yapı ve kat planı.

(1) denklemi kullanıldığında yapı sisteminin bilinmeyen sayısı her kat için 6j yerine 3j+3 olmaktadır. Burada sabit olan 3, master noktasına bağımlı deplasman sayısını, 3j ise kirişlerin ve kolonların uçlarında yz ve yx düzlemlerinde eğilme, kayma ve burulma nedeni ile oluşan deplasman sayısını, j de kattaki toplam düğüm sayısını göstermektedir.

Yapının rijitlik matrisi N toplam kat sayısını göstermek üzere,

$$\begin{bmatrix} \underline{P}_1 \\ \underline{P}_2 \\ \underline{P}_3 \\ \vdots \\ \underline{P}_n \\ \underline{P}_{n+1} \\ \vdots \\ \underline{P}_{N-1} \\ \underline{P}_N \\ \underline{P}_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{K}_1 & \underline{K}_{12} & & & & & & & \underline{K}_{1M} \\ \underline{K}_{12}^T & \underline{K}_2 & \underline{K}_{23} & & & & & & \underline{K}_{2M} \\ & \underline{K}_{23}^T & \underline{K}_3 & \underline{K}_{34} & & & & & \underline{K}_{3M} \\ & & \ddots & \ddots & & & & & \vdots \\ & & & & \underline{K}_n & \underline{K}_{n,n+1} & & & \underline{K}_{nM} \\ \vdots & \vdots & & & \underline{K}_{n,n+1}^T & \underline{K}_{n+1} & & & \underline{K}_{n+1,M} \\ & & & & & \ddots & \ddots & & \vdots \\ & & & & & & \underline{K}_{N-1} & \underline{K}_{N-1,N} & \underline{K}_{N-1,M} \\ & & & & & & \underline{K}_{N-1,N}^T & \underline{K}_N & \underline{K}_{N,M} \\ \underline{K}_{1M}^T & \underline{K}_{2M}^T & \cdots & & \underline{K}_{nM}^T & \underline{K}_{n+1,M}^T & \cdots & \underline{K}_{N-1,M}^T & \underline{K}_{N,M}^T & \underline{K}_M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{D}_1 \\ \underline{D}_2 \\ \underline{D}_3 \\ \vdots \\ \underline{D}_n \\ \underline{D}_{n+1} \\ \vdots \\ \underline{D}_{N-1} \\ \underline{D}_N \\ \underline{D}_M \end{bmatrix} \quad (3)$$

şeklinde direkt rijitlik matrisi yöntemi ile elde edilir. Burada, $\underline{K}_n$, n nolu kattaki düğümlerde diyafram deplasmanlarından bağımsız deplasmanlar ile bu deplasmanlar doğrultusunda oluşan kuvvetler arasındaki ilişkiyi sağlayan kat rijitlik matrisini; $\underline{K}_{n,n+1}$, n+1 nolu kat düğümlerindeki bağımsız deplasmanlardan dolayı n katındaki düğümlerde oluşan kuvvetler arasındaki ilişkiyi sağlayan rijitlik matrisini; $\underline{K}_{n,M}$, master noktası rijit diyafram deplasmanlarından dolayı n nolu kattaki düğümlerde bu deplasmanlar doğrultusunda oluşan kuvvetler arasındaki ilişkiyi sağlayan rijitlik matrisini ve $\underline{K}_M$ de tüm katlara ait master noktası deplasmanları ile bu deplasmanlar

doğrultusunda oluşan kuvvetler arasındaki ilişkiyi sağlayan rijitlik matrisini göstermektedir. Ayrıca $\underline{D}_1$, $\underline{D}_2$,...,$\underline{D}_N$ katların rijit diyafram deplasmanlarından bağımsız düğüm deplasmanlarını, $\underline{D}_M$ katların rijit diyafram deplasmanlarını, $\underline{P}_1$, $\underline{P}_2$,..., $\underline{P}_N$ düğümlere bağımsız uç deplasmanlar doğrultusunda etki eden yük vektörlerini, $\underline{P}_M$ ise master noktası rijit diyafram deplasmanları doğrultusunda etki eden kuvvetlerden oluşan yük vektörünü göstermektedir.

Bilgisayar programında (3) denklemi direkt yöntem seçilerek analiz yapıldığında doğrudan Gauss Eliminasyon yöntemi tatbik edilerek çözülmektedir. (3) denkleminin çözümü, alternatif olarak sağlanan indirgenmiş matrisler yöntemi ile daha az bilgisayar hafızası gereksinimi ile yapılabilmektedir. Alt matrisleri birleştirme ve indirgeme işlemi sistematik olarak en üst kattan başlamak suretiyle tüm katlar için aşağıdaki şekilde yapılmaktadır: Ele alınan n katı için rijitlik matrisi denklemi,

$$\begin{bmatrix} \underline{P}_n \\ \underline{P}_{n+1} \\ \underline{P}_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{K}_n & \underline{K}_{n,n+1} & \underline{K}_{n,M} \\ \underline{K}_{n,n+1}^T & \underline{K}_{n+1} & \underline{K}_{n+1,M} \\ \underline{K}_{n,M}^T & \underline{K}_{n+1,M}^T & \underline{K}_M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{D}_n \\ \underline{D}_{n+1} \\ \underline{D}_M \end{bmatrix} \tag{4}$$

şeklinde yazılabilmektedir. (4) denkleminden $\underline{D}_n$,

$$\underline{D}_n = \underline{K}_n^{-1}(\underline{P}_n - \underline{K}_{n,n+1}\underline{D}_{n+1} - \underline{K}_{n,M}\underline{D}_M) \tag{5}$$

olarak elde edilir ve bu denklemin açık formda yazılmış ikinci ve üçüncü denklemlerinde yerine konulursa (4) denklemi

$$\begin{bmatrix} \underline{P}_{n+1}^* \\ \underline{P}_M^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{K}_{n+1}^* & \underline{K}_{n+1,M}^* \\ \underline{K}_{n+1,M}^{*T} & \underline{K}_M^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{D}_{n+1} \\ \underline{D}_M \end{bmatrix} \tag{6}$$

indirgenmiş olarak elde edilir. Bu denklemde yer alan alt matrisler,

$$\begin{aligned} \underline{K}_{n+1}^* &= \underline{K}_{n+1} - \underline{K}_{n,n+1}^T \underline{K}_n^{-1} \underline{K}_{n,n+1} \\ \underline{K}_{n+1,M}^* &= \underline{K}_{n+1,M} - \underline{K}_{n,n+1} \underline{K}_n^{-T} \underline{K}_{n,M} \\ \underline{K}_M^* &= \underline{K}_M - \underline{K}_{n,M}^T \underline{K}_n^{-1} \underline{K}_{n,M} \\ \underline{P}_{n+1}^* &= \underline{P}_{n+1} - \underline{K}_{n,n+1}^T \underline{K}_n^{-1} \underline{P}_n \\ \underline{P}_M^* &= \underline{P}_M - \underline{K}_{n,M}^T \underline{K}_n^{-1} \underline{P}_n \end{aligned} \tag{7}$$

şeklinde verilmektedir. '*' içermeyen terimler, bir önceki eliminasyon işlemi sonucunda elde edilen alt matris ve vektörlerdir. En alt katta $\underline{D}_{N+1}=\underline{0}$ olacağından yapının indirgenmiş rijitlik matrisi denklemi

$$\underline{P}_M^* = \underline{K}_M^* \underline{D}_M \tag{8}$$

olarak elde edilmiş olur. Bu denklemin çözümü sonucu elde edilen master noktası deplasmanları vektörü ve daha önce ön eliminasyon esnasında saklanmış olan kat rijitlik matrisleri ve yük vektörleri (5) denklemi kullanılarak alt kattan başlanarak yerine koyma işlemi ile yapının tüm düğümlerine ait deplasmanlar elde edilir. Sonra, eleman rijitlik denklemleri kullanılarak eleman uç kuvvetlerine geçilir.

## 3. BİLGİSAYAR PROGRAMI

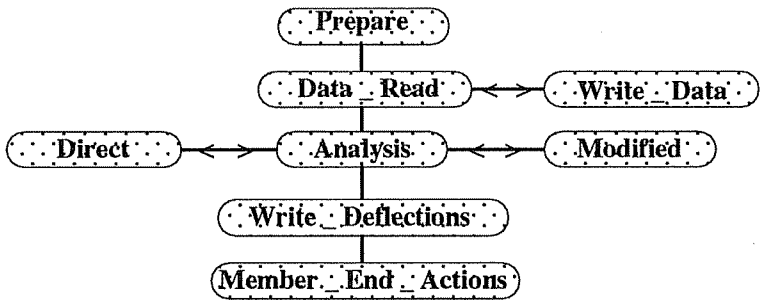
Bilgisayar programı, 90'lı yıllarda geliştirilen ve nesneye dayalı bir programlama yöntemi olan C++ programlama dili kullanılarak hazırlanmıştır. C++ dili, C'nin nesneye yönelik programlama yöntemi eklenmiş ve geliştirilmiş bir üst versiyonudur (5).

Nesneye yönelik programlama tekniğinde, isminden de anlaşılacağı üzere program çeşitli nesnelerden oluşmaktadır. Bu nesneler, birbirinden bağımsız olabileceği gibi birisi bir diğerinden üretim yoluyla da elde edilebilir. Nesnelerin hiyerarşik bir sıra ile birbirleriyle olan ilişkileri sayesinde duruma göre gerekebilecek olan üst sıralardaki herhangi bir nesnede yapılacak olan değişiklik veya ekleme alt sıralardaki ilintili nesnelere de otomatik olarak yansımaktadır.

Programı oluşturan değişkenlerle olan işlemlerde C++ ve C dillerinin en önemli özelliklerinden birisi olan "pointer" aritmetiği kullanılmıştır. Pointer yöntemi ile değişkenin değeri yerine bilgisayar hafızasındaki adresi gözönüne alınmaktadır. Bu yöntem özellikle matris işlemlerinde ve fonksiyonlar arası veri alışverişinde hız ve hafıza kullanımı açısından çok yararlıdır. Çünkü değişkenin (bu büyük hacimli bir matris de olabilir) tümü yerine sadece o an bilgisayar hafızasındaki kapladığı alanın başlangıç adresi ve uzunluğunun verilmesi yeterli olmaktadır.

Yukarıda pointer mantığı açıklanırken değişkenin bilgisayar hafızasında o an işgal ettiği yerin adresi denilmiştir. Çünkü gerekli değişken boyutları analiz esnasında sistemin büyüklüğüne ve özelliklerine göre saptanarak gerekli bilgisayar hafızası, toplam hafızadan ödünç alınmakta, değişkene olan ihtiyaç sona erdiğinde ayrılan bu kısım toplam hafızaya -daha sonra başka bir değişken için kullanılmak üzere- iade edilmektedir. Bu yöntem dinamik hafıza yöntemidir. Bu sayede programın kapasitesi o an kullanılan bilgisayarın hafızasına bağlı olmaktadır. Başka bir deyişle daha büyük hafızalı bir bilgisayar ile daha büyük sistemlerin analizi gerçekleştirilebilmektedir.

Program organizasyonu, ana hatları ile aşağıdaki gibidir:




Bu modüller kısaca: **Prepare:** analiz için ön hazırlık, **Data_Read:** veri dosyasının okunması ve kontrolü, **Write_Data:** okunan verinin çıktı dosyasına yazılması, **Analysis:** analiz için gerekli matrislerin oluşturulması, **Direct:** direkt rijitlik matrisi yöntemi ile çözüm, **Modified:** indirgenmiş matrisler yöntemi ile çözüm, **Write_Deflections:** elde edilen deplasmanların çıktı dosyasına yazılması, **Member_End_Actions:** eleman uç kuvvetlerinin hesaplanması ve çıktı dosyasına yazılması bölümlerini içermektedirler.

Program o an çalıştırıldığı bilgisayarda matematik işlemci olup olmadığını kontrol ederek var ise işlemciyi kullanmaktadır. Eğer matematik işlemci ile karşılaşılmaz ise emülasyon mantığı ile hız daha yavaş olmakla beraber yine işleme devam edilmektedir.

## 4. VERİ DOSYASI

### 4.1. Dosya Yapısı

Veri dosyası sekiz ana bloktan oluşmaktadır. Bu bloklardan bazıları, analizi yapılacak olan sistemin durumuna göre, tamamen gözardı edilebilmektedir.

Aşağıda listelenen veri blokları için dosya içerisinde bir sıralama zorunluluğu sözkonusu değildir (1 ve 2 nolu satırların doğal olarak dosya başında olması dışında).

1. **Başlık Satırı :** Bir satırdan oluşan ve isteğe bağlı olarak analizi yapılan sistemin tanıtıcı özelliklerinin bulunduğu blok. Bu başlık program tarafından verilen çıktı dosyasında da yer almaktadır.
2. **Sistem Satırı:** Bu satır analizi yapılan sistemle ilgili kontrol bilgilerini içermektedir.
3. **General Information :** Yapılan analizin cinsi, master noktası koordinatı gibi genel bilgiler.
4. **Properties :** Sistemi oluşturan elemanların malzeme ve geometrik özellikleri.
5. **Loads :** Elemanlara etkiyen üniform yayılı, tekil kuvvet ve momentler.
6. **Columns :** Kolonların (düşey elemanların) koordinatları ve bazı özellikleri.
7. **Beams :** Kirişlerin (yatay elemanların) yerlerinin tarifi ve bazı özellikleri.
8. **Stories :** Herbir katın ismi, yüksekliği ve eğer varsa master noktalarına etkiyen kuvvet ve momentler.

Herbir veri bloğu bir veya daha fazla veri satırından oluşmaktadır. Veri blokları, blok ismi ile başlamakta ve ']' ile sona ermektedir. Blok içerisinde ve dışında baş tarafa '//' koyarak açıklama veya yorum satırları ilave edilebilmektedir. Ayrıca okuma ve izleme kolaylığı v.b. gibi nedenlerle istenilirse yine blok içerisinde ve dışında boş satırlar bırakılabilir.

Veri blokları, çeşitli veri satırlarından oluşmaktadır. Bu satırları oluşturan değişkenler bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Değişkenler satır içerisinde herhangi bir sıralama olmaksızın istenildiği sırada tanımlanabilmektedir. Ayrıca değişken isimlerinde büyük veya küçük harf kullanılabilir.

### 4.2. Veri Dosyası Hazırlama Kılavuzu

#### 1. Başlık Satırı

İsteğe bağlı olarak analizi yapılan sistemin tanıtıcı özelliklerinin bulunduğu nümerik ve/veya alfanümerik karakterlerden oluşan açıklama satırıdır. Boş bırakılabilir.

#### 2. Sistem Satırı

Bu satırda analizi yapılan sistemin kontrol bilgileri verilmektedir. Başlık satırından sonra veri dosyasının ilk satırıdır ve belirli bir blok ismi olmayıp beş değişkenden oluşmaktadır.

**NS = ns  NC = nc  NB = nb  NL = nl  NP = np**

| Değişken | Açıklama | Öndeğer | Kısa Not |
|---|---|---|---|
| ns | (1) | - | Toplam kat sayısı |
| nc | (2) | [0] | Herbir kattaki toplam kolon sayısı |
| nb | (2) | [0] | Herbir kattaki toplam kiriş sayısı |
| nl | (3) | [0] | Toplam yük grubu sayısı |
| np | (4) | - | Toplam eleman özellikleri grup sayısı |

#### 3. General Information

Yapılan analizle ilgili genel bilgiler verilmektedir. Master noktası koordinatı, analiz yöntemi ve analiz tipi olmak üzere üç ana değişkenden oluşmaktadır.

**MP = $m_x$, $m_y$  SW = sw  ST = st**

| Değişken | Açıklama | Öndeğer | Kısa Not |
|---|---|---|---|
| $m_x$, $m_y$ | (5) | [0.0] | Master noktası koordinatının x ve y bileşeni |
| sw | (6) | - | Analiz yöntemi |
| st | (7) | - | Analiz tipi |

**4. Properties**

Elemanların malzeme ve geometri özelliklerinin oluşturduğu farklı gruplar satırlar halinde verilmektedir.

**P = p  E = e  J = j  I = $i_x$, $i_y$  A= a  G = g**

| Değişken | Açıklama | Öndeğer | Kısa Not |
|---|---|---|---|
| p | (8) | - | Malzeme ve geometri özelliği grup no |
| e | (9) | [0.0] | Elastisite modülü |
| j | (10) | [0.0] | Kesit burulma atalet modülü |
| $i_x$, $i_y$ | | [0.0] | x ve y yönü kesit eğilme atalet momentleri |
| a | | [0.0] | Kesit alanı |
| g | (11) | [e / 2.6] | Kayma modülü |

**5. Loads**

Sistemi oluşturan elemanlara etkiyen yüklerin oluşturduğu farklı gruplar satırlar halinde verilmektedir.

**L = l  Uz = $u_z$  Px = $p_x$  Py = $p_y$  Pz = $p_z$  Mx = $m_x$  My = $m_y$  Mz = $m_z$**

| Değişken | Açıklama | Öndeğer | Kısa Not |
|---|---|---|---|
| l | (12) | - | Yük grup no |
| $u_z$ | (13) | [0.0] | z doğrultusunda üniform yayılı yük (kuvvet / uzunluk) |
| $p_x$ | (13) | [0.0] | x doğrultusunda tekil kuvvet |
| $p_y$ | (13) | [0.0] | y doğrultusunda tekil kuvvet |
| $p_z$ | (13) | [0.0] | z doğrultusunda tekil kuvvet |
| $m_x$ | (13) | [0.0] | x doğrultusunda tekil moment |
| $m_y$ | (13) | [0.0] | y doğrultusunda tekil moment |
| $m_z$ | (13) | [0.0] | z doğrultusunda tekil moment |

**6. Columns**

Düşey elemanların (kolonlar) koordinatları, ait oldukları malzeme ve geometri grubu v.b. gibi özelliklerin verildiği veri bloğudur. Herbir kolon satırlar halinde verilmektedir.

**C = c  X = x  Y = y  R = $r_x$, $r_y$  Pn = pn  Sn = $s_1$, $s_2$  Ln = ln**

| Değişken | Açıklama | Öndeğer | Kısa Not |
|---|---|---|---|
| c | (14) | - | Kolon eleman no |
| x | (15) | - | Kolon koordinatının x bileşeni |
| y | (15) | - | Kolon koordinatının y bileşeni |
| $r_x$, $r_y$ | (16) | [0] | Perde/Kolon davranışı |
| pn | (17) | - | Kolonun ait olduğu malzeme ve geometri grup no |
| ln | (18) | [0] | Kolona etkiyen yüklerin ait olduğu yük grup no |
| $s_1$ | (19) | - | Kolonun ait olduğu kat no |
| $s_2$ | (20) | [$s_1$] | Kolona ait kat üretim no (son) |

**7. Beams**

Yatay elemanların (kirişlerin) bağlı oldukları kolon noları, malzeme ve geometri grubu v.b. gibi özelliklerin verildiği veri bloğudur. Herbir kiriş satırlar halinde verilmektedir.

**B = b  J = $c_1$, $c_2$  Rz = $rz_1$, $rz_1$  Pn = pn  Ln = ln  Sn = $s_1$, $s_2$**

| Değişken | Açıklama | Öndeğer | Kısa Not |
|---|---|---|---|
| b | (21) | - | Kiriş eleman no |
| $c_1$ | (22) | - | Kirişin bağlı olduğu kolon no (1 nolu uç) |
| $c_2$ | (22) | - | Kirişin bağlı olduğu kolon no (2 nolu uç) |
| $rz_1$ | (23) | [0.0] | 1 nolu uçtaki rijit bölge uzunluğu |
| $rz_2$ | (23) | [0.0] | 2 nolu uçtaki rijit bölge uzunluğu |
| pn | (17) | - | Kirişin ait olduğu malzeme ve geometri grup no |
| ln | (18) | [0] | Kirişe etkiyen yüklerin ait olduğu yük grup no |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $s_1$ | (19) | - | Kirişin ait olduğu kat no |
| $s_2$ | (20) | [$s_1$] | Kirişe ait kat üretim no (son) |

**8. Stories**

Sistemi oluşturan katlara ait özelliklerin verildiği veri bloğudur. Kat yükseklikleri, özel tanıtım ismi ve master noktası yükleri bu blokta satırlar halinde verilmektedir.

**S = s  H = h  Px = $p_x$  Py = $p_y$  Mz = $m_z$  ID = id**

| Değişken | Açıklama | Öndeğer | Kısa Not |
|---|---|---|---|
| s | (24) | - | Kat no |
| h | (25) | - | Kat yüksekliği |
| $p_x$ | (26) | [0.0] | Master noktasına x doğrultusunda etkiyen yük |
| $p_y$ | (26) | [0.0] | Master noktasına y doğrultusunda etkiyen yük |
| $m_z$ | (26) | [0.0] | Master noktasına z doğrultusunda etkiyen moment |
| id | (27) | (boş) | Kat özel tanıtım ismi |

**Açıklamalar**

1. Analizi yapılan sistemdeki toplam kat sayısı verilmektedir. Kat sayısı, bodrum ve zemin katlar da dahil olmak üzere tüm normal katların toplamıdır. Bu değişkenin tanımlanması zorunludur.

2. **nc** ve **nb** sırası ile bir kattaki toplam düşey ve yatay eleman sayısıdır. Tüm katlardaki yatay ve düşey eleman (kiriş ve kolon) sayısı eşit olmak zorunda olduğundan bir kattaki eleman sayısını vermek yeterli olmaktadır. Eğer bir kattaki kolon veya kiriş, diğer katlarda veya katta mevcut değil ise o kat için fiktif eleman tanımlama yolüna gidilebilmektedir.

3. Elemanlara etkiyen yüklerin oluşturduğu toplam grup sayısını belirleyen parametredir. Tanımlanmaz ise değeri 0 alınacaktır.

4. Elemanların malzeme ve geometrik özelliklerinin oluşturduğu toplam grup sayısını belirleyen parametrelerdir. Bu değer enaz 1 olarak tanımlanmak zorundadır.

5. Kat döşemelerinin rijit diyafram davranışı kabulünden kaynaklanan master noktası koordinatının x ve y bileşenleri verilmektedir. Statik analizde eğer bu noktaya yük

etkimiyor ise koordinatın analize bir etkisi bulunmamaktadır. Tanımlanmaz ise koordinat 0.0, 0.0 olarak gözönüne alınmaktadır.

6. **sw** için iki seçenek bulunmaktadır: 'Modified' indirgenmiş matrisler yöntemi için, 'Direct' ise klasik rijitlik matrisi yöntemi ile analiz içindir. Direkt yöntemde katlar için elde edilen yük ve rijitlik matrisleri genel bir matris içerisinde toplanmakta ve klasik lineer denklem takımı çözümü ile sonuca ulaşılmaktadır. Kolayca anlaşılacağı üzere matris boyutları çok büyüyeceği için bu seçenek büyük sistemler için değildir. İndirgenmiş matrisler yöntemi ise programın asıl hazırlanış amacıdır. Yöntem yukarıda anlatılmıştır.

7. Analiz tipi için 'Data Check' veya 'Analysis' seçenekleri mevcuttur. Özellikle büyük sistemler için önerilen 'Data Check' seçeneğinde verilen veriler okunmakta ve analize geçilmeden sadece verilerin kontrolü yapılarak varsa hata mesajları verilip okunan veriler çıktı dosyasına yazılmaktadır. 'Analysis' seçeneği durumunda yine verilerin kontrolü yapıldıktan sonra seçilen yönteme göre analize geçilmekte ve okunan veriler ve analiz sonuçları çıktı dosyasında listelenmektedir.

8. Analizi yapılacak sistemdeki elemanların farklı malzeme ve geometri özelliklerinin oluşturduğu grup numarası 1'den başlayarak verilir. Numaralamada belli bir sırayı takip etme zorunluluğu yoktur. Ancak bu numara **Sistem Satırı** bölümündeki **np**'den küçük veya eşit olmalıdır.

9. O gruba ait malzeme elastisite modülüdür. Uygun kuvvet ve uzunluk birimi kullanmaya dikkat edilmelidir.

10. Kesit burulma atalet momenti tanımlanmaktadır. Dikdörtgen kesitler için aşağıdaki ifadeler kullanılabilir:

h ≥ b olmak üzere,

$$\frac{b}{h} < 0.6 \quad \Rightarrow \quad j = \frac{hb^3}{3}\left(1 - 0.63\frac{b}{h} + 0.052\frac{b^5}{h^5}\right)$$

$$\frac{b}{h} \geq 0.6 \quad \Rightarrow \quad j = \frac{b^3 h^3}{3.58\left(b^2 + h^2\right)}$$

**11.** Burulma ve kesme kuvveti terimleri için kullanılacak olan kayma modülüdür. u Poisson oranı olmak üzere kayma modülünün elastisite modülü **e** ile şöyle bir bağıntısı vardır :

$$g = \frac{e}{2(1+u)}$$

**12.** Elemanlara etkiyen farklı yüklerin oluşturduğu grup numarası 1'den başlayarak verilir. Numaralamada belli bir sırayı takip etme zorunluluğu olmayıp **Sistem Satırı** bölümündeki **nl** değerinden küçük veya eşit olması gerekmektedir.

**13.** Bu bölümde tekil kuvvet ve momentler ile üniform yayılı yüklerin şiddetleri verilmektedir. Değişken indisleri kuvvet ve momentlerin etkime doğrultularını göstermektedir. Pozitif yönler, eksenlerin pozitif yönleridir.

**14.** Kolon (düşey eleman) eleman no, 1 ile **Sistem Satırı** bölümündeki **nc** arasında herhangi bir sayı olabilir, sıralama zorunluluğu sözkonusu değildir.

**15.** Kolonun sistemdeki yerini belirleyen koordinatının x ve y bileşenleridir.

**16.** Kirişsiz döşemeli sistemlerde düşey elemanın perde veya kolon davranışını sağlamak için kullanılan parametrelerdir. İndisler doğrultu eksenini göstermek üzere 1 olarak tanımlanması durumunda o doğrultuda eleman, kolon davranışı göstererek rijit diyafram ile birlikte hareket etmektedir. 0 verilmesi halinde ise eleman perde olarak davranmaktadır.

**17.** Elemanın ait olduğu malzeme ve geometri grup numarası, 1 ile **Sistem Satırı** bölümündeki **np** arasında bir sayıdır.

**18.** Elemana etkiyen dış yükler varsa bu yüklerin ait olduğu yük grup numarasıdır ve 1 ile **Sistem Satırı** bölümündeki **nl** arasında olmalıdır.

**19.** Tanımlanan elemanın ait olduğu kat numarasıdır ve 1 ile **Sistem Satırı** bölümündeki **ns** arasında bir sayıdır.

**20.** İstenirse eleman özelliklerinin aynı olması durumunda katlar için üretim yapılabilmektedir. Bu durumda $s_2$ üretilecek son kat numarasıdır. Eğer $s_2$ tanımlanacak olur ise $s_1$'den $s_2$'ye kadar olan tüm katlar için ilgili eleman özellikleri aynı olmaktadır. Yine $s_2$, 1 ile **ns** arasında bir sayıdır ve $s_1$'den büyük olmalıdır.

**21.** Kiriş (yatay eleman) eleman no, 1 ile **Sistem Satırı** bölümündeki **nb** arasında herhangi bir sayıdır ve belli bir sıra takip etme zorunluluğu yoktur.

**22.** Kirişin yerinin tarifi için gereklidir. Elemanın bağlı olduğu her iki kolon (düşey eleman) numarası $c_1$ ve $c_2$ olarak verilmektedir. Doğal olarak bu numaraların 1 ile **nc** arasında olması gerekmektedir.

**23.** Bazı durumlarda kirişin bağlı olduğu kolon elemanının kesit boyu kiriş boyuna oranla oldukça büyük olabilmektedir (perde v.b.). Bu durumda kiriş uçlarındaki bu bölgelerin rijit olarak tanımlanması gerçekçi bir yaklaşım olarak görülmektedir. Rijit bölge içerisinde eğilme ve kayma deformasyonları mevcut değildir. Sonuçlarda görülen kesme kuvvetleri ve momentler rijit bölgenin sona erdiği noktadaki değerlerdir. $rz_1$ 1 nolu, $rz_2$ 2 nolu uçtaki rijit bölge uzunluğudur. Kirişin kolondan kolona olan toplam boyu L ise temiz açıklık $L^*$

$$L^* = L - (rz_1 + rz_2)$$

olmaktadır.

**24.** Kat no, 1 ile **Sistem Satırı** bölümündeki **ns** arasında olacak şekilde bir sayıdır ve gelişigüzel sırada olabilmektedir.

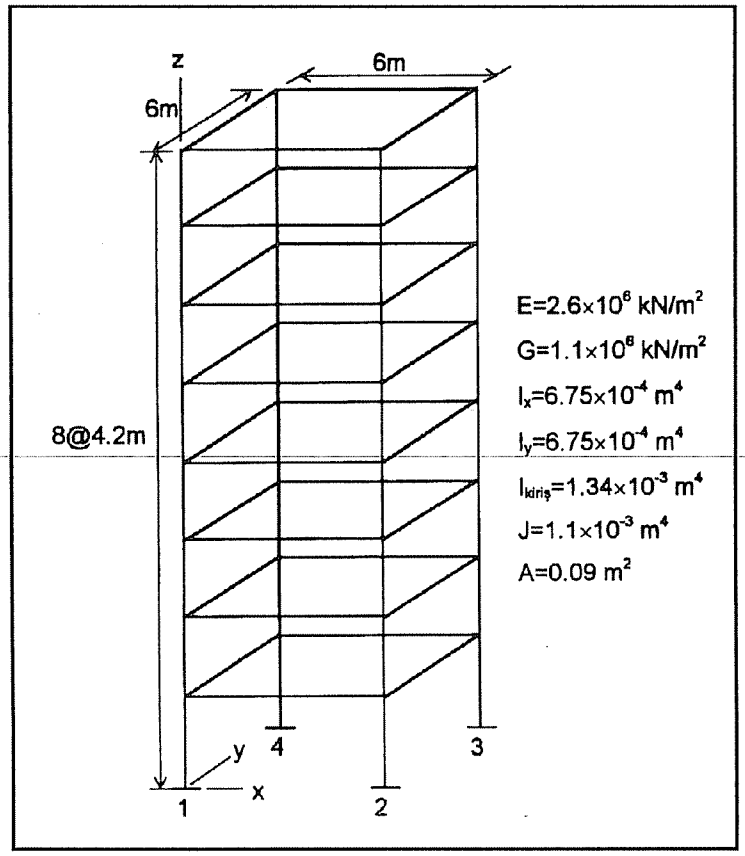
**25.** Tanımlanan katın yüksekliğidir. Dolayısıyla o kattaki tüm düşey elemanların (kolonların) boyları olmaktadır.

**26.** **General Information** veri bloğunda koordinatı verilen master noktasına etkiyen kuvvetler ve momentin, indisler doğrultu eksenlerini göstermek üzere, şiddetleri verilmektedir. Pozitif yönler eksenlerin pozitif yönleridir.

**27.** Özel kat ismi ' işaretleri arasında verilmektedir. Bu isimler çıktı dosyası ve veri dosyası incelemelerinde faydalı olmaktadır. Tanımlanmayabilir.

## 5. SAYISAL ÖRNEK

Literatürde mevcut (3) her katta dört adet kolon ve kiriş bulunan toplam sekiz katlı bir yapı modeli ele alınmıştır. Şekil 2'de görülen sistemin tüm kirişlerine 1 kN/m şiddetinde üniform yayılı düşey yük -z yönünde ve her katına 5 kN şiddetinde tekil yük x yönünde etkimektedir. Malzeme ve kesit özellikleri şekilde verilmektedir. Sistem, program ile analize tabi tutulmuş ve sonuca 386DX 40MHz tipi bir bilgisayarda diskten okuma ve yazma işlemleri de dahil olmak üzere toplam 6 saniyede ulaşılmıştır.




**Şekil 2.** Örnek yapı sistemi (Zeng & Wiberg)

Veri dosyası aşağıda görülmektedir:

```
L. F. Zeng & N. E. Wiberg (Comp.& Struct., 1989)

 NS=8  NB=4  NC=4  NP=2  NL=1

General Information
 MP=3.0,3.0   SW='Modified'  ST='Analysis'
]

Properties
 P=1   G=1.1E6    E=2.6E6 I=6.75E-4,6.75E-4 A=0.09 J=0.0013
```

```
 P=2  G=1.1E6    E=2.6E6 I=1.34E-3 A=0.10  J=0.0011
]

Loads
 L=1  Uz=-1  // Uniform yayili yuk
]

Columns
 C=1  X=0.0  Y=0.0  pn=1  sn=1,8
 C=4  X=0.0  Y=6.0  pn=1 sn=1,8
 C=3  x=6.0  y=6.0  pn=1  sn=1,8
 c=2  x=6.0 y=0.0  pn=1   sn=1,8
]

Beams
 B=1  J=1,4  pn=2  sn=1,8 ln=1
 B=2  j=4,3  pn=2  sn=1,8 ln=1
 B=3  J=2,3  pn=2 sn=1,8  ln=1
 B=4  J=1,2  pn=2  sn=1,8 ln=1
]

Stories
 S=1 ID='ZEMIN KAT' H=4.2 Px=5
 S=2 ID='1. KAT'  H=4.2  Px=5
 S=3 ID='2. KAT'  H=4.2  Px=5
 S=4 ID='3. KAT'  H=4.2  Px=5
 S=5 ID='4. KAT'  H=4.2  Px=5
 S=6 ID='5. KAT'  H=4.2  Px=5
 S=7 ID='6. KAT'  H=4.2  Px=5
 S=8 ID='7. KAT'  H=4.2  Px=5
]
```

Programın ürettiği çıktı dosyası yer darlığı nedeni ile kısaltılarak aşağıda verilmiştir:

```
FILE : ZENG.OUT
Thu Jan 18 11:06:51 1996

INPUT:
L. F. Zeng & N. E. Wiberg (Comp.& Struct., 1989)
```

Number of stories = 8
Number of columns for each story = 4
Number of beams for each story = 4
Number of load conditions = 1
Number of property types = 2

OUTPUT:

MASTER POINT DEFLECTIONS:

| | Displacement-x | Displacement-y | Rotation-z | |
|---|---|---|---|---|
| Story #8 | 0.384457 | 4.042244e-08 | 1.302554e-08 | :7. KAT |
| Story #7 | 0.368742 | 3.260516e-08 | 1.294925e-08 | :6. KAT |
| Story #6 | 0.342569 | 2.495372e-08 | 1.211197e-08 | :5. KAT |
| Story #5 | 0.305714 | 1.780456e-08 | 1.053920e-08 | :4. KAT |
| Story #4 | 0.258281 | 1.160655e-08 | 8.549686e-09 | :3. KAT |
| Story #3 | 0.200464 | 6.812882e-09 | 5.944401e-09 | :2. KAT |
| Story #2 | 0.132719 | 3.348307e-09 | 3.301681e-09 | :1. KAT |
| Story #1 | 0.057704 | 1.017658e-09 | 1.301748e-09 | :ZEMIN KAT |

JOINT DEFLECTIONS:
Story #8 : 7. KAT

| Joint | Rotation-x | Rotation-y | Displacement-z |
|---|---|---|---|
| 1 | -0.000948 | 0.002944 | -0.000678 |
| 2 | -0.000948 | 0.001047 | -0.007076 |
| 3 | 0.000948 | 0.001047 | -0.007076 |
| 4 | 0.000948 | 0.002944 | -0.000678 |

.....

BEAM END ACTIONS:
Story #8 : 7. KAT

| Beam | Moment | Shear | Torque |
|---|---|---|---|
| 1 | 1.8989 | 3.0000 | 1.7881e-07 |
| | -1.8989 | 3.0000 | -1.7881e-07 |
| 2 | 1.2977 | 1.9345 | 4.4703e-07 |
| | 5.0955 | 4.0655 | -4.4703e-07 |
| 3 | 1.8989 | 3.0000 | 3.1292e-07 |
| | -1.8989 | 3.0000 | -3.1292e-07 |
| 4 | 1.2977 | 1.9344 | 4.1723e-07 |
| | 5.0956 | 4.0656 | -4.1723e-07 |

.....

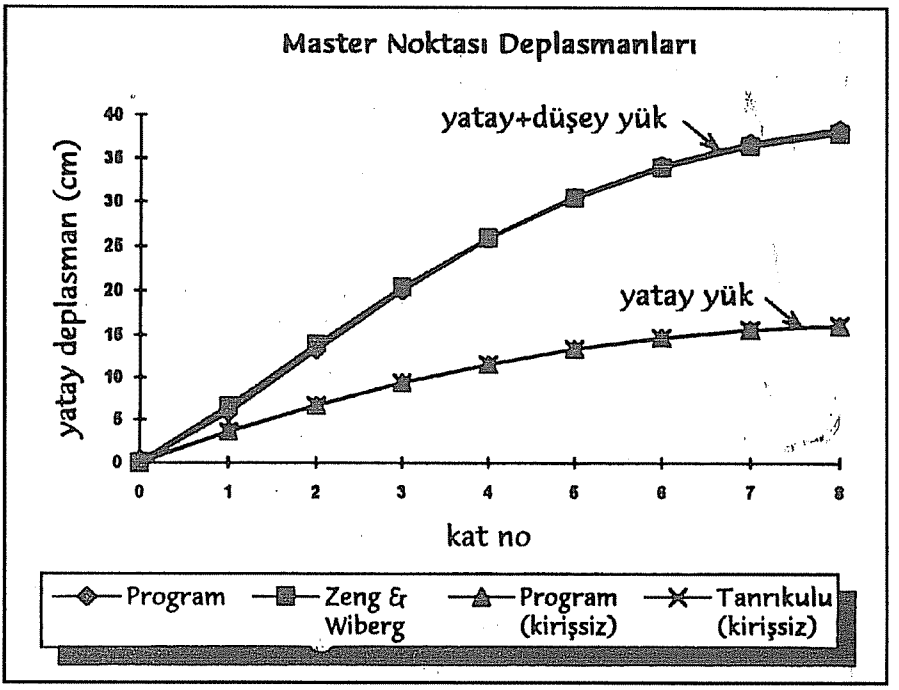
COLUMN END ACTIONS:

Story #8 : 7. KAT

| Column | Axial Force | x-z Plane Moment | x-z Plane Shear | y-z Plane Moment | y-z Plane Shear | Torque |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -4.9344 | -1.2977 | 0.4539 | -1.8989 | -0.7961 | 2.5974e-08 |
| | 4.9344 | -0.6085 | -0.4539 | -1.4449 | 0.7961 | -2.5974e-08 |
| 2 | -7.0656 | -5.0956 | 2.0462 | -1.8989 | -0.7962 | 2.5974e-08 |
| | 7.0656 | -3.498 | -2.0462 | -1.4449 | 0.7962 | -2.5974e-08 |
| 3 | -7.0656 | -5.0956 | 2.0462 | 1.8989 | 0.7961 | 2.5974e-08 |
| | 7.0656 | -3.4983 | -2.0462 | 1.4449 | -0.7961 | -2.5974e-08 |
| 4 | -4.9345 | -1.2977 | 0.4539 | 1.8989 | 0.7962 | 2.5974e-08 |
| | 4.9345 | -0.6085 | -0.4539 | 1.4449 | -0.7962 | -2.5974e-08 |

.....

Total execution time : 6 sec.




**Şekil 3.** Program sonuçlarının karşılaştırılması.

Aynı sistem ayrıca kirişler gözardı edilerek yatay kuvvetler etkisi altında tekrar ele alınmış ve sonuçlar kaynak (4)'de verilen program ile elde edilen sonuçlarla

karşılaştırılmıştır. Şekil 3'den de görüleceği gibi her iki yükleme durumunda da sonuçlar üst üste çakışmaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

1. *Clough, R.W., King, I.P., Wilson, E.L., Structural Analysis of Multistory Buildings, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.90, No.ST3, Proc. Paper 3925, pp. 19-34, 1964.*

2. *Weaver, W. and Nelson, M.F., Three-Dimensional Analysis of Tier Buildings, Journal of the Structural Division, ASCE, No.ST6, Proc. Paper 5019, pp. 385-404, 1966.*

3. *Zeng, L.F., and Wiberg, N.E., A Generalized Coordinate Method for the Analysis of 3D Tall Buildings, Comput. Struct., Vol.33, No.6, pp.1365-1377, 1989.*

4. *Tanrıkulu, A.K., Yapıların Üç Boyutlu Yatay Kuvvet ve Deprem Analizi İçin Genel Amaçlı Bir Bilgisayar Programı, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enst., İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 1988.*

5. *Borland C++ 3.0 (4pcs. set), Borland International, Inc., Scotts Valley, CA, 1991.*

ISSN 1019-1011

| Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ | | Haziran/Aralık | 1995 | Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH. | |
|---|---|---|---|---|---|
| *CİLT 10* | *SAYI 1-2* | June/December | | *VOL.10* | *NO.1-2* |


# ÇUKUROVA BÖLGESİNDEKİ YAYLALARIN GENEL ÇEVRE SORUNLARI, ZORKUN YAYLASI ÖRNEĞİ

**Yusuf GÜRÇINAR**
*Ç.Ü., İç Mimarlık Bölümü, Adana / Türkiye*
**Nilgün S. YÜCEER**
*Ç.Ü., Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye*

**ÖZET:** *Bu çalışmada Çukurova Bölgesinde yaz aylarında kullanılan yaylalar incelenmiş; yayla kullanımı mimari, çevresel ve hukuki yönleri ile ele alınıp bu üç farklı disiplinin dolaylı dolaysız bağıntıları ve etkileşimleri araştırılmış, sorunlar ve çözümler Zorkun yaylası modeli ile ortaya konmuştur.*

*Zorkun yayla'sının yerleşim dokusu ve evleri, mimari, iklim ve topoğrafya açısından incelenmiş, eski ve yeni yapılaşma karşılaştırılmıştır. Yeni ve hızlı yapılaşmanın eski özgün dokuya ve çevreye olumsuz etkileri değerlendirilmiş ve bu yerleşimlerin yasal bir statüsü olmadığı anlaşılmıştır.*

*Yerleşimlerdeki hızlı yapılaşma, nüfus yoğunluğu ve yasal kimliksizliğin çevrenin kirlenmesine ve ekolojik dengenin bozulmasına neden olduğu, bu yerleşimlere yasal bir yönetim biriminin getirilmesinin ve başı boş olan hizmet ve denetimlerin bu birim tarafından yürütülmesinin en azından bozulan çevresel dengenin ve düzensiz yapılaşmanın rehabilitasyonu ve kontrol altına alınması açısından uygun olacağı saptanmıştır.*

# THE ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF HIGH PLATEAUS IN CUKUROVA REGION

**ABSTRACT:** *In this study, high plateaus of Çukurova Region, which are mainly used for residing in summer seasons were investigated. The settlements on these plateaus were analysed in terms of environmental, architectural and legislative aspects, their relations and intractions with each other. The present problems and their solutions were presented on the model Zorkun Plateau.*

*The settlement pattern and the houses of Zorkun were investigated according to their architectural, climatic and topographical proporties and the old and new structures were compared. The effects of the rapid development of new structures on the orginal pattern are observed and they were considered as a result of the absence of legislative force.*

*Rapidly developing structures in these settlements have been causing environmental pollutions, unbalanced ecology and dense population. These problems are being seen as the results of neglecting the legislative units of the goverment and it is being considered that these problems can be taken under control by these units.*

## 1.GİRİŞ

Ülkemizde Yörüklerin bir kısmı yerleşik düzene geçmiş olmasına rağmen halen bir kısmı kış aylarını ovada, yaz aylarını ise yaylalarda geçirmektedirler. Ekonomik nedenlere dayanan bu gelenek, (örneğin hayvancılık, besicilik gibi), büyük kentlerimiz çevrelerinde toplumun sosyo-ekonomik yapısına bağlı olarak tatil amaçlı olarak değişime uğramaya başlamıştır.

Çukurova Bölgesinde sıcak , rutubetli iklimden ve sivri sinek nedenleri ile yaylalara yaz ayları boyunca geçici yerleşim olmaktadır. Bulunan su sarnıçları ve su tevzi sistemi kalıntıları yaylalarda yerleşiminin, M.E. 1000 yıllarına kadar uzandığını göstermektedir. "Çukurova'da Nisan ayından itibaren yaylalara göç hazırlıkları başlar ".. Şafaklarla beraber atlar yüklenirdi... Yükler çözülüp eşyalar toprak damlara veya ahşap evlere yerleştirilirken, gölükçüler dağdan Bahraz dalı getirirler ve Haymaları dallarlardı.." "..Yayladan inme mevsimi yaklaştığı günlerde sırayla her evde komşu hanımlar toplanır ve şehriye dökerlerdi.. Şehriye dökülürken kadınlar çeşitli türkü ve manilerle bu işi bir eğlence havasına büründürürlerdi..." "Leylekler bölük bölük güneye doğru Zorkun'u selamlayarak uçarlar.. Bu sırada çocuklar güz çiçeği toplar... Artık evlerde şehre göç hazırlığı başlamıştır.." (1).

Çukurova Bölgesi'nde yayla kullanımı bir yaşama biçimi ve gelenektir. Bölgede bu mevsimlik göç işlemine "Yaylacılık" adı verilir. Bölgemizde yaylacılık 3 şekilde yapılmaktadır:

a) Geçici ve ticari amaçlı yaylacılık: Yaz aylarında su olan orman bölgelerine çadırlar kurularak besicilik yapılması.

b) Sürekli Yaylacılık, Yerleşik Köy: Kış aylarında çok az bir nüfusun bulunduğu, yayla karakteri gösteren orman bölgeleridir. Yaz aylarında nüfusları 8-10 katına ulaşmaktadır.

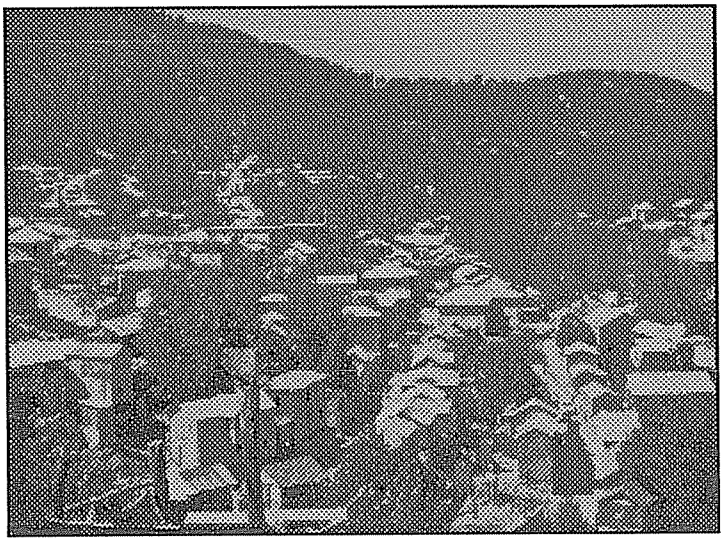
c) Yalnız Yazın Kullanılan Yaylalar: Bunlar da yaz aylarında kullanılıp kışın kapalı olan yerleşimlerdir. Zorkun Yaylası yalnız yazın kullanılan yerleşim gurubuna girmektedir.

1950'lili yıllara kadar bu bölgelerde oluşan tabii dokunun deformasyonu ve çevre kirliliği, yaylalara gelen nüfusun az olması nedeni ile yok denecek kadar azdı. Katlanarak artan nüfus, hızla gelişen sanayi, tarım, hizmet sektörü ve ulaşım imkanları ile önemli bir metropol olan Çukurova bölgesinde bulunan çok sayıda kentlerimizin vatandaşları, yaz boyunca otomobil ile bir ile birbuçuk saat mesafede bulunan kıyı yerleşim bölgelerine ve yaylalara yerleşmektedirler. Yaylalarda, büyük oranda artan

konut talebini sağlamak amacı ile doğal doku devamlı tahrip edilmekte, alt yapı yetersiz kaldığı için çeşitli çevre sorunları oluşmakta ve yeşil doku yok olarak betonlaşmaktadır.

## 2. ÇALIŞMANIN AMACI

Yaylalar nasıl bir yerleşimdir? Yönetim ve denetim statüleri nedir? Mezra, köy, kasaba, kent zincirinde yeri nerededir? Yönetim biçimi nedir? soruları tartışılmıştır. Asırlardır kullanılan bu yerleşimlerin yasal bir kimliği yoktur. Yasal kimliksizlik birçok sorunu beraberinde getirmiştir. Hizmet ve denetim mekanizmalarının olmayışı, plansız, altyapısız, hızlı bir yapılaşmayı körüklemiştir.

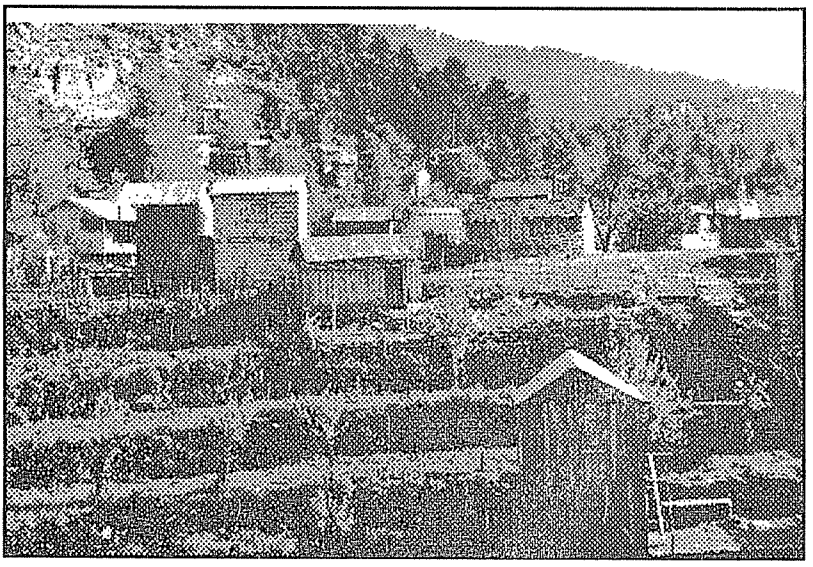


**Resim 1:** Zorkun yaylasının genel görünüşü

Bu yerleşimler, 09.08.1983 tarihli Milli Parklar Kanunu (2) madde 2873-2/b'deki Tabiat Parkı olarak tanımlanan bölgelerde bulunmaktadır. Bu yasa "Bitki örtüsü ve yaban hayatı özelliğine sahip, manzara bütünlüğü içinde halkın dinlenme ve eğlenmesine uygun tabiat parçaları." olarak tabiat parklarını tanımlamaktadır. 2873 sayılı yasa gereği korumaya alınması gereken bu yörelerde hızlı bir yapılaşma olmaktadır. Kontrolsüz olan yapılaşma, çevre kirliliği ve ekolojik dengenin bozulmasına ve tarihi yerleşim dokusunun yok olmasına neden olmaktadır. Bu araştırmada, Çukurova Bölgesindeki yaylacılık, Zorkun örneği çeşitli boyutları ile incelenmiştir. Konu mimari, çevresel ve hukuki yönleriyle ele alınıp bu üç farklı disiplinin dolaylı dolaysız bağlantıları ve etkileşimleri analiz edilmiş, sorunlarının çözümü için ne türlü önlemler alınması gerektiği araştırılmıştır.

## 3.TARİHÇE, COĞRAFİK VE JEOLOJİK KONUM

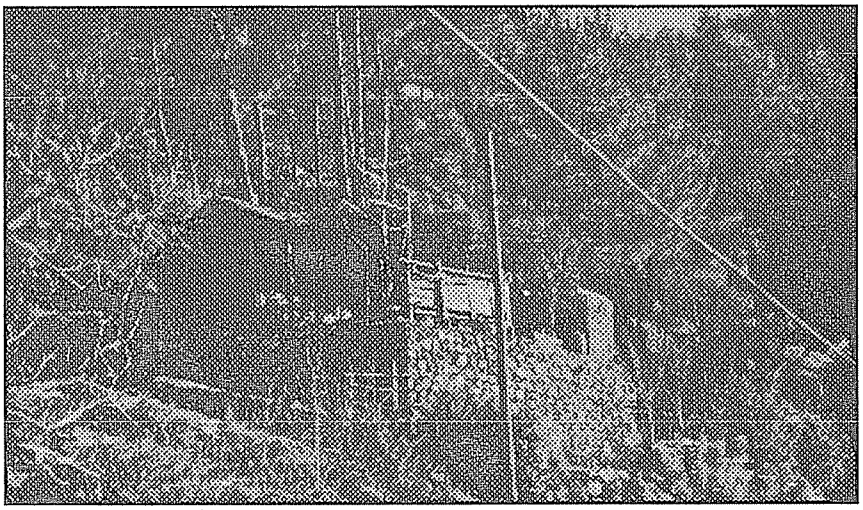
Zorkun Yaylası, Nur Dağlarında kurulmuş olup, Adana ili Osmaniye ilçesi'nin 25 km güneyindedir. 64-65 boylam ve 96-95 enleminde bulunmaktadır. Rakımı 1500 m'dir. Bulunan su kanallarından 2500-3000 yıllık bir yerleşim olduğu tahmin edilmektedir. 1071 yılından bu yana yayla olarak kullanılmaktadır.(3).Nüfusu 1991 yılı itibariyle yaz aylarında 70,000'dir. Nüfusun %70'ini Osmaniye, %30'unu ise Kadirli, Ceyhan, Adana halkı oluşturmaktadır (1). Kışları soğuk ve karlı, yazları kuraktır. Yılın en düşük sıcaklığı -15°C, en yüksek sıcaklığı 33°C'dir. En çok esen rüzgar yönü batıdır. Kış aylarında rüzgar güneyden esmektedir. T.C. Bayındırlık Bakanlığı ısı Yönetmeliğine göre 2. ısı bölgesine girmektedir (4). Ortalama yıllık en yüksek sıcaklık 17.7°C, ortalama yıllık en düşük sıcaklık 7°C'dir. Yıllık ortalama nispi nem %62'dir (5). Yaylanın yerleşim alanı çok eğimli orman arazisine kurulmuştur. Zemin yer yer kayalıktır."Barbakan" adı verilen kaya parçalarıyla harçsız istinat duvarları örülmüş, teraslamalar yapılarak arazi düzeltilmiş ve erozyon önlenmiştir (Bkz. Resim 2). Ayrıca istinat duvarlarına yer yer konan büzlerle toprağın nemi alınmıştır. Zorkun Yaylası'nın su ihtiyacını Bahrat-II denilen büyük bir kaynak karşılar. Bahrat'ın kaynağına konulan pompa ile su ana depoya pompalanır, buradan evlere dağıtım yapılır. Mevcut kaynak hızla artan nüfustan dolayı yetersiz kalmaktadır.



**Resim 2.** Barbakan'ların görünüşü

## 4. KONUT PLANLAMASI

Genelde 2 katlı, bahçeli, ahşap evlerdir. Konutların karakteristik özellikleri işlev ve biçim yönünden analiz edilebilir:



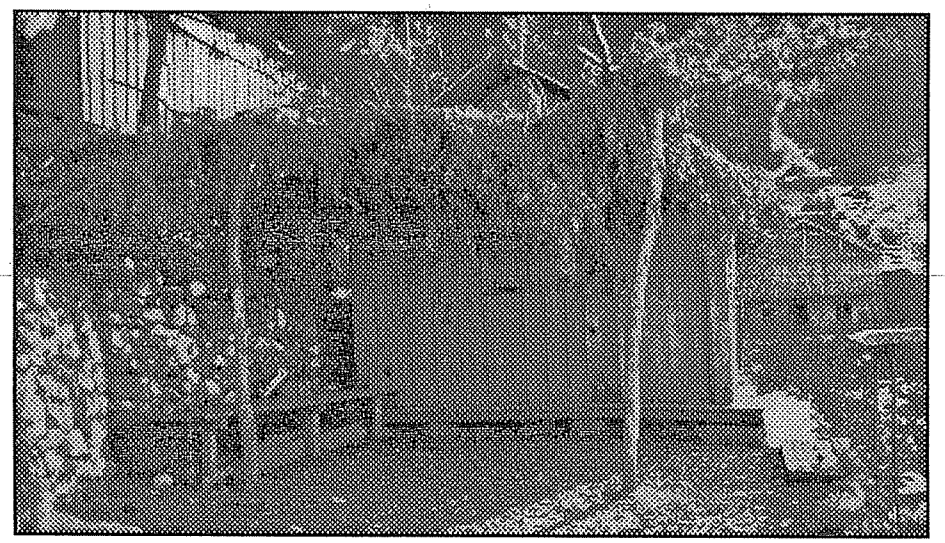
**Resim 3:** Geleneksel Zorkun Evi Görünüşü

**4.1. İşlevleri:** Konutlar senenin sadece 2-3 ayı kullanıldıkları için çok temel fonksiyonlara sahiptirler. Konutların genel fonksiyon şemaları Resim 5'de görüldüğü gibi, her evin içerisinde meyva, sebze ya da çiçek yetiştirilen bir bahçesi vardır ve giriş bahçeden yapılmaktadır. Bahçelerin ayrılmaz bir parçası avlulardır. Planlamada avlularla iç mekan dış mekan bağlantısı kurulur. WC, zaman zaman da banyo buraya yerleştirilmiştir. Avluda "Hayma" adı verilen bir bölüm bulunur (Bkz. Resim 4). Hayma'nın üstü "Bahraz" denilen bir bitki türüyle kapatılmış, dört kenarı açık ve zemini sıkıştırılmış topraktır. Oturma, yeme gibi temel fonksiyonlar burada giderilmiştir.Ev avluya giriş kapısıyla bağlanır. Zemin katta oturma, yeme, mutfak fonksiyonları bulunur. Genelde bu 3 fonksiyon aynı mekanda çözülmüştür. Bazen mutfak ayrı mekandadır.Zemin kat yukarıya dik bir ahşap merdivenle bağlanır. Merdivenle sofaya çıkılır. Sofa zaman zaman bir cumba ya da teras şeklinde manzaraya açılır. Akşam oturma, yeme burada yapılır. Yatak odası ya da odaları sofaya bağlanmıştır. Mobilyalar sabit ahşap elemanlarla yapılmıştır.

**4.2.Biçimsel yönü:** Çukurova bölgesinde ise 6.,7. ve 8.aylar rutubet oranının % 80-95'e ve hava sıcaklığının 40 °C 'ye kadar çıktığı, dış hava şartlarının yaşam için çok sıkıntılı, konforsuz olduğu zamanda Zorkun yaylası dış hava şartları açısından yaşam için ideal ortamdadır. Yani bu aylarda hiçbir yapay soğutmaya, havalandırmaya, ısıtmaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Zorkun Yaylası da sadece bu aylar arasında kullanılmakta olduğu için planlamada iklim unsuru yaz aylarına göre değerlendirilmiştir. Örneğin yaygın dış mekan kullanımı, avlular, bahçeler ve haymalar yapılmıştır.

Duvarlar ve döşemeler tamamen ahşaptır. Taşıyıcı strüktür ahşap karkas, dış kaplama

ise ahşap yalı baskısı olarak yapılmaktadır Duvarların iç yüzeyi fincanlık, raf olarak kullanılmaktadır. Sürgü şeklinde çözülmüş ahşap kapaklardan yapılan pencerelerde cam yoktur. Akşam olduğu zaman sürülerek kapatılmakta ve perde görevi yapmaktadır. Planlamada iç mekan - dış mekan bağlantısı başarıyla kurulmuş, kullanım amacına uygun içinde yaşanıldığında insanın kendisini her yönü ile rahat hissettiği binalardır.

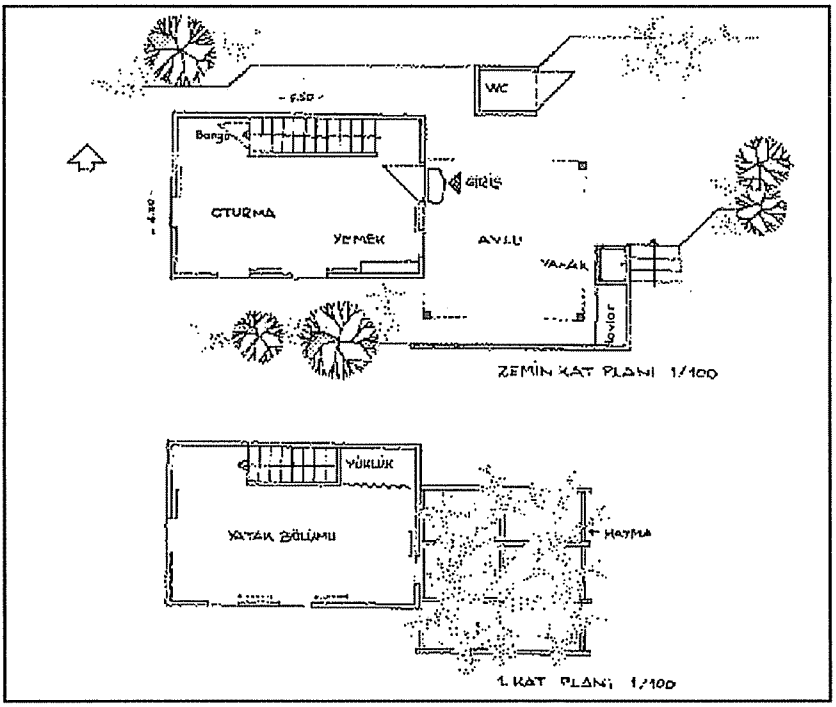


**Resim 4:** Hayma'dan Görünüş

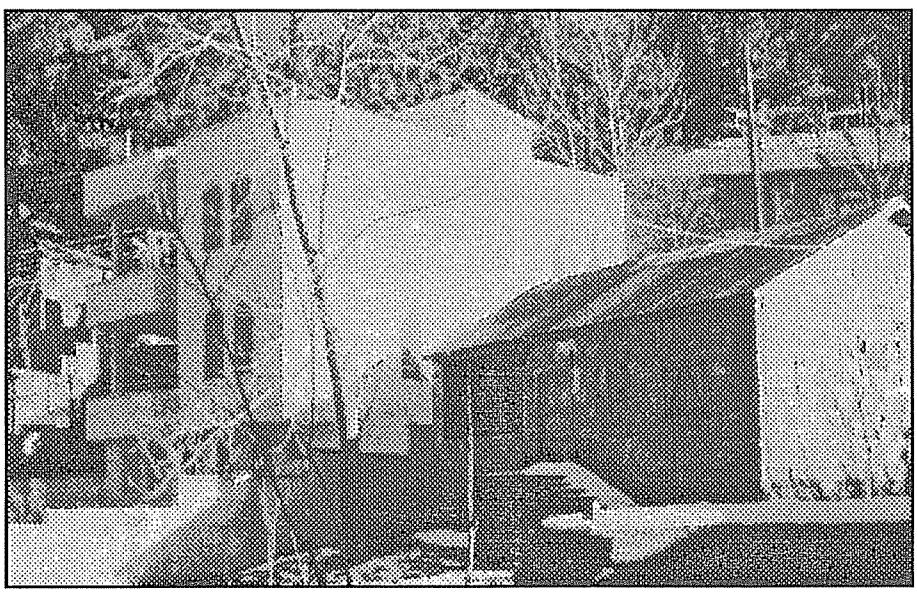
% 33 eğimli çinko çatı kış aylarındaki yoğun kar nedeni ile yapılmıştır. Binalar tamamen ahşap malzemeden oluşmuştur. Ahşap strüktürü ve iç mekanı, toprağın neminden korumak amacıyla yapılan zemin bağlantıları; ahşap ayaklarla veya "Barbakan" adı verilen harçsız yığma taş duvarlarla sağlanmıştır (Bkz.Resim 2 ve 5).

Kuzey cephesi tamamen sağır yapılmış, saydam elemanlar genelde güney cephesinde kullanılmıştır. Avlular ve Haymalar evin güneyinde çözülmüştür. Bahraz denilen, kışın yaprağını döken sarmaşık türü bitkilerle örtülen Hayma, güneş kontrolu sağlamaktadır (Bkz. Resim 4). Evler, aralarında oldukça geniş mesafe kalacak şekilde araziye yerleştirilmiştir. Yerleşim birimleri, ormanın derinliklerine kadar uzanan dar toprak yolları, bahçeleri, avluları, dereleri ve topoğrafik yapıyı düzenlemede kullanılan teraslamaları ve istinat duvarları ile doğayla bütünleşmiştir.

Eski çekirdek yerleşim dokusunda bu güzel yaşam mekanı oluşmuşken, günümüzün Zorkunun'da altyapı, imar planı ve yönetim birimleri olmaması yanı sıra devam etmekte olan hızlı ve kontrolsuz yapılaşma da tarihi süreklilik söz konusu olmadığı gibi, sağlıksız, yasal olmayan ve doğayı tahrib eden bir çevre meydana gelmektedir (Bkz. Resim 6).




**Resim 5**: Geleneksel Zorkun Evleri Plan Şemaları



**Resim 6**: Yerleşim dokusunda ki yapısal deformasyon

## 5. İDARİ YAPI

Bir yerleşime kamu hizmet ve denetimlerinin getirilebilmesi için, o yerleşimin bir yasal statüye ya da yetki birimine sahip olması gerekmektedir. Böylece hizmetler, hükümler, sınırlamalar o birim tarafından yürütülebilir. Bu konu Zorkun örneği ile incelendiğinde : Zorkun, T.C: Orman Bakanlığı tarafından tabiat parkı ve Karaca Üretme Merkezi olarak ilan edilmiştir (3). 09.08.1983 tarih 2872 sayılı Çevre Kanunu'na (7) göre bu bölgelerde yapılaşma yasaktır. Koruma kararının amacı ekolojik dengeyi muhafaza etmek ve çevre kirlililiğini önlemektir.

Öte yandan 31.08.1956 6831 sayılı kanuna göre (8) Zorkun orman bölgesidir ve ilgili yasanın 14.maddesinin getirdiği hükümler burası için geçerlidir (Madde 14, tüm canlı ve cansız doğal yapıya zarar vermeyi, tahrip etmeyi yasaklar). Yukarıda bahsedilen yasaların hiçbiri Zorkun'da uygulanamamaktadır.Konu, 03.05.1985 tarihli, 3194 sayılı imar yasası (9) açısından incelendiğinde; Zorkun'da yerleşimlerin plan, fen, sağlık şartlarıyla uygun gelişiminin sağlanmadığı ve dolayısı ile imar yasasının da hiçe sayıldığı görülmektedir.

Bu yerleşimlere hizmet veren devlet kurumlarını gözden geçirelim. Örneğin, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü 9-5-1985-3202 sayılı kanuna (10) göre devlet il yolları dışında kalan veya belediye olmayan yerlere veyâ yerleşimlere yol ve su hizmetleri yapmakla görevlidir. Bu yasa artan nüfusun baskısıyla Zorkun'da su şebekesi yapılarak uygulanmıştır.

Gene artan nüfusun baskısıyla PTT, sağlık ve elektrik hizmetleri ilgili kurumlarca yapılmaktadır. Fakat 3194 sayılı İmar Yasasının (9) nüfusu on bini aşan yerleşim birimlerinin imar planının yapılmasını mecbur etmesine rağmen, bu bölgede hiç bir imar çalışması yapılmamaktadır.

İmar Yasası'nın bu bölgelerde aksatılan diğer bir maddesi 18. maddesidir. Bu madde arazi ve arsa düzenlemesiyle ilgilidir ve hisseli arsaların icra dışında satışını yasaklamıştır. Buna rağmen yaylalara ait yeni arazi tapuları mevcuttur. Hatta Zorkun' da tapu olmayan yerlerde zilliyet yolu ile mülkiyet tesis edilmektedir.

Bazı bölgelerde tapuların Osmanlı Devri'nden kaldığı yapılan araştırmalarda tespit edilmiştir. Sözü geçen bu arazilerinin sahipleri suni olarak borçlandırılmakta, borcuna karşılık arazisinin bir kısmının icra yolu ile satışı yapılmakta, dolayısıyla imar Yasası'ndaki yapılaşma hükümlerine bağlı kalınmadan keyfi ve kar amaçlı bir parselasyon uygulanmakta, müteakibinde imarsız kaçak yapılaşmalar ortaya çıkmaktadır. Bu bölgedeki yapılaşma Gecekondu Yasası'ndaki tanıma uymaktadır. 20.07.1966 tarihli 775 sayılı Gecekondu Yasası'nda (11) "Gecekondu: imar ve yapı işleriyle ilgili yasalara bağlı kalmaksızın kendisine ait olmayan arazi ve arsalarda yapılaşma" diye tanımlanmıştır.

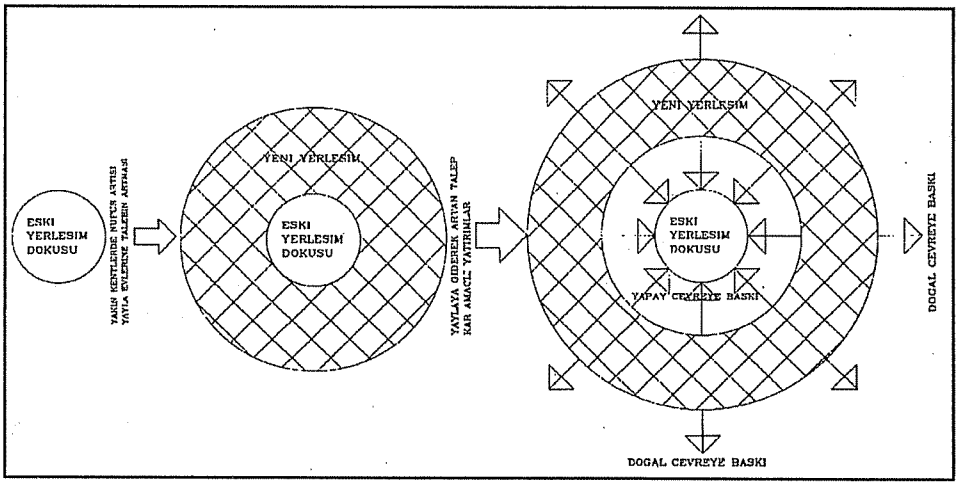
Sonuç olarak bu yerleşimler, imarsız kaçak yapılaşmanın ve gecekonduların olduğu bölgelerde görünen tüm sorunların daha büyük boyutlarına sahiptirler. Çünkü yerleşim

yeri itibariyle 1. derecede hassas ekolojik bölgelerde kurulmuşlardır. Milli Parklar Kanunu (12) 11.08.1983 tarih ve 18132 sayılı çevre etkilerinin boyutu yalnız yöreyi değil bütün bölgeyi etkilemektedir.

## 6. GÜNÜMÜZDEKİ İDARİ ŞEKLİN SONUÇLARI

Bu bölgelerde ki denetimleri, kimi zaman Orman Bakanlığı, kimi zaman bağlı bulundukları Belediyeler, kimi zaman Çevre Bakanlığı, hatta kimi zaman da gönüllü dernekler üstlenmektedir. Kamu hizmetlerinde de aynı karışıklık gözlenmektedir. Bazen Köy Hizmetleri, bazen iller Bankası, bazen yöre nüfusunun bağlı bulunduğu belediyeler hizmet götürmeye çalışmaktadır.

Öte yandan bu kamu kuruluşlarının birbirinden habersiz çalışmaları daha da ilginçtir. Örneğin; bir taraftan Orman Kanunun 14. maddesinde (8) bu alanlarda yerleşim yasağı getirilip, tamamen denetimleri Orman Bakanlığı'na verilmişken, bu yerleşimin bağlı bulunduğu belediyeler, yerleşen nüfusun baskısıyla kamu hizmeti götürmekte, bir anlamda da yasal olmıyan yerleşimin bazı sorunlarını çözmekte ve denetlemektedir. Bu hizmet ve denetim mekanizmasında ki karışıklık ve yörelerde sorumlu hukuki bir yetki biriminin bulunmayışı; çarpık yapılaşma ve gecekondulaşmaya neden olmakta ve son aşamada yörelerdeki ekosistemler ve tarihi dokular tamamen bozulmaktadır. Resim 7'de doğayla bütünleşmiş eski yerleşim dokusuna, yeni yerleşim ünitelerinin giderek artan bir şekilde yapılması, daha sonra kar amaçlı, spekülatif arsa ticaretinin başlaması ve katlanarak büyüyen yeni yerleşim dokusunun eski yerleşim dokusuna ve doğal çevreye yaptığı deforme edici baskı şematize edilmiştir.




**Resim 7**: Doğal ve Tarihi (Yapay) Çevrenin Plansız ve Hızlı Yapılaşmadan Etkilenmesi

Burada mevzubahis edilen yapay ve doğal çevrede deformasyonları şöyle tanımlayabiliriz:

**a) Doğal Çevre:** Orman arazilerinin hiçbir yasaya bağlı kalmadan parsellenip yapılaşması ve alt yapı hizmetlerinin bu bölgeye götürülmemiş olması çevre kirliliğine neden olmaktadır. Zorkun örneğinde olduğu gibi. Bir taraftan doğal su kaynaklarının son kapasitesine kadar kullanımı, diğer taraftan katı ve sıvı atıkların çevreye direkt bırakılması, ekolojik dengeyi yavaş yavaş bozmaktadır. Dolayısıyla hayvan ve bitki türleri yok olmaktadır.

**b) Tarihi (Yapay) Çevre:** Bu bölgeler iklim, peyzaj ve planlama olarak özgün bir yerleşime sahiptirler. Hızlı ve çarpık yapılaşma bu özgün dokuyu da bozmakta, günümüze kadar gelebilmiş, özellikle yaşayan tarihi doku hızla kaybolmaktadır.

## 7. SONUÇ

Çekirdek yerleşim dokusuna olan talep; nüfus ve değişen sosyo-ekonomik yapıya bağlı olarak ve kar amaçlı girişimlerle suni olarak artmaktadır. Bu gelişimin sonucu olarak hızlı ve denetimsiz bir yapılaşma ortaya çıkmaktadır. Yasalar yetersiz kalmakta ve kar amacı güdenler tarafından çalışmaz hale getirilmektedir.

Yasalara uymamak cezalandırılmamakta, kısa zamanda çekirdek yerleşim dokusunun bir kaç misli büyüklüğünde yeni yerleşim dokuları oluşmakta, çevre sorunları madden çözülemiyecek boyutlara ulaşmaktadır. Ülkemizde genelde ekolojik dengenin bozulup, doğal kaynakların tükenmesi ve bunun paralelinde canlı türlerinin ortadan kalkmaya başlaması ve iklimsel değişikliklerin farkedilir düzeye gelmesinden sonra denetim getirilmeye çalışılmaktadır. Bu bölgede getirilmesi gereken en acil çözüm, öncelikle mevcut Tabiat Parkları Yasası'nın (2), Çevre Yasası (7), Orman Yasası (8), İmar Yasası (9) çalışır hale getirilmesidir. Daha sonra bu yasaların uygulama yetersizlikleri tartışılmalıdır. İvedilikle ele alınması gereken diğer çözüm ise, bu bölgelerin hukuki belirsizliklerinin giderilmesidir.

Kısaca çözüm getirilmesi gereken konuları a) Eski dokunun korunması, b) Çevre sorunlarının giderilmesi ve c) Yasal statü olmak üzere üç başlık altında toplayabiliriz:

**a) Eski Dokunun Korunması:** Koruma yapılaşmayı dondurma amaçlı düşünülmemelidir. Bir planlama verisi ve yeni ve çağdaş çözümler üretmek için bir tasarım unsuru olarak algılanmalıdır. Korumanın hedefi yeniliğe karşı çıkmanın aksine geçmiş-günümüz-gelecek sürecinin bozulmamasını sağlamak olmalıdır. Bu sürecin bozulduğu, ihlal edildiği noktada kentsel kimliksizlik ve çarpık yapılaşmanın meydan geldiği unutulmamalıdır. Koruma'nın şekli ve boyutları 2863 ve 3386 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıkları Yasasında (13) hükme bağlanmıştır.

**b) Çevre Sorunlarının Giderilmesi:** Doğanın verdiği sınırlı imkanların aşırı derecede kullanılması bir yandan doğanın asimilasyon kapasitesini düşürürken bir yandan da ekolojik dengenin bozulmasına neden olmaktadır. Örneğin doğal su

kaynaklarının kurak yaz ayları boyunca kullanılması bitki ve hayvan türlerinin yok olmasına yol açmaktadır. Sonuç olarak bu bölgelerde 09.08.1983 tarih ve 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun (7) uygulanması gerekmektedir.

**c) Yasal Statü:** Zorkun Yaylası, doğal güzellikleri, temiz havası ve konforlu iklimsel özellikleri açısından bir tatil beldesi konumundadır ve 09.08.1983 tarih ve 2873 sayılı Milli Parklar Yasası (2) madde 2/b'deki Tabiat Parkı tanımına girer. Dolayısıyla yöre halkının asırlardır kullandığı yeşil alanların koruma amacı ile yerleşime kapatılmasını önermek yararsız olabilir. Aksine bu doğal kaynakların, halkın dinlenme ve rekreasyon amaçlı kullanımına bir plan çerçevesinde açılması yararlıdır. Bu yüzden yörenin acilen yasal bir kimliğe kavuşturulması, mevcut yerleşimlerin rehabilite edilerek, devam etmesi uygun görülen yerleşim birimlerine ekolojik dengeyi bozmayacak şekilde hizmet ve denetim getirilmesi ve bu işlemlerin yapılabilmesi için iyi bir yönetim biriminin kurulması gerekir.

Bu yönetim birimi nasıl olur? Hukuki dayanağı nedir? Bu konuya çeşitli alternatifler getirmek mümkündür. Zorkun Yaylası'nda vatandaşların kurduğu bir dernek mevcuttur. Ancak yasal bir dayanağı ve yaptırım gücü olmadığı için etkisiz kalmaktadır. Zorkun Yaylası için bir öneride bulunmak gerekirse: Mevcut olan bu derneğe belediyenin de ortak olması ve yaptırım gücünün artırılması, ilgili yasalar dahilinde yöre halkına hizmet ve denetim götürülmesi, devam etmekte olan çarpık yapılaşmayı durdurması, mülkiyeti devlete ait olmak üzere yeni ve yasal bir yapılaşmayı halkın hizmetine sunması, herkesin faydalanmaya hakkı olduğu bu bölgeleri daha geniş halk kitlelerine açması, bu yörenin iyileştirilmesi ve gelişmesi açısından olumlu bir adım olacaktır.

Genel olarak Çukurova Bölgesi'ndeki yaylaların yasal bir dernek tarafından yönetilmesi, bu derneğin gelirinin üyelerden ve belediyelerden sağlanması daha da ileri aşamada, bu bölgelerin yaz ayları dışında (çünkü senenin 2 ya da 3 ayı için çok büyük miktarlarda yatırımlar yapılmaktadır) kışın ve bahar aylarında da kullanılmasının sağlanması, dağcılık, kayak gibi sporlara açılması yeni tatil ve dinlenme olanakları getirirken, ekonomik yönden kalkınmaya ve çarpık yapılaşma ile oluşan sorunların çözümüne katkısı olacaktır.

## 8. KAYNAKLAR


1. Dinçer, A., Neşet,1991. Zorkun, Osmaniye
2. 09.08.1983 tarihli 2873 sayılı Milli Parklar Kanunu , Ankara
3. Adana ili Yıllığı, 1991
4. T.C. Bayındırlık Bakanlığı ısı Yönetmeliği, Ankara
5. Meteoroloji Genel Müdürlüğü iklim Verileri,1995. Adana.
6. T.C.Orman Bakanlığı 1992-93 Av Mevsimi Merkez Komisyonu Kararları
7. 09.08.1983 tarihli 2872 sayılı Çevre Kanunu, Ankara
8. 31.08.1956 tarihli 6831 sayılı Orman Kanunu, Ankara

**9.** 03.05.1985 tarihli, 3194 sayılı İmar Kanunu, Ankara
**10.** 09-5-1985 tarihli 3202 sayılı kanun (Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü), Ankara
**11.** 20.07.1966 tarihli 775 sayılı Gecekondu kanunu, Ankara
**12.** 11.08.1983 tarih ve 18132 sayılı Milli Parklar Kanunu, Ankara
**13.** 21.7.1983 tarihli 2863 ve 17.6.1987 tarihli ve 3386 sayılı Kültür ve Tabiat Varlığını Koruma Kanunu.

ISSN 1019-1011
Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ Haziran/Aralık 1995 Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH.
CİLT 10 SAYI 1-2 June/December VOL.10 NO.1-2

# DAİRESEL ÇUBUKLARIN DÜZLEMİNE DİK SERBEST TİTREŞİMİ

**Vebil YILDIRIM**
*Ç.Ü., Makina Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*
**Gökhan ELBİR**
*Mersin Ü., Makina Mühendisliği Bölümü, Mersin/Türkiye*

**ÖZET :** *Bu çalışmada; lineer elastik, homojen ve izotrop malzemeden yapılmış, çift simetrik ve sabit kesitli daire eksenli çubukların düzlemine dik serbest titreşimi, kayma deformasyonu ve dönme ataletleri ihmal edilmeden, taşıma matrisi yöntemi ile sayısal olarak incelenmiştir. Çubuk kesit şekli, merkez açısı, narinlik oranı ve mesnet şekilleri gibi parametrelerin serbest titreşim frekanslarına etkileri araştırılarak, elde edilen sonuçlar tasarım için boyutsuz grafikler halinde sunulmuştur.*

## OUT-OF-PLANE FREE VIBRATION OF CIRCULAR BARS

**ABSTRACT :** *In this study, the out - of - plane vibration of uniform arcs of an elastic, homogeneous and isotropic material having a double-symmetrical cross section has been studied numericaly by the transfer matrix method with the Timoshenko's beam theory. The effects of the shapes of cross sections, the opening angles, the slenderness ratios, the boundary conditions on the natural frequencies have been investigated in detail. The results obtained have been presented in non - dimensional graphical forms for use in design.*

## 1.GİRİŞ

Düzlem değişken veya sabit kesitli eğri eksenli çubuklar çeşitli teknik uygulamalarda önemli görevler üstlenmekte; segman, boru sistem elemanı, makina ve yapı elemanları olarak kullanılmaktadır. Dinamik ortamlarda çalışan daire eksenli çubuk şeklindeki makina parçalarının serbest titreşim frekanslarının bulunması pratik bir öneme sahiptir. Frekans hesabında kullanılan modelin sürekli olması, elde edilen sonuçların pratiğe aynen uygulanabilir olması demektir.

Eğri eksenli çubukların düzlemine dik serbest titreşim frekanslarının incelenmesi 1950'li yıllardan beri önem kazanmıştır. Takahashi (1), kapalı olmayan daire eksenli çubukların düzlemine dik serbest titreşimine ait dönme ataleti ve narinlik oranını içeren serbest titreşim frekanslarını grafik olarak sunmuştur. Kuo (2) ve Öndüzen (3), eşdeğer taşıma matrisi yöntemi ve Timoshenko kiriş teorisi ile, düzlemsel çubukların düzlemine dik serbest titreşimini incelemişlerdir.

Suziki ve ark. (4), kayma deformasyonu ve dönme ataletlerini ihmal ederek, uçları ankastre, sabit kesitli düzlem eğri eksenli çubukların (sinüs, zincir, sikloid, hiberbol, parabol) düzleme dik titreşimini incelemişlerdir. Irie ve ark. (5) değişken kesitli daire parçası çubukların düzlemine dik serbest titreşimini taşıma matrisi metodu ile ele almışlar, dikdörtgen kesitte kesit değişim fonksiyonunun ve narinli oranının frekanslara etkilerini incelemişlerdir. Suziki ve ark. (6) eğri eksenli ve değişken kesitli çubukların düzlemine dik serbest titreşimine ait denklemleri ve sınır şartlarını, enerji yöntemiyle elde ederek, çözümünü seri şeklinde sunmuşlardır. Uçları ankasre ve basit mafsallı,simetrik eliptik çubukların frekans ve modlarını vermişlerdir.

1980 'lerden sonra yapılan çalışmalarla da üniform kesitli daire eksenli çubukların tasarımı için kullanılabilecek verilerin elde edilmesine ağırlık vedilmiştir. Irie ve arkadaşlarının (7) bu konudaki ilk çalışmalarında uçları ankastre - ankastre, serbest - ankastre ve basit - basit olarak mesnetlenmiş çubukların düzlem dışı ilk boyutsuz 4 frekansı narinlik oranına bağlı olarak grafikler halinde sunulmuştur. Diğer çalışmalarında (8), uçları serbest - serbest, ankastre - ankastre, serbest - ankastre, serbest - basit, ankastre - basit ve basit - basit olarak mesnetlenmiş çubukların düzlem dışı ilk boyutsuz 4 frekansı narinlik oranının Sx=10 ve Sx=100 değerleri için, merkez açısını $10^o$-$180^o$ aralığında tasarımda kullanılmak üzere grafikler halinde sunulmuştur. Irie ve arkadaşlarının bu iki çalışması, günümüze kadar yapılmış en kapsamlı tasarım verilerini içermektedir.

Bu çalışmada, daire eksenli çubukların titreşim problemi, taşıma matrisi metodu yardımıyla sürekli kütle şeklinde modellenmiş bazı parametrelerin serbest titreşim frekanslarına etkileri ayrıntıl bir şekilde incelenmiş ve sonuçlar tasarım aşamasında kullanılmak üzere boyutsuz grafikler şeklinde verilmiştir.

## 2. DAİRE EKSENLİ ÇUBUKLARIN DÜZLEMİNE DİK SKALER SERBEST TİTREŞİM DENKLEMLERİ

Daire eksenli çubuğun boyutsuz serbest titreşim denklemlerinin matris formu aşağıda olduğu gibidir (9):

$$\frac{d\{\overline{S}\}}{d\phi} = [\overline{D}]\{\overline{S}\} \tag{1}$$

(1) de $d\phi$ açı elemanı, $\{S\}$ durum vektörü, [D] dinamik diferansiyel geçiş matrisidir. Çubuğun düzlemine dik titreşmesi durumunda boyutsuz durum vektörünün elemanları aşağıda verilmiştir.

$$\{\overline{S}\}=\left\{\overline{U}_b, \overline{\Omega}_t, \overline{\Omega}_n, \overline{T}_b, \overline{M}_t, \overline{M}_n\right\}^T \tag{2}$$

(2) de $U_b$ binormal birim vektör doğrultusundaki ötelenmeyi, $\Omega_t$ kesite dik eksen etrafındaki dönmeyi, $\Omega_n$ normal birim vektör etrafındaki dönmeyi; $T_b$ kesme kuvvetini, $M_t$ burulma momentini ve $M_n$ eğilme momentini temsil etmektedir. Kesitte bulunan bu büyüklükler, daire eksenli çubuğun yarıçapı R (D/2), elastisite modülü E, normal eksene göre asal atalet momenti $I_n$ ile sembolize edilmek üzere (3) te olduğu gibi boyutsuzlaştırılmışlardır.

$$\begin{aligned} &\overline{U}_b=\frac{1}{R}U_b \qquad && \overline{\Omega}_t=\Omega_t \qquad && \overline{\Omega}_n=\Omega_n \\ &\overline{T}_b=\frac{R^2}{EI_n}T_b \qquad && \overline{M}_t=\frac{R}{EI_n}M_t \qquad && \overline{M}_n=\frac{R}{EI_n}M_n \end{aligned} \tag{3}$$

(1) in çözümü [F] taşıma matrisi ile,

$$\{\overline{S}(\phi)\} = [\overline{F}(\phi,\omega)]\{\overline{S}(0)\} \tag{4}$$

dir. Dinamik sistem taşıma matrisi literatürde verilen algoritma yardımı ile sayısal olarak, hassas bir şekilde hesaplanmıştır (10,11). $\alpha$ merkez açısı olmak üzere, (4) de $\phi = \alpha$ için sistem taşıma matrisi düzenlenip, uçlardaki sınır şartlar dikkate alınarak elde edilen lineer homojen denklem takımında, katsayılar matrisinin determinantını sıfır yapan $\omega$ değeri iterasyonla bulunmuştur.

Lineer elastik, homojen ve izotrop malzeme, çift simetrik kesit ve birinci mertebe teorisi kabulleri ile (1) deki diferansiyel geçiş matrisinin elemanları aşağıda olduğu gibidir (9):

$$[D]=\left[\begin{array}{ccc:ccc} 0 & 0 & -1 & \dfrac{\alpha_b EI_n}{GAR^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \dfrac{EI_n}{GJ} & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \hline -\dfrac{R^4\rho A\omega^2}{EI_n} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\dfrac{R^2\rho J\omega^2}{EI_n} & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -\dfrac{R^2\rho\omega^2}{E} & 1 & -1 & 0 \end{array}\right] \quad (5)$$

(5) de A kesit alanını, G kayma modülünü, J burulma atalet momentini, $\rho$ malzeme yoğunluğunu, $\omega$ açısal serbest titreşim frekansını, $\alpha_b$ Timoshenko kayma sabitini göstermektedir.

## 3.SAYISAL ÖRNEKLER

Yöntemin etkinliğini göstermek amacı ile, $\upsilon = 0.3$ olarak alınan daire eksenli çubuğun frekansları, literatür sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak Çizelge (1) de verilmiştir Çizelge (1) de bulunan boyutsuz freakans (6) da olduğu gibi, narinlik oranı da (7) de olduğu gibi tanımlanmıştır.

$$\bar{\omega}^2 = \frac{\rho A R^4}{E I_n} \omega^2 \tag{6}$$

$$S_x^2 = \frac{AR^2}{I_n} = 4\left(\frac{D}{d}\right)^2 \tag{7}$$

**Çizelge 1.** Ankastre - Ankastre uç ve daire kesit için boyutsuz frekanslar.

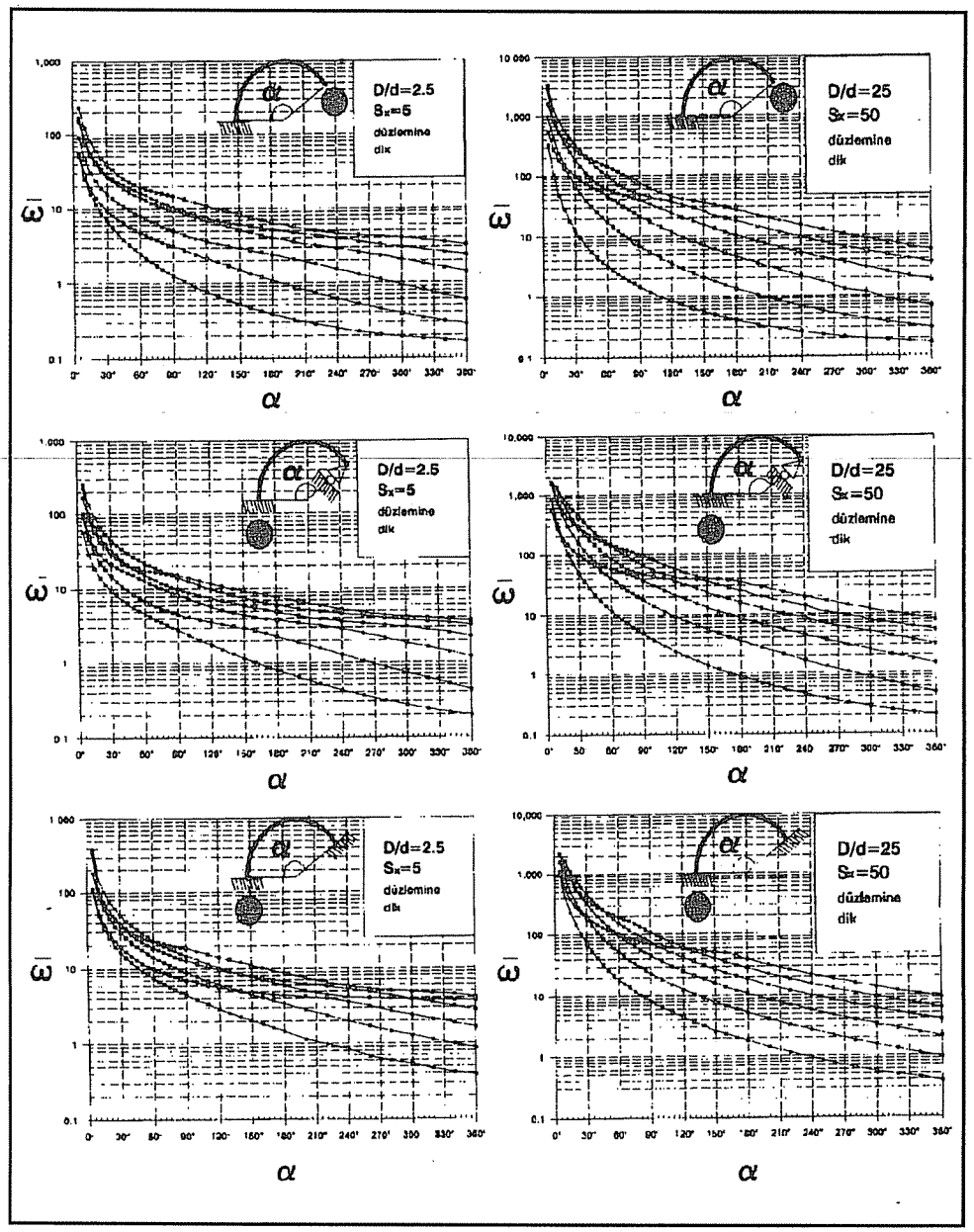
| | | $\alpha = 60^o$ | | $\alpha = 120^o$ | | $\alpha = 180^o$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sx | $\omega$ | (8) | Şimdiki çalışma | (8) | Şimdiki çalışma | (8) | Şimdiki çalışma |
| 20 | 1 | 16.88 | 16.74 | 4.31 | 4.30 | 1.79 | 1.79 |
| | 2 | 39.70 | 39.67 | 11.79 | 11.74 | 5.03 | 5.02 |
| | 3 | 40.90 | 40.35 | 22.50 | 22.33 | 10.23 | 10.19 |
| | 4 | 70.51 | 69.32 | 23.30 | 23.29 | 16.91 | 16.82 |
| 100 | 1 | 19.45 | 19.45 | 4.47 | 4.47 | 1.82 | 1.82 |
| | 2 | 54.10 | 54.09 | 12.89 | 12.89 | 5.24 | 5.24 |
| | 3 | 105.69 | 105.68 | 26.08 | 26.07 | 10.99 | 10.99 |
| | 4 | 172.75 | 172.71 | 43.68 | 43.66 | 18.81 | 18.81 |

Test amaçlı diğer bir örnek olarak, uçları ankastre - boş olarak mesnetlenmiş dikdörtgen kesitli yarım çember şeklinde bir çubuk seçilmiştir. Bu örneğe ait geometrik ve malzeme özellikleri aşağıda olduğu gibi alınmış ve sonuçlar Çizelge (2) de verilmiştir.

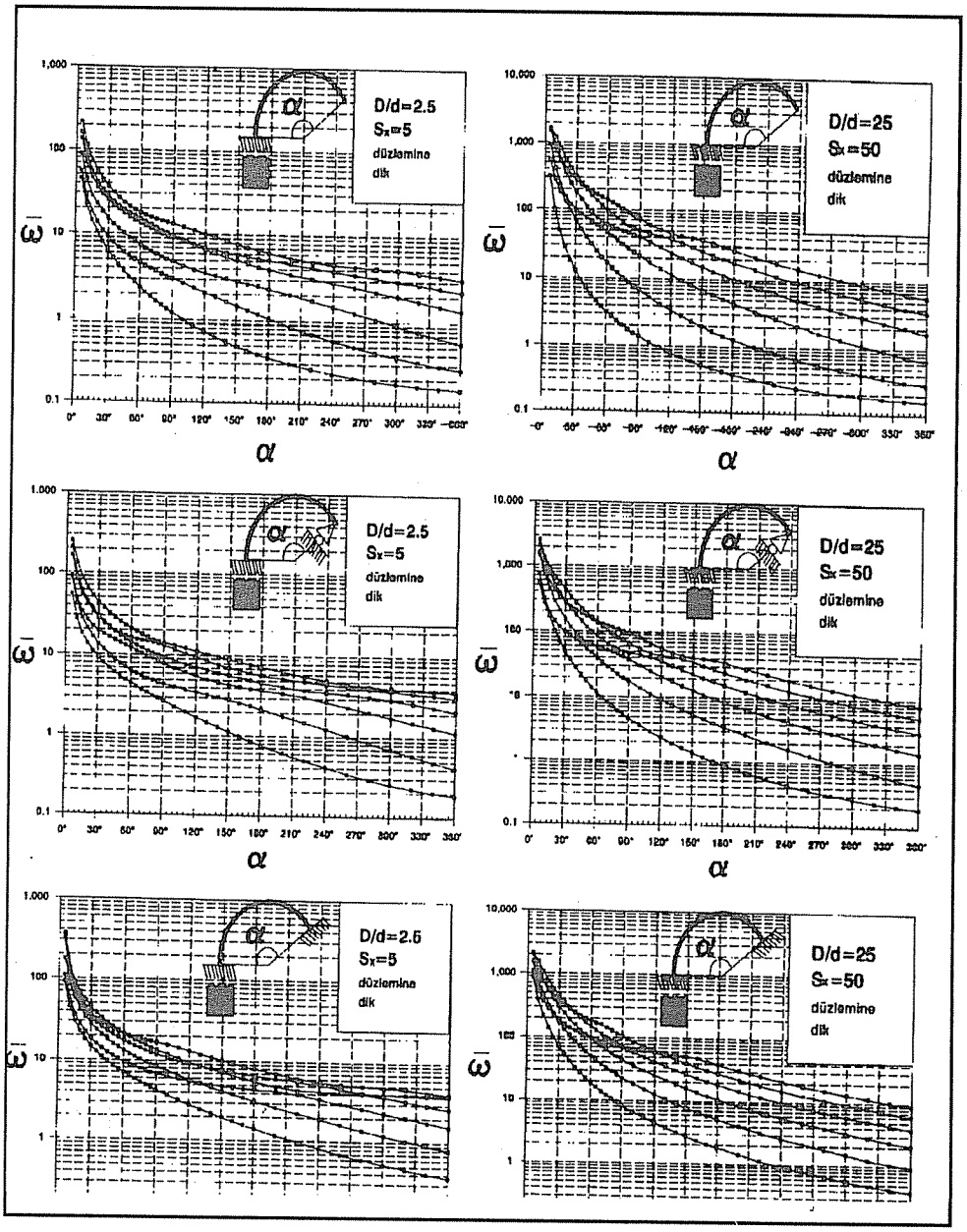
$\rho = 2882 kg/m^3$ $E = 68.13\ 10^9\ N/m^2$ $A = 1.1718\ 10^{-4} m^2$ $\alpha_b = 1.2$ $J = 1.22\ 10^{-9} m^4$
$\upsilon = 0.33$ $\alpha = 180^o$ $R = 0.305m$ $I_n = 3.4882\ 10^{-9} m^4$ $I_b = 3.75367\ 10^{-10} m^4$

**Çizelge 2.** Dikdörtgen kesitli, ankastre - boş yarım çemberin düzlem dışı doğal frekansları (rad/s).

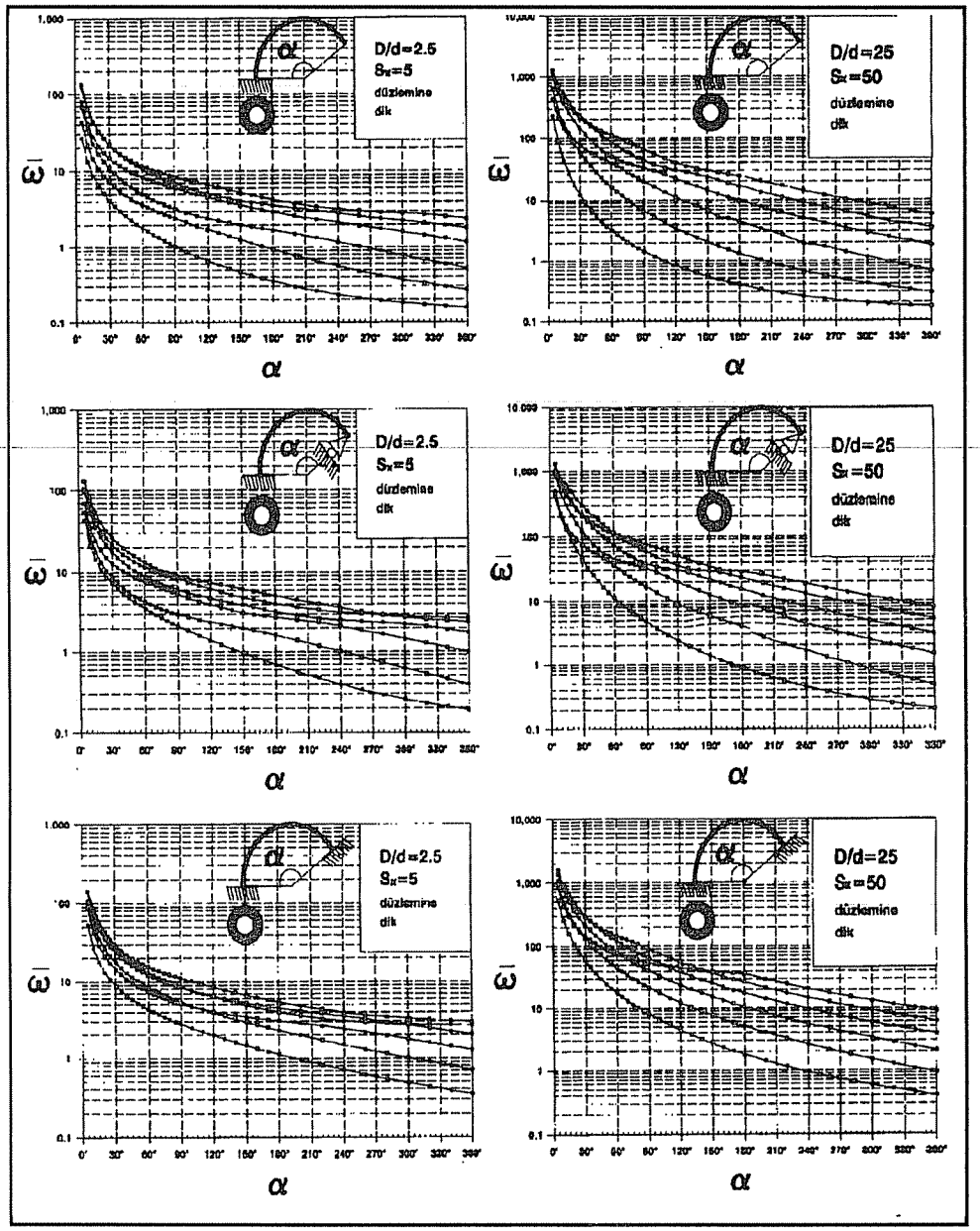
| | Modlar | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Şimdiki çalışma | 54.80 | 263.93 | 953.24 | 2341.88 |
| (12) (deney) | 56.00 | - | - | - |
| (12) (teori) | 59.60 | - | - | - |
| (10) | 54.77 | 262.63 | 946.32 | 2325.78 |



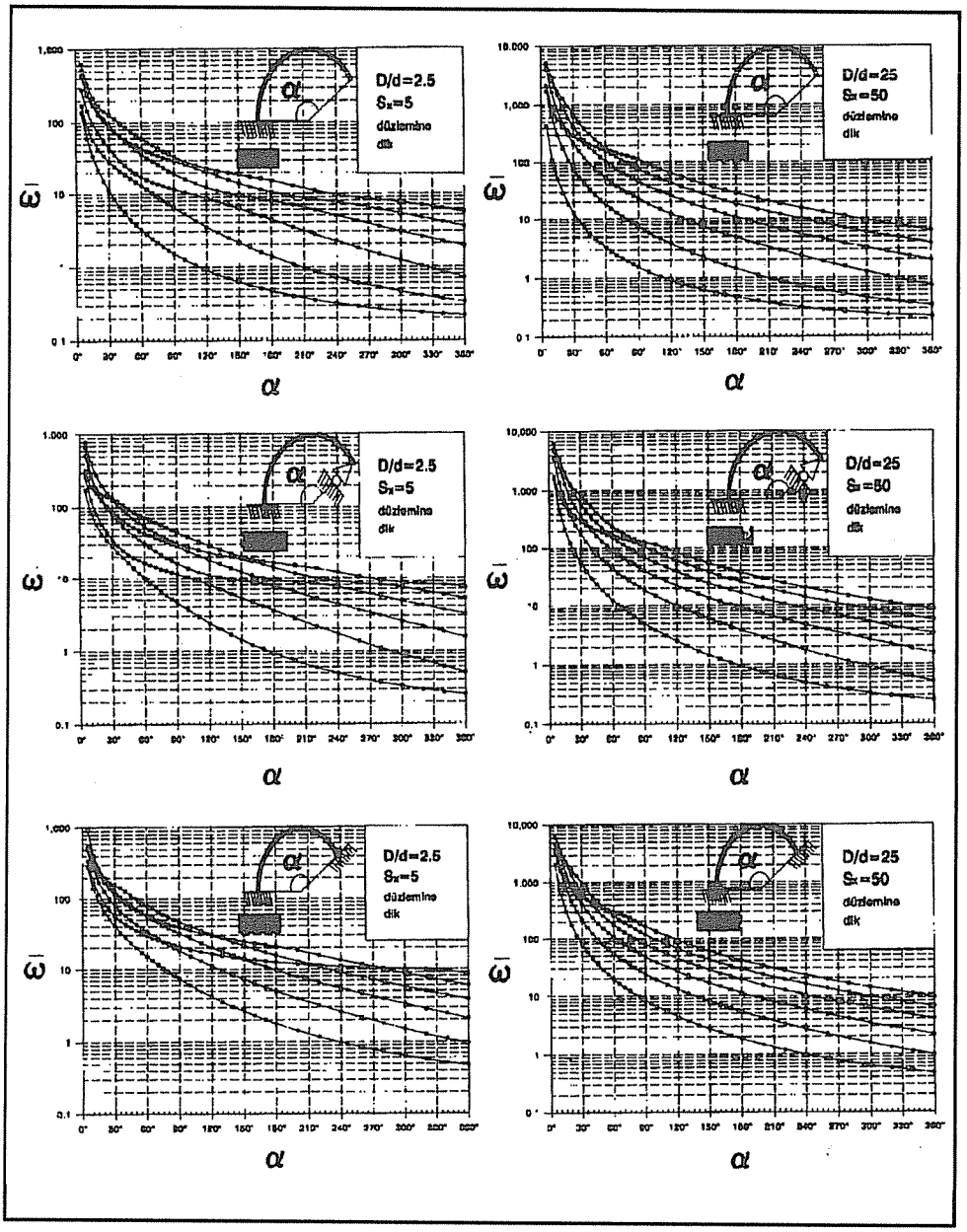

**Şekil 1:**Daire kesit, ankastre - boş, ankastre - basit ve ankastre-ankastre uç sınır şartları için, düzleme dik boyutsuz frekansın merkez açısı ile değişimi.



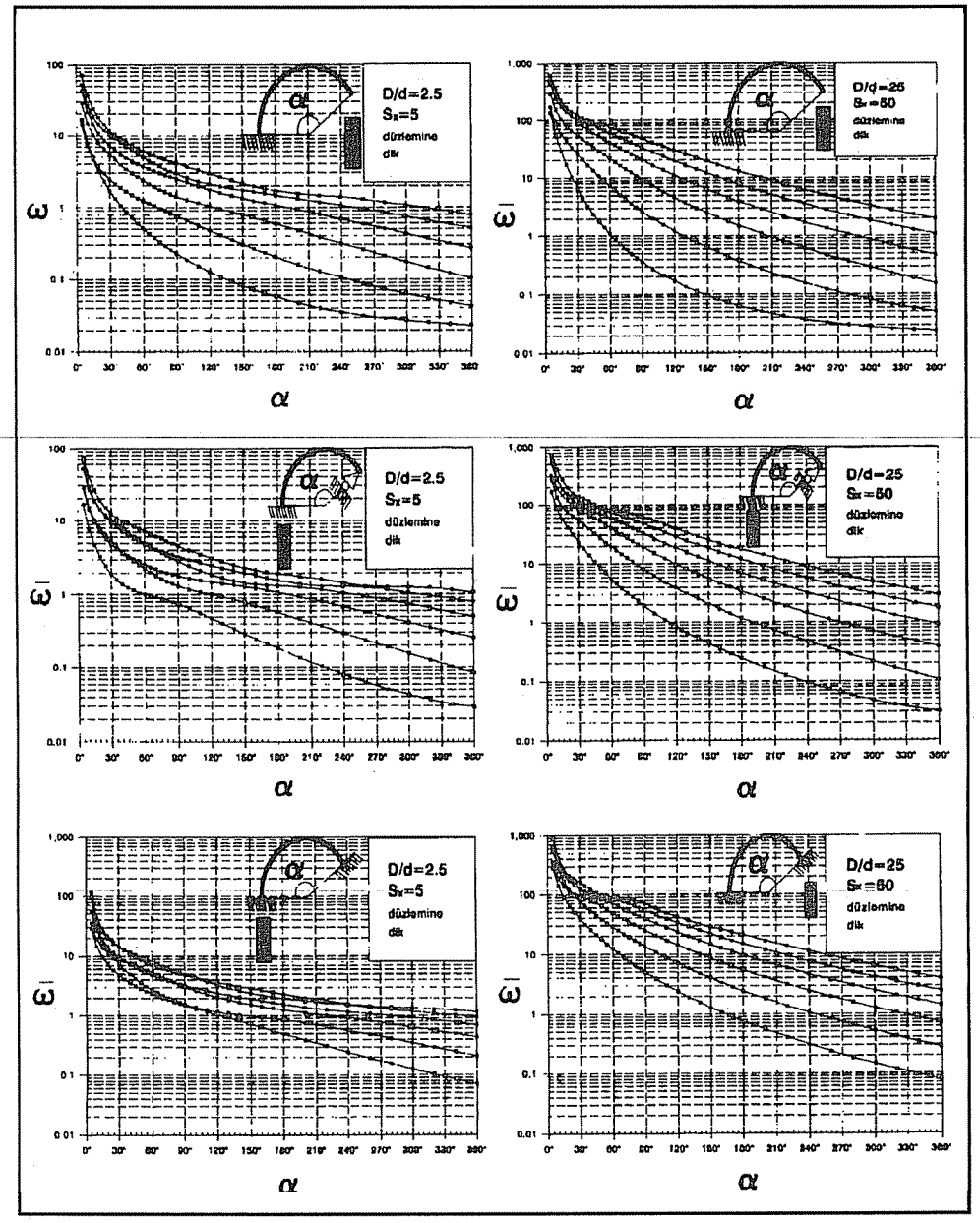

**Şekil 2:** Kare kesit, ankastre - boş, ankastre - basit ve ankastre-ankastre uç sınır şartları için, düzleme dik boyutsuz frekansın merkez açısı ile değişimi.




**Şekil 3:** Halka kesit, ankastre - boş, ankastre - basit ve ankastre-ankastre uç sınır şartları için, düzleme dik boyutsuz frekansın merkez açısı ile değişimi.




**Şekil 4:** Yatay dikdörtgen kesit, ankastre - boş, ankastre - basit ve ankastre - ankastre uç sınır şartları için, düzleme dik boyutsuz frekansın merkez açısı ile değişimi.




**Şekil 5:** Düşey dikdörtgen kesit, ankastre - boş, ankastre - basit ve ankastre - ankastre uç sınır şartları için, düzleme dik boyutsuz frekansın merkez açısı ile değişimi.

Tasarım grafiklerinin hazırlanmasında, şimdiki çalışmada üç sınır şartı (ankastre-ankastre, ankastre-basit, ankastre-boş), narinlik oranının iki farklı değeri (Sx=5 D/d=2.5; Sx=50 D/d=25) ve merkez açısı için $\alpha = 10^o$-$360^o$ aralığı seçilmiştir. Çalışmada gözönüne alınan ve kesit alanları eşit olan kesit şekillerinin özellikleri aşağıda olduğu gibidir.

1) dolu daire ($\alpha_b$=1.2)
2) kare ($\alpha_b$ = 1.2)
3) dikdörtgen (b/h=10 ve h/b=10) ($\alpha_b$ =1.2)
4) halka kesit (iç çap/dış çap=0.5) ($\alpha_b$ =1.61 (13))

Temel frekanslar için elde edilen grafikler Şekil (1-5) de verilmiştir.

## 4. SONUÇLAR

Merkez açısı artıkça, boyutsuz frekanslar düşmekte; narinlik oranının büyümesi de boyutsuz frekansların büyümesine eden olmaktadır. Sınır şartlarının sıklaşması da frekansları artırmaktadır. Kare ve daire kesitin boyutsuz frekansları birbirine yakın olmakla beraber, kareninkiler daha küçüktür. Kayma deformasyonları küçük narinlik oranı ve küçük merkez açısı değerlerinde önem kazanmaktadır. Boyutsuz frekanslar kesit şekillerine göre, düşey dikdörtgen, halka, kare, daire ve yatay dikdörtgen olmak üzere küçükten büyüğe doğru sıralanabilir.

## 5. KAYNAKLAR

**1.** *Takahashi, S., Vibration of a circular arc bar (perpendicular to its plane), Bulletin of JSME, 6/24, 674-681, 1963.*

**2.** *Kuo, R.W., A Numerical Method for the Solution of Free Vibrations of One-Dimensional Structures, M.S. Thesis, METU, 1971.*

**3.** *Öndüzen, A., Curved and Polygonal Planar Rods on an Elastic Foundation, M.S. Thesis, METU, 1974.*

**4.** *Suzuki, K., Aida, H., Takahashi, S., Vibrations of curved bars perpendicular to their planes, Bulletin of the JSME, 21/162, 1685-1695, December 1978.*

**5.** *Irie, T., Yamada, G., Takahashi, I.,Out - of - plane vibration of arc bar of variable cross-section, Bulletin of the JSME, 23/181, 1200-1205, 1980.*

**6.** *Suzuki, K., Kosawada,T., Takahashi, S., Out-of-plane vibrations of curved bars with varying cross-section, Bulletin of the JSME, 26/212, 268-275, February 1983.*

**7.** *Irie, T., Yamada, G.,Tanaka, K., Free out-of-plane vibration of arcs, J. Appl. Mech., ASME, 49, 439-442, 1982.*

**8.** *Irie, T., Yamada, G., Tanaka, K., Natural frequencies of out - of - plane vibration of arcs, J. Appl. Mech., ASME, 49, 910-913, 1982.*

**9.** *Elbir, G., Daire Eksenli Çubukların Düzlemi İçindeki ve Düzlemine Dik Serbest Titreşiminin Trasfer Matrisi Metodu İle Sayısal Analizi, Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Müh. Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana, 1995.*

**10.** *Yıldırım,V., Helisel Yayların Serbest Titreşiminin Rİjitlik Matrisi Yöntemi Metodu ile İncelenmesi, Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi 19/4, 343-356, 1995.*

**11.** *Yıldırım, V., Investigatin of paremeters affecting free vibration frequency of helical springs, Int. J. Numer. Met. Engng., (to be published).*

**12.** *Tabarrok, B., Sinclair. A.N., Farshad, M. and Yi, H., On the dynamics of spatially curved and twisted rods- A finite element formulation, Journal of Sound and Vibration, 123/2, 315-326, 1988.*

**13.** *Cowper, G. R., The shear coefficient in Timoshenko's beam teory, ASME Journal of Applied Mechanics, 33/2, 335-340, 1996.*

ISSN 1019-1011

Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ Haziran/Aralık 1995 Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH.
CİLT 10 SAYI 1-2 June/December VOL.10 NO.1-2

# DAİRESEL ÇUBUKLARIN DÜZLEMİ İÇİNDEKİ SERBEST TİTREŞİMİ

**Vebil YILDIRIM**
*Ç.Ü.,Makina Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*
**Gökhan ELBİR**
*Mersin Ü., Makina Mühendisliği Bölümü, Mersin/Türkiye*

**ÖZET:** *Bu çalışmada; lineer elastik ve sabit kesitli daire eksenli çubukların düzlemi içindeki serbest titreşim problemi, eksenel ve kayma deformasyonları ile dönme ataletleri dikkate alınarak, taşıma matrisi yöntemi ile sayısal olarak ele alınmıştır. Çubuk kesit şeklinin, merkez açısının, narinlik oranının ve mesnet şekillerinin serbest titreşim frekanslarına etkileri ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve sonuçlar tasarımda kullanılmak amacı ile boyutsuz grafikler halinde sunulmuştur.*

## IN-PLANE FREE VIBRATION OF CIRCULAR BARS

**ABSTRACT :** *In this study, the free in- plane vibrations of elastic circular arcs has been worked out considering the rotary inertias, the axial and the shear deformations by the method of transfer matrix. The effects of some parameters such as the shapes of cross sections, the opening angles, the boundary conditions and the slenderness ratios on natural frequencies are investigated. Variations of the first six dimensionless frequencies with the vibrational parameters have been presented in graphical form for practical use.*

## 1.GİRİŞ

Eğri eksenli çubukların düzlem içi doğal frekanslarının incelenmesi 1950 'li yıllardan beri önem kazanmıştır (1-10). Bu amaçla önceleri basit kabuller dahilinde olayı idare eden denklemler elde edilmiş, zamanla bu denklemlere yeni terimler eklenerek, mevcut denklemler daha kapsamlı hale getirilmiştir. Basit formdaki denklemlerin bazı sınır şartları için çözümü ile, temel doğal frekanslar analitik olarak hesaplanabilmiştir. Bununla beraber, yeni terimlerin eklenmesi ile oluşan kapsamlı denklemlerin kapalı çözümlerinin hesabı gitgide güçleşmiştir. Bu durumda sayısal yöntemlerin kullanılması bir zorunluluk olmuştur. Zamanımızda bilgisayarların ve sayısal yöntemlerin hızla gelişmesi sonucu, tek bir eleman veya daha fazla sayıda elemandan oluşan sistemler, daha detaylı incelenebilme imkanına kavuşmuştur.

Zamanımıza kadar çeşitli özel problemler özel koşullar altında genellikle dar bir kapsamda incelenmiştir. Bunun sonucu dizayn için literatürde yeterli data bulunmaması karşısında bu açık, 1970 'lerden sonra yapılan araştırmalarla kapatılmaya çalışılmıştır (3-6,8). Şimdiki çalışmada, daire eksenli çubukların serbest titreşimi eksenel ve kayma deformasyonları ile dönme ataletleri de dikkate alınarak sayısal olarak incelenmiş ve yapılan kabuller dahilinde kesin denilebilecek sonuçlardan tasarım için boyutsuz grafikler oluşturulmuştur.

## 2. DAİRE EKSENLİ ÇUBUKLARIN DÜZLEMİ İÇİNDEKİ SKALER SERBEST TİTREŞİM DENKLEMLERİ

Daire eksenli çubuğun boyutsuz serbest titreşim denklemlerinin matris formu aşağıda olduğu gibidir (8):

$$\frac{d\{\overline{S}\}}{d\phi}=[\overline{D}]\{\overline{S}\} \tag{1}$$

Burada $d\phi$ açı elemanı, $\{S\}$ durum vektörü, $[D]$ ise dinamik diferansiyel geçiş matrisidir. Çubuğun düzlemi içinde titreşmesi durumunda $\{S\}$ in boyutsuz elemanları (2) de verilmiştir.

$$\{\overline{S}\}=\left\{\overline{U}_t\ \overline{U}_n\ \overline{\Omega}_b\ \overline{T}_t\ \overline{T}_n\ \overline{M}_b\right\}^T \tag{2}$$

(2) de $U_t$ ve $U_n$ sırası ile eksenel ve normal doğrultulardaki ötelenmeleri, $\Omega_b$ binormal eksen etrafındaki dönmeyi; $T_t$ eksenel kuvveti, $T_n$ kesme kuvvetini ve $M_b$ eğilme momentini sembolize etmektedir. Kesitte bulunan bu büyüklükler, R (D/2) daire eksenli çubuğun yarıçapını, E Elastisite modülünü, $I_n$ normal eksene göre asal atalet momentini göstermek üzere (3) te verildiği şekilde boyutsuz yapılmıştır.

$$\overline{U}_t=\frac{1}{R}U_t \qquad \overline{U}_n=\frac{1}{R}U_n \qquad \overline{\Omega}_b=\Omega_b$$

$$\overline{T}_t=\frac{R^2}{EI_n}T_t \qquad \overline{T}_n=\frac{R^2}{EI_n}T_n \qquad \overline{M}_b=\frac{R}{EI_n}M_b \tag{3}$$

Lineer elastik, homojen ve izotrop malzeme, çift simetrik kesit ve birinci mertebe teorisi kabulleri ile (1) deki [D] matrisinin boyutsuz elemanları aşağıda olduğu şekilde elde edilebilir (8):

$$[\overline{D}]=\left[\begin{array}{ccc:ccc} 0 & 1 & 0 & \frac{I_n}{AR^2} & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & \frac{\alpha_n EI_n}{GAR^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{I_n}{I_b} \\ \hdashline -\frac{R^4\rho A\omega^2}{EI_n} & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\frac{R^4\rho A\omega^2}{EI_n} & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{R^2\rho I_b\omega^2}{EI_n} & 0 & -1 & 0 \end{array}\right] \tag{4}$$

(4) de A kesit alanını, G kayma modülünü, $I_b$ binormal eksene göre asal atalet momentini, ρ malzeme yoğunluğunu, ω açısal serbest titreşim frekansını, $\alpha_n$ Timoshenko kayma sabitini sembolize etmektedir. (1) denkleminin çözümü [F] taşıma matrisi ile aşağıda verilmiştir.

$$\{\overline{S}(\phi)\}=[\overline{F}(\phi,\omega)]\{\overline{S}(0)\} \tag{5}$$

Dinamik haldeki sistem taşıma matrisi literatürde mevcut algoritma yardımı ile sayısal olarak istenilen hassasiyette hesaplanmıştır (11-12). (5) de $\alpha$ merkez açısı olmak üzere, $\phi=\alpha$ için sistem taşıma matrisi düzenlenip, uçlardaki sınır şartları dikkate alınarak elde edilen lineer homojen denklem takımında, katsayılar matrisinin determinantını sıfır yapan, sıfırdan farklı bir $\omega$ değeri bulunur.

## 3. SAYISAL ÖRNEKLER

Yöntemin etkinliğini göstermek amacı ile, $\upsilon = 0.3$ olarak seçilen daire eksenli çubuğun frekansları, literatür sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak Çizelge (1) de verilmiştir. Çizelgede bulunan boyutsuz frekans (6) da olduğu gibi, narinlik oranı da (7) de olduğu gibi tarif edilmiştir.

$$\bar{\omega}^2 = \frac{\rho A R^4}{E I_b}\omega^2 \tag{6}$$

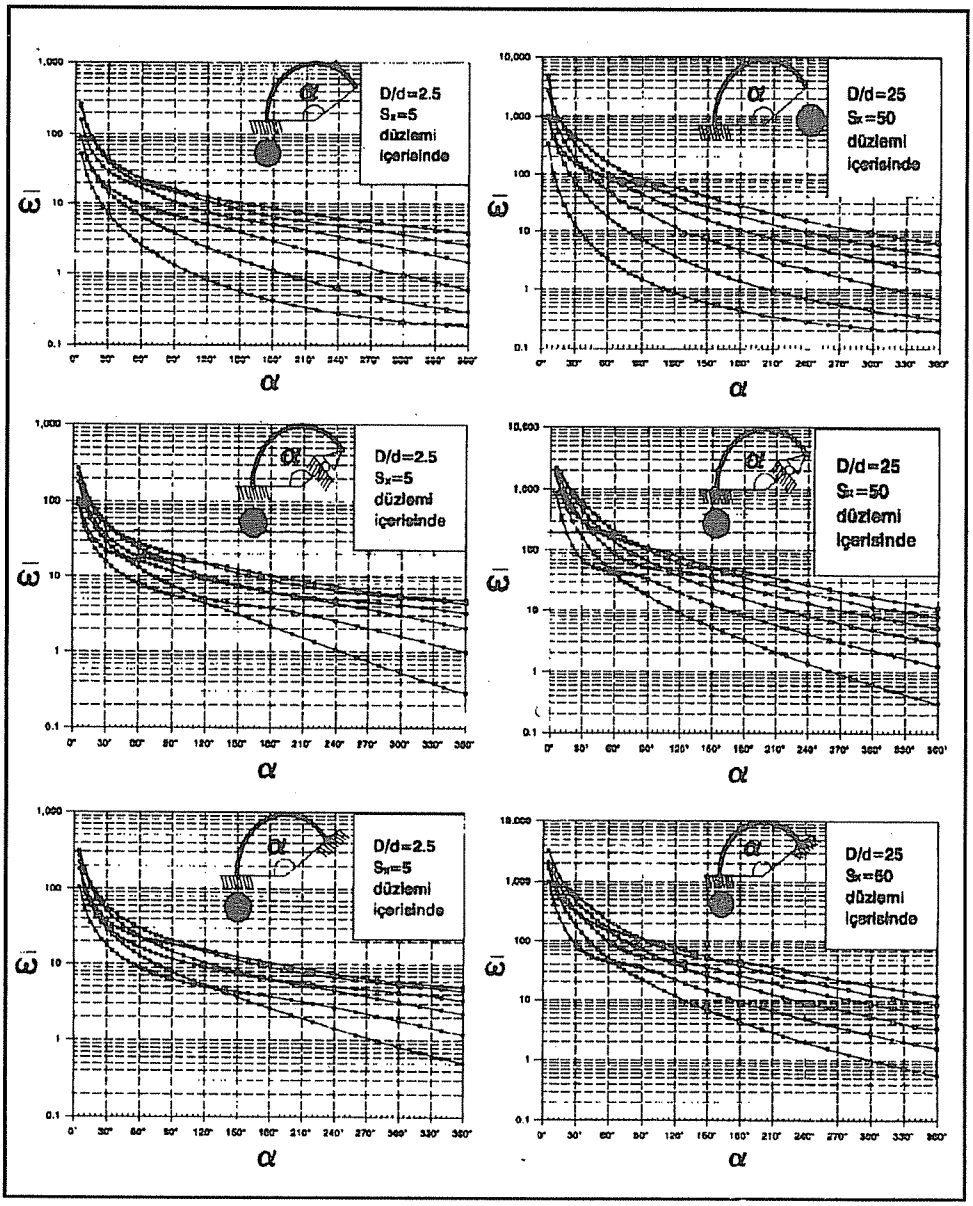
$$S_x^2 = \frac{AR^2}{I_b} = 4\left(\frac{D}{d}\right)^2 \tag{7}$$

**Çizelge 1.** Ankastre - Ankastre uç ve daire kesit için boyutsuz frekanslar.

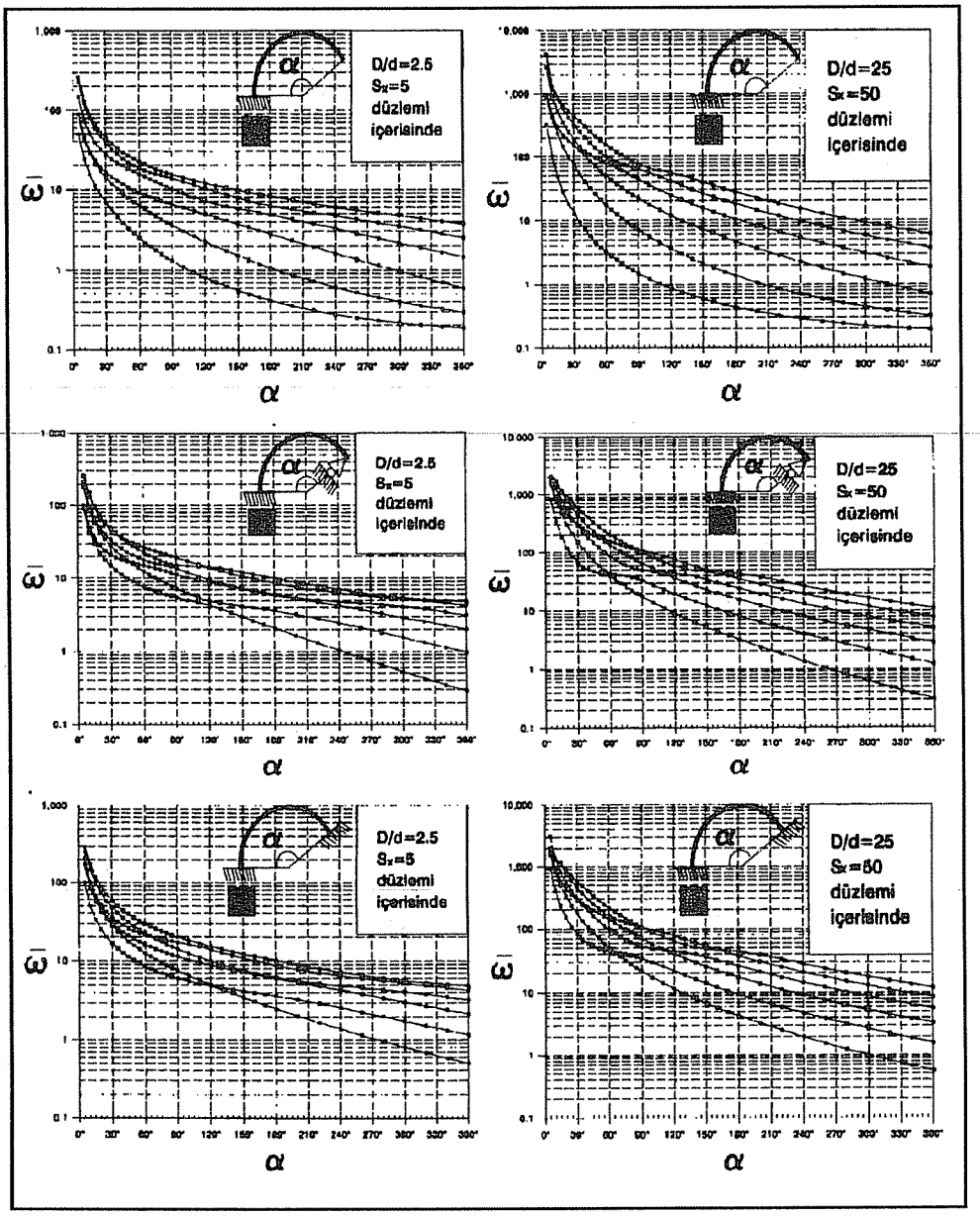
| | | $\alpha=60^o$ | | $\alpha=120^o$ | | | $\alpha=180^o$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sx | $\bar{\omega}$ | (6) | Şimdiki çalışma | (6) | Şimdiki çalışma | (10) | (6) | Şimdiki çalışma | (10) |
| 20 | 1 | 23.75 | 23.80 | 10.61 | 10.63 | - | 4.15 | 4.16 | - |
| | 2 | 39.05 | 39.14 | 15.19 | 15.19 | - | 8.54 | 8.55 | - |
| | 3 | 62.38 | 62.98 | 24.72 | 24.76 | - | 15.46 | 15.48 | - |
| | 4 | 70.71 | 71.04 | 30.47 | 30.60 | - | 17.91 | 17.92 | - |
| 100 | 1 | 52.82 | 52.83 | 11.79 | 11.79 | 11.79 | 4.37 | 4.38 | 4.37 |
| | 2 | 76.01 | 76.02 | 23.25 | 23.25 | 23.24 | 9.60 | 9.60 | 9.60 |
| | 3 | 117.9 | 117.92 | 42.37 | 42.38 | 42.34 | 17.81 | 17.81 | 17.80 |
| | 4 | 171.1 | 171.19 | 61.43 | 61.44 | 61.37 | 27.22 | 27.22 | 27.20 |

Diğer bir örnek olarak, aşağıda verilen özelliklere sahip dikdörtgen kesitli ankastre - boş uçlu yarım çember şeklindeki çubuk gözönüne alınmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge (2) de verilmiştir.

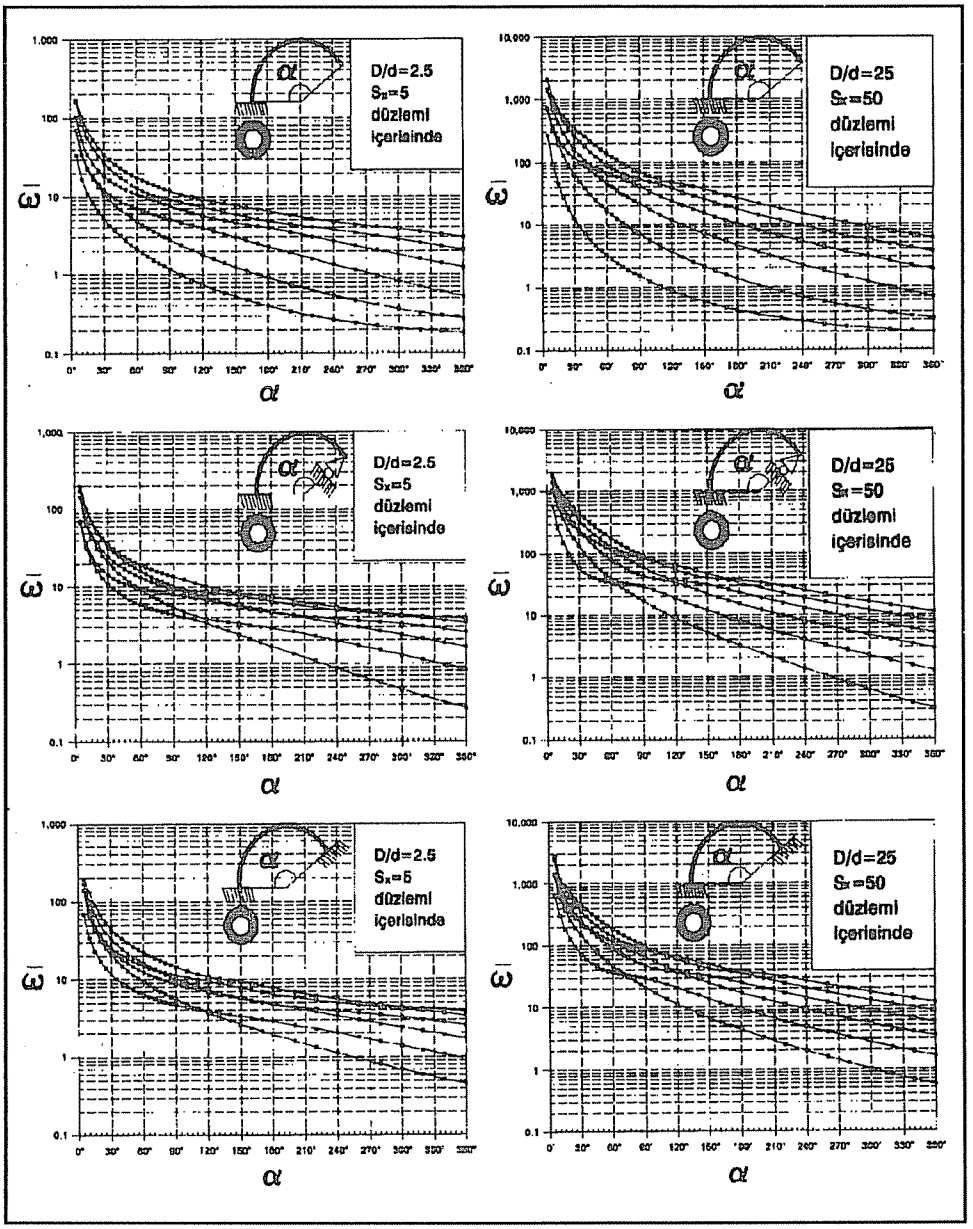
$\rho = 2882 kg/m^3$ $E = 68.13\ 10^9\ N/m^2$ $A = 1.1718\ 10^{-4} m^2$ $\alpha_n = 1.2$ $J = 1.22\ 10^{-9} m^4$
$\upsilon = 0.33$ $\alpha = 180^o$ $R = 0.305 m$ $I_n = 3.4882\ 10^{-9} m^4$ $I_b = 3.75367\ 10^{-10} m^4$



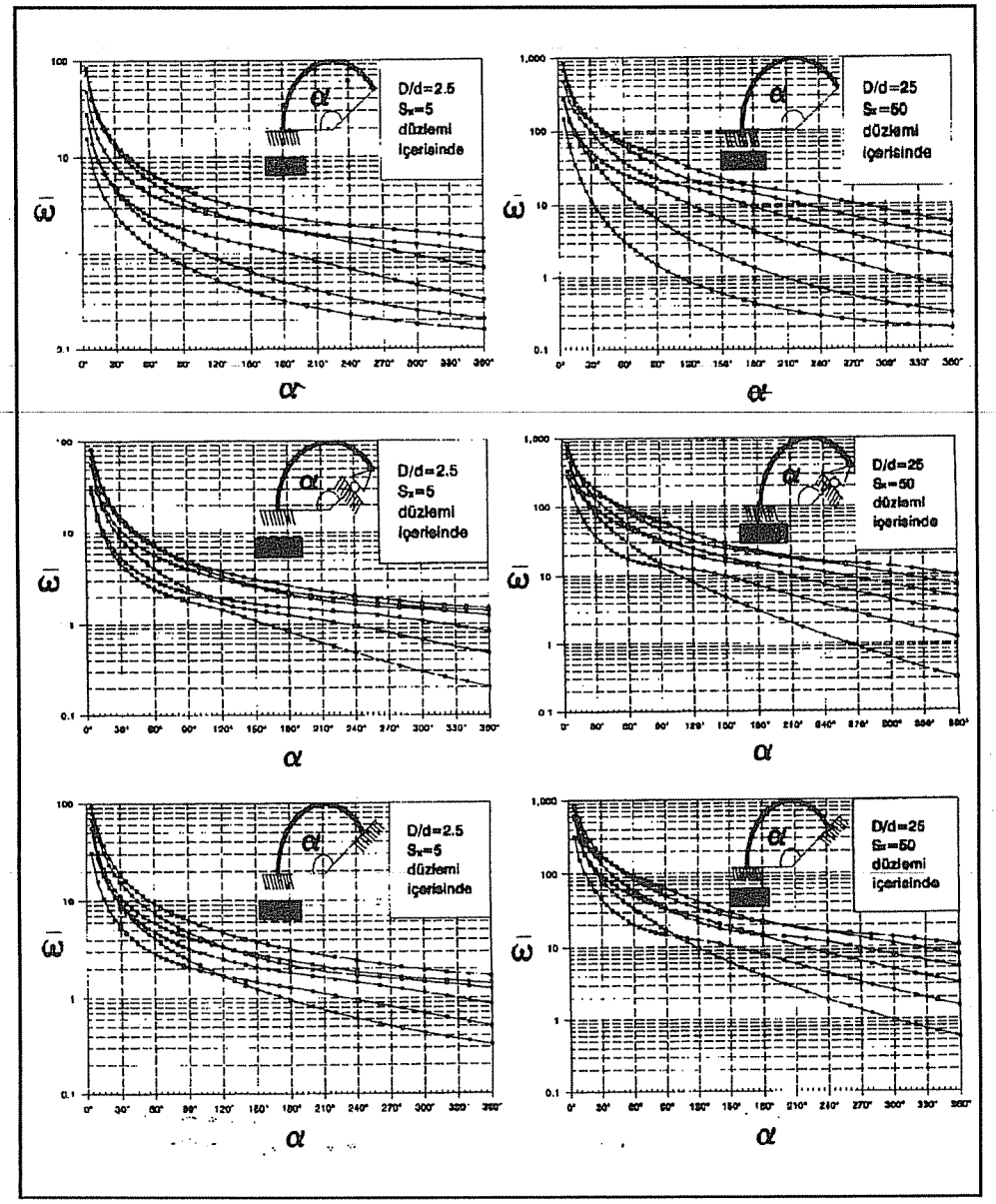

**Şekil 1.** Daire kesit, ankastre-boş, ankastre-basit ve ankastre-ankastre uç sınır şartları için, düzlem içi boyutsuz frekansın merkez açısı ile değişimi.



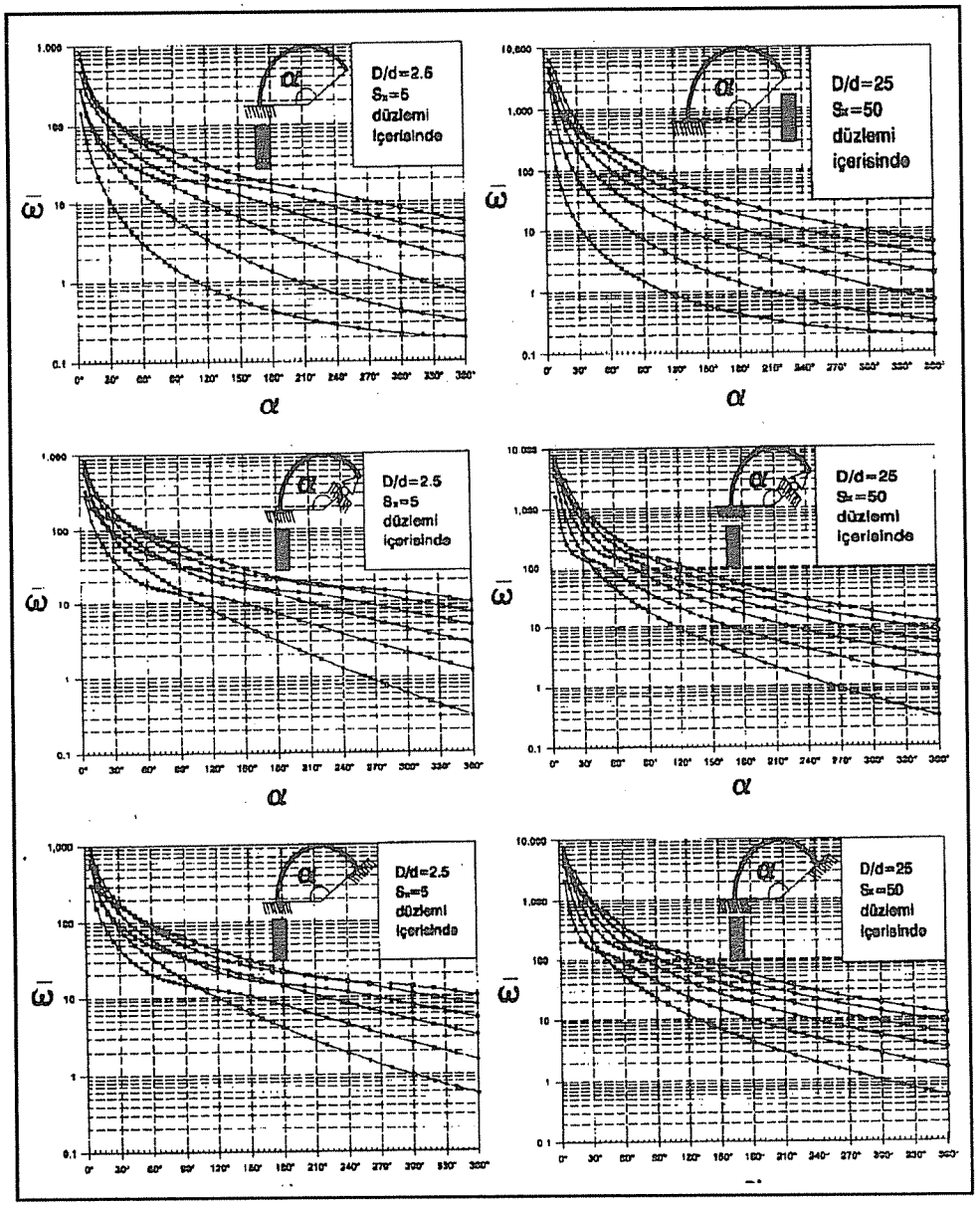

**Şekil 2.** Kare kesit, ankastre-boş, ankastre-basit ve ankastre-ankastre uç sınır şartları için, düzlem içi boyutsuz frekansın merkez açısı ile değişimi.




**Şekil 3.** Halka kesit, ankastre-boş, ankastre-basit ve ankastre-ankastre uç sınır şartları için, düzlem içi boyutsuz frekansın merkez açısı ile değişimi.




**Şekil 4.** Yatay dikdörtgen kesit, ankastre-boş, ankastre-basit ve ankastre-ankastre uç sınır şartları için, düzlem içi boyutsuz frekansın merkez açısı ile değişimi.




**Şekil.** Düşey dikdörtgen kesit, ankastre-boş, ankastre-basit ve ankastre-ankastre uç sınır şartları için, düzlem içi boyutsuz frekansın merkez açısı ile değişimi.

**Çizelge2.** Dikdörtgen kesitli, ankastre-boşuçlu yarım çembere ait doğal frekanslar(rad/s).

| | Modlar | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Şimdiki çalışma | 40.71 | 128.59 | 440.20 | 982.40 | 1717.06 | 2642.94 |
| (10) | 40.71 | - | - | - | - | - |
| (7) (deney) | 41.00 | - | - | - | - | - |
| (7) (teori) | 44.30 | - | - | - | - | - |
| (11) | 40.69 | 128.32 | 437.62 | 974.74 | 1699.21 | 2609.88 |

Ayrıntılı boyutsuz tasarım grafikleri oluşturabilmek için, şimdiki çalışmada pratik öneme sahip üç sınır şartı (ankastre-ankastre, ankastre-basit, ankastre-boş), narinlik oranının iki farklı değeri ( Sx = 5 D/d = 2.5; Sx = 50 D/d = 25 ) ve merkez açısı için $\alpha = 10^o - 360^o$ aralığı seçilmiş ve aynı kesit alanına sahip beş farklı kapalı kesit şekillerinin ilk altı frekansı hesaplanmıştır. Temel frekansa ait hazırlanan grafikler Şekil (1-5) de sunulmuştur.

## 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada daire eksenli çubukların düzlemi içinde serbest titreşimine etki eden parametreler detaylı bir şekilde incelenmiş ve elde edilen sonuçlardan tasarım grafikleri hazırlanmıştır. Merkez açısının ve narinlik oranının küçülmesi halinde kayma deformasyonları önemli olmaktadır. (1-5) nolu şekillerden, merkez açısının artmasıyla boyutsuz frekansların hızlı bir ekilde azaldığı, sınır şartlarının sıklaşması ile büyüdüğü, ayrıca narinlik oranının artması ile de fazlalaştığı görülmektedir. Kare ve daire kesitin boyutsuz frekansları birbirine yakın olmakla beraber, $\alpha<180^o$ için kareninkiler daha küçüktür. Yatay dikdörtgen kesit için en küçük, düşey dikdörtgen kesit için en büyük frekanslar elde edilmiştir. $\alpha \geq 180^o$ için boyutsuz frekanslar arasındaki farklar büyümektedir. $Sx > 50$ ve $\alpha \geq 180^o$ için boyutsuz frekanslar birbirine yakın sonuçlar vermektedir.

## 5. KAYNAKLAR

1. *Archer, R.B., Small vibrations of thin incomplete circular rings, Int. J. Mech. Sci., Vol. 1, 45-56, 1960.*

2. *Nelson, F.C., In-plane vibration of a simply supported circular ring element, Int. J. Mech. Sci., Vol. 4, 53-72, 1962.*

3. *Kuo, R.W., A Numerical Method for the Solution of Free Vibrations of One-Dimensional Structures, M.S. Thesis, METU, 1971.*

4. *Öndüzen, A., Curved and Polygonal Planar Rods on an Elastic Foundation, M.S. Thesis, METU, 1974.*

**5.** *Veletsos, A.S., Austin, W.J., Pereira, C.A.L., Wung, S., Free in-plane vibration of circular arches, ASCE, EM2, 98/2, 311-329, 1972.*

**6.** *Irie, T., Yamada, G., Tanaka, K., Natural frequencies of in-plane vibration of arcs, J. Appl. Mech., ASME, Design Data and Methods, 50, 449-452, 1983.*

**7.** *Tabarrok, B., Sinclair. A.N., Farshad, M., Yi, H., On the dynamics of spatially curved and twisted roods-A finite element formulation, Journal of Sound and Vibration, 123/2, 315-326, 1988.*

**8.** *Elbir, G., Daire Eksenli Çubukların Düzlemi İçindeki ve Düzlemine Dik Serbest Titreşiminin Transfer Matrisi Metodu İle Sayısal Analizi, Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Müh. Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana, 1995.*

**9.** *Tüfekçi, E., Arpacı, A., Çember eksenli çubukların kayma deformasyonu, eksen uzaması ve dönme eylemsizliği etkisindeki serbest titreşimleri -I-Analitik çözüm, 7. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, İstanbul, 162-172, 1995.*

**10.** *Tüfekçi, E., Arpacı, A., Çember eksenli çubukların kayma deformasyonu, eksen uzaması ve dönme eylemsizliği etkisindeki serbest titreşimleri -II-Sayısal örnekler ve deneyler, 7. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, İstanbul, 173-184, 1995.*

**11.** *Yıldırım, V., Helisel Yayların Serbest Titreşiminin Rijitlik Matrisi Yöntemi Metodu ile İncelenmesi, Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi 19/4, 343-356, 1995.*

**12.** *Yıldırım, V., Investigation of paremeters affecting free vibration frequency of helical springs, Int. J. Numer. Meths. Engng., 39, 99 - 114, 1996.*

**13.** *Cowper, G. R., The shear coefficient in Timoshenko's beam teory, ASME J. Appl. Mech., 33/2, 335-340, 1966.*

ISSN 1019-1011
Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ Haziran/Aralık 1995 Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH.
CİLT 10 SAYI 1-2 June/December VOL.10 NO.1-2

# BİLGİSAYAR DESTEKLİ İŞ MİLİ TASARIMI

**Ali ÜNÜVAR**
*S.Ü., Makina Mühendisliği Bölümü, Konya/Türkiye*

**ÖZET:** *İş milleri, iş parçasının hassasiyetine doğrudan etki etmeleri nedeniyle takım tezgahlarının en önemli elemanlarından biridir. Bu çalışmada, iş millerinin bilgisayar yardımıyla tasarımı amaçlanmıştır. Uygulamada yerine getirdikleri fonksiyonlar açısından içi boş ve basamaklı olan iş milleri, kesme ve tahrik kuvvetlerinin etkisinde bir kiriş olarak modellenmişlerdir. İş mili ucundaki sehimin maksimum değeri kısıt olarak alınarak boyutlandırma, iteratif olarak ve optimizasyon yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yaka mesafesi, yataklar arası mesafe, tahrik dişlisinin arka yatağa uzaklığı belirlendikten sonra iş mili malzemesi ve iş mili yatak düzeni için rulmanlı yatağın seçimi yapılmaktadır. Hazırlanan etkileşimli bilgisayar programı ile tasarımı ve boyutlandırılması yapılan basamaklı ve içi boş iş milinin mukavemet kontrolu ve kritik hız hesabı da verilmiştir.*

## COMPUTER AIDED DESIGN OF MACHINE TOOL SPINDLE

**ABSTRACT:** *A spindle is an important machine tool element since it directly affects the workpiece accuracy . In this paper, computer aided design of spindle is aimed. In most applications, spindles are usually made hollow and stepped by taking into consideration their performed functions and are modelled as a beam supported at two points by bearing under the acting driving force and cutting forces. By taking as a constraint the maximum value of spindle nose deflection, dimensions of the spindle are determined by using iterative method. An optimization method is also developed for the distance between the bearings to maximize the spindle nose stiffness. After determining spindle overhang, spindle span and driving element location, the spindle material and the types rolling bearing for a given spindle bearing arrangement are selected from database. By means of prepared interactive computer program, control of strength and calculation of critical speed are also carried out for the designed multi-stepped and hollow spindle.*

## 1. GİRİŞ

İş mili ünitesi, iş parçası veya takımı döndüren iş mili ve iş milini destekleyen yataklardan meydana gelir. İş millerinin, iş parçasının boyut ve yüzey kalitesini doğrudan etki etmeleri nedeniyle, hassasiyetleri çok önemlidir. İş millerinin hassasiyeti, iş mili radyal salgısı, iş mili geometrisi ve yataklanma tipi ile etkilenen iş mili rijitliği ile tayin edilir. İş millerinin statik rijitliği, tezgahların önemli performans kriterlerinden birisidir. Bu nedenle statik rijitlik doğru olarak belirlenmeli ve iş millerinin yapısı ile ilgili parametreler doğru ve isteklere uygun şekilde tayin edilmelidir.

İş milleri ya rulmanlı yada kaymalı yataklarla desteklenir. Bu yatakların uygulama alanları, iş mili dönme hassasiyeti ve hıza bağlıdır. Kaymalı yataklar daha yüksek dönme hassasiyeti sağlamalarına rağmen daha büyük güç ve özel sistem gerektirmektedir. Takım tezgahlarının çoğunluğu rulmanlı yataklarla desteklenmektedir. Bu çalışmada rulmanlı yatak kullanan iş mili yatak düzeni dikkate alınmıştır.

Bir çok araştırmacı sehim analizinde, iş milini çok basamaklı bir mil olarak modellemişlerdir (1,2,3). Çeşitli tasarım parametreleri kesme bölgesinde yüksek statik rijitliğe ulaşma amacıyla incelenmiştir. Bu parametreler yataklar arası uzaklık, yatak rijitliği, kademe sayısı ve uzunluğu ile tahrik kuvvetinin yeri ve büyüklüğü olmuştur. Kısa yaka mesafesi için iş mili burnunda maksimum rijitliği sağlamak üzere optimum yataklar arası mesafe hesaplanmıştır. Rulmanlı yatak ve iş mili ünitesi imalatçısı firma SKF 'nin uygulamaları ve deneyimleri ile takım tezgahları iş mili tasarımında kullanılan standart yatak düzenleri geliştirilmiş ve uygulama alanları ile ilgili öneriler yapılmıştır (4,5,6). Teknik ve ekonomik bakış noktasından hareketle uygun yatak düzenleri ve yatakların seçimi ile seçime bir çok faktörün etkisi kritik edilmiştir.

SKF tarafından hazırlanan yayınlarda, yataklarda sıcaklık artışı hesabı ile ısı transfer formülasyonu ve termal olaylar ile sıcaklık artışına etki eden faktörler belirtilmiş ve incelenmiştir (5,7). Yatak boşluk ve geçmelerinin yatak ömrü, yatak sıcaklığı ve rijitlik üzerine etkileri Weck (5) ve Figatner (8) tarafından açıklanmıştır. Çeşitli tezgahların iş millerinde yatak geçmelerinin seçimi için öneriler verilmiştir. Rulmanlı yatakların seçimi ömür ve dinamik yük sayısına göre yapılmakta olup, katalog ve teknik literatürde seçim için izlenecek yol verilmektedir (5,7,9).

Yapılan çalışmada, iki konumdan desteklenen iş millerinin istenilen özelliklere göre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Seçilen bir yatak düzeni için sehim hesabı, iş mili malzemesi seçimi, yatak tipi, yatak boyutları, yatak toleransı seçimi ve yatak rijitliği hesabı yapılmıştır. Konstrüktif deneyimlerden yararlanarak iş mili kademeleri ve çapları belirlenerek iş milinin mukavemet kontrolu ve titreşim hesabı gerçekleştirilmiştir.

Mukavemet kontrolunda çeşitli kaynaklarda bulunan tablo ve cetvellerden yararlanılarak emniyet gerilmesi hesaplanmıştır (10,11). Ayrıca titreşim ve rezonans hesabı içinde çeşitli kaynaklardan yararlanılmıştır (5,10).

## 2. İŞ MİLİ YATAK DÜZENİ SEÇİMİ

İş mili yatak düzeni bir tezgahın kalitesini belirler. Tezgahın hassasiyeti ve kesme kapasitesine etkiyen çalışma hassasiyeti ile iş mili ve yatak rijitliği, yatak sistemi ile yakından ilgilidir. İş milleri iki noktadan yataklanmalıdır. Üç noktadan yataklanmalar statikçe belirsizlik verir. İki noktadan yataklanan iş millerinde yatakların biri iş mili burnuna diğeri iş mili arka ucuna yakın olmalıdır. Yatakların iş miline ve tezgah gövdesine relatif olarak radyal ve eksenel yerleştirilirler. Eksenel yükün ön tarafta karşılanması iş mili burnunda yüksek rijitlik verir. Eksenel yük arka yatak tarafından karşılanırsa, kesme kuvvetleri iş milinin eğilmesine neden olurlar. Böylece iş mili arka ucunda titreşim genliği artar, bu ise işleme hassasiyetine etki eder. Genel olarak tüm radyal yükleri almak için radyal yataklar, her iki doğrultuda eksenel yükleri almak için de eksenel yataklarla birlikte kullanılırlar. Bununla birlikte eksenel yataklar radyal boşluklu monte edilmelidirler. Radyal yataklar bileşik yükleri karşılamak için de kullanılabilirler. İş mili arka ucunda bulunan yataklar radyal destek sağlarlar.

İş mili yatak düzeni tasarımını etkileyen faktörler şunlardır.

- İş mili yaka mesafesi
- Tahrik elemanının yeri ve tahrik kuvvetinin büyüklüğü
- Yatak düzenleri ömrü
- Makina tipi
- İş mili konumu
- İş mili salgısı
- İş mili hızları
- Radyal ve eksenel yük taşıma kapasitesi
- İş mili burnunda radyal (eksenel) rijitlik

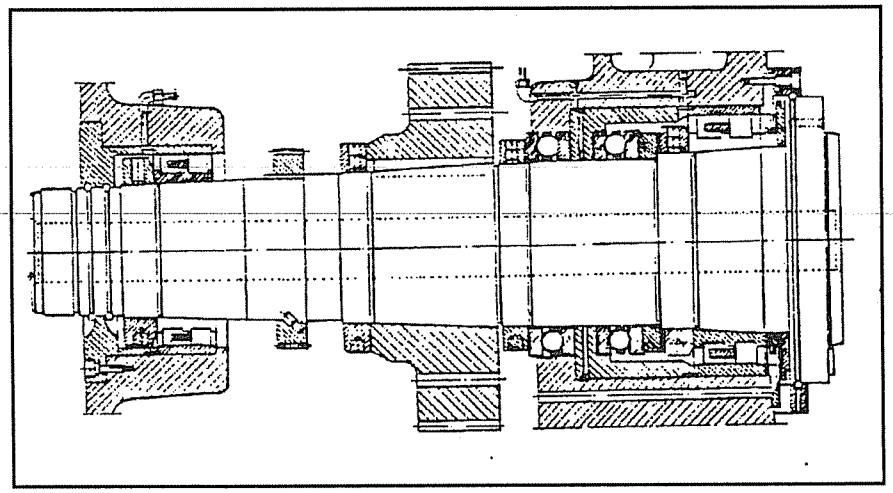
Şekil-1 'de çeşitli takım tezgahlarında kullanılan tipik iş mili yatak düzeni görülmektedir.

## 3. YATAK SEÇİMİ

Takım tezgahları yatak düzenlerinden yüksek işleme kalitesi, yüksek kesme kuvvetleri ve yüksek kesme hızlarında çalışma istekleri, yataklardan çok özel talepleri beraberinde getirecektir. Yatak seçimi, yükün büyüklüğü, yükün doğrultusu ve tipi ile hız sınırı ve yatak ömrüne bağlıdır. İş mili yatak düzeni talaş kaldırma ile elde edilen iş parçası kalitesine etki eder. Tasarımcı, işleme hassasiyeti isteklerini dikkate almalı ve uygun yatak tolerans sınıfına sahip yatağı seçmelidir. İyi bir iş mili yatağı için koşullar aşağıda

verilmiştir.

- Değişken yük altında maksimum rijitlik, minimum sehim
- En büyük dönme hassasiyeti
- Minimum yatak boşluğu
- Düşük çalışma sıcaklığı
- Uzun yatak ömrü
- Robust iş milinin kullanımına izin veren az kesit yüksekliği olan yataklar



**Şekil 1.** Takım Tezgahlarında Kullanılan Tipik İş Mili -Yatak Düzeni

Yukarıda verilen özellikleri sağlayacak şekilde çift sıralı silindirik rulolu NN30K ve NNU49 yatakları imal edilmiştir. NN30K iç bilezik flanşlarıyla ruloları kılavuzlanmış ve iç bilezikleri konik deliğe sahiptir. NNU49 yataklarda dış bilezik flanşlarıyla rulolar kılavuzlanmış iç bilezikler silindirik veya konik deliğe sahiptir. Her iki yatakta düşük kesit yüksekliğine sahiptirler. NN30K SP (özel hassasiyet) ve NP (ultra hassasiyet) tolerans sınıflarında imal edilirler. Bu yataklar radyal yük taşırlar, çok sayıda rulo içerirler, rulo sıraları çapraz yerleştirilmiştir ve çok dar boşlukla çalışırlar. Çift sıralı açısal temaslı eksenel bilyalı yataklar, 2344(00) ve 2347(00) serilerinde, SP ve UP tolerans sınıflarında imal edilirler, 60 derece temas açısına sahiptirler ve genellikle NN30K ile birlikte kullanılırlar. Çok sayıda yuvarlanma elemanı nedeniyle, eksenel sehim minimumdur. Eksenel yükler her iki doğrultuda karşılanır.

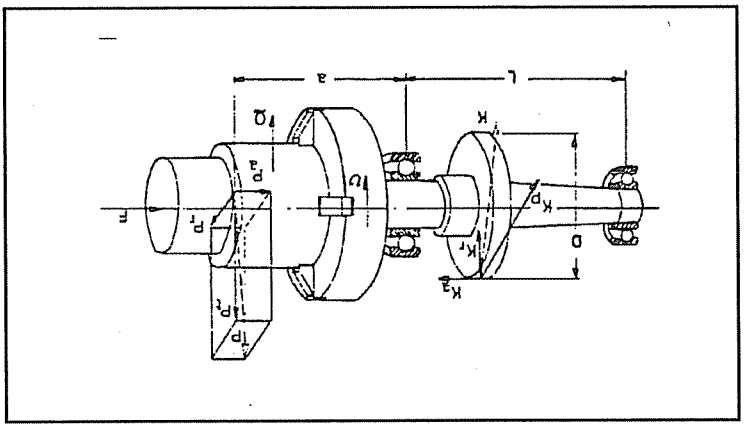
## 4. İŞ MİLİ KUVVET ANALİZİ

Şekil-2'de bir iş mili yatak düzenine etkiyen kesme kuvvetler, reaksiyon kuvvetleri ve tahrik kuvvetleri gösterilmiştir. Şekil-3'de ise bu kuvvetlerin şematik gösterimi verilmiştir.

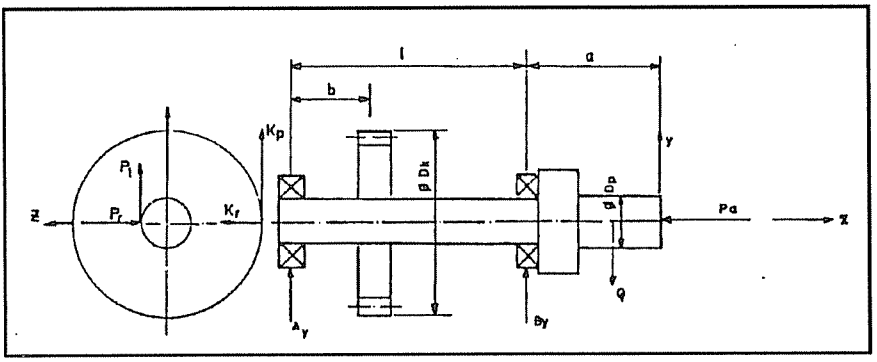
İş milleri, kesici takım, tahrik dişlisi, tesbit kuvveti ve iş parçası ağırlığından dolayı radyal ve eksenel kuvvetler etkisindedir. Eksenel ve radyal kesme kuvvetlerini, takım açısına bağlı olarak teğetsel kesme kuvveti cinsinden yaklaşık olarak

$$P_a = 0.25\, P_t \quad (1)$$

$$P_r = 0.5\, P_t \quad (2)$$



**Şekil 2.** İş Miline Etki Eden Kuvvetler.




**Şekil 3.** İş Miline Etki Eden Kuvvetlerin Şematik Gösterilimi.

alınır. Teğetsel kuvvet ve kesme hızı istenen kesme gücünü tayin eder. İşlenen malzemenin kalitesinde değişme ve kesici takımın ve diğer makina elemanlarının osilasyonları nedeniyle kesme kuvvetleri, kesme hızları ve ilerlemeler sabit kalsa bile değişir. Kesme gücü hesabında, tasarımcı genellikle dinamik kuvvetleri ihmal eder ve kesme kuvvetlerinin sabit olacağını kabul eder. Tahrik kuvveti kayış yada dişliden ileri

gelir. İş milleri konik veya helisel silindirik dişli tarafından tahrik edilirse, bileşke tahrik kuvveti, K, eğik bir doğrultuda etki eder ve üç bileşene ayrılabilir. Çevresel tahrik kuvveti ve teğetsel kesme kuvveti aşağıdaki denklemlerden hesaplanır.

$$K_p = 1950000 \frac{N_s}{nD} \quad (3)$$

$$K_p \frac{D}{2} = P_t r \quad (4)$$

$$v = \frac{2\pi rn}{1000} \quad (5)$$

$$P_t = \frac{K_p Dn}{320v} \quad (6)$$

İş parçası ağırlığı, büyük tezgahlarda önemli olur ve ağır yatak yüklerine neden olur. Yüksek hızlı tezgahlarda iş parçası ağırlığı ile oluşan yatak kuvvetleri dikkate alınmayabilir. Tesbit kuvveti, F, hesaplanmaz ve tahmin edilir. Tahrik dişlisi olarak düz alın dişli ve bu dişlinin çevresel kuvveti kesme kuvveti ile paralel olacak şekilde yerleştirildiği durumda dış kuvvetler ve yatak yükleri arasında ilişkiler aşağıda verilmiştir.

$$B_y = -\frac{P_t(1+a) + K_p b}{1} \quad (7)$$

$$A_y = -B_y - P_t - K_p \quad (8)$$

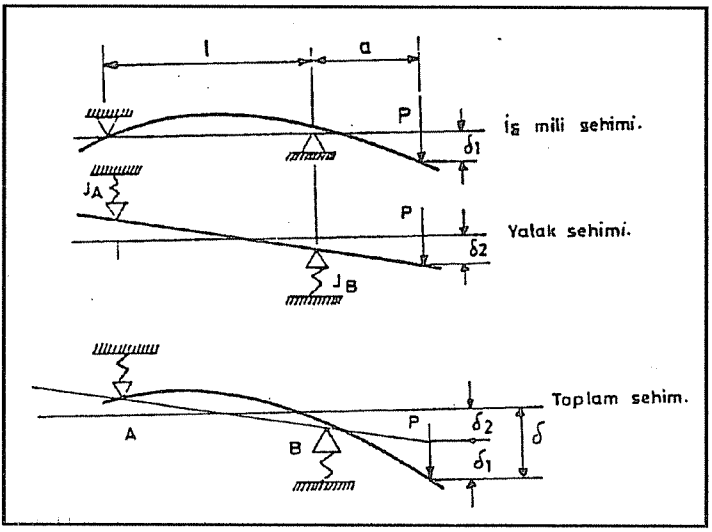
$$B_z = \frac{-P_t(1+a) + K_p b + P_a \frac{D_p}{2}}{1} \quad (9)$$

$$A_z = -B_z + K_r - P_r \quad (10)$$

## 5. İŞ MİLİ SEHİM ANALİZİ

İş mili burnunda radyal sehim Şekil-4'de gösterildiği gibi kuvvetlerin etkisi altında iş milinin sehimi ve yatakların sehimi toplamından meydana gelir. Yatak rijitliği, yatağın tipi ve boyutuna bağlıdır. Yatağın yuvarlanan eleman sayısı ve boyutu, yuvarlanan eleman tipi ve temas açısı yatak rijitliğine etki eder. Rulolu yataklar bilyalı yataklardan

daha rijittir. Rulo sayısı arttıkça rijitlikte artar. Yüksek radyal rijitlik istenirse küçük temas açısı kullanılmalıdır. Yüksek eksenel rijitlik için ise temas açısı büyütülmelidir. İki yada daha çok yatak bir destek konumunda kullanılırsa, yatak düzeninin rijitliği artar. Yatak rijitliğinin artırılmasının diğer bir yolu da ön yük uygulamasıdır. İş mili burnu sehiminin ilk hesaplamalarında yatak deformasyonları ön yatak ve arka yatak için




**Şekil 4.** İş Mili Şematik Gösterilişi.

$$\delta_B = \frac{\Delta}{6\,(1+1/\lambda)} \tag{11}$$

$$\delta_A = \frac{\Delta}{6/\lambda} \tag{12}$$

alınır. İş mili burnundaki yalnız yatak sehimi

$$\delta_2 = (1+\frac{1}{\lambda})\,\delta_A + \frac{1}{\lambda}\,\delta_B \tag{13}$$

dir. Yalnız iş mili burnuna etkiyen kuvvet nedeniyle sehim, $k = \frac{a}{l}$ alınarak

$$Y = P\,(\frac{a^3}{3EI_a} + \frac{la^2}{3EI} + \frac{(1+k)^2}{J_B} + \frac{k^2}{J_A}) \tag{14}$$

dir. Bu değer takım tezgahları için izin verilen maksimum sehim ile karşılaştırılır.

$$Ymax \leq 0.0002 \quad l \tag{15}$$

alınır. Maksimum sehimi aşmayacak şekilde verilen yaka mesafesi için, en küçük çaplı iş mili seçilir. İş mili çapı yanında yataklar arası mesafe ve tahrik kuvvetinin yeri de uygun seçilen iş mili modeline göre belirlenir. Toplam radyal sehim denkleminin iş mili açıklığına göre türevi alınıp sehimin minimum aranır.

$$k_a = a/D,\ K_1 = 1/D,\ k_{JB} = J_B/D\ ,\ I = \frac{.\pi.D^4}{64} \tag{16}$$

$$k_1^3 - 6\,k_1/k_a k_{JB} - \frac{6}{k_{JB}}(1+\frac{J_B}{J_A}) = 0 \tag{17}$$

optimum iş mili açıklığı bulunur. Tahrik kuvvetinin etkisinde optimum tahrik dişlisinin konumu, $b_m$, $k_{bm} = \frac{b_m}{D}$ alınarak

$$k_{bm}^3 - 3\,k_1 k_{bm}^2 + 3\,k_1 k_{bm} - \frac{6}{k_{JB}}(q+1) = 0 \tag{18}$$

denkleminin çözümü elde edilir. İş mili burulma açısı;

$$\theta = \frac{1}{3EI}(Pa\,l - 0.5\,K\,a\,l\,(1-\frac{b^2}{l^2}) - M\,l) \tag{19}$$

den hesaplanır. Burada

$$M = 0.35\ P\ a \tag{20}$$

M= Ön yatağa uygulanan moment, $\theta_{em}$ = İzin verilen burulma açısı, olmak üzere

$$\theta \leq \theta_{em}. \tag{21}$$

olmalıdır. $\theta_{em}$=0.001 olarak alınır.

## 6. İŞ MİLİ MALZEMESİ SEÇİMİ

İş millerinde sıcaklıkla boyutlarda değişmeyi en aza indirmek için düşük termal genleşme katsayılı malzemeler seçilir. Yüksek rijitlik elde etmek için yüksek mukavemetli ve elastiklik modüllü malzemeler tercih edilir. Malzeme seçiminde diğer kriterler sertlik ve düşük deformasyon kabiliyetidir. En çok kullanılan iş mili

malzemeleri Ç1045 ve Ç5140 dır. Bu malzemeler 50-60 HRC'ye sertleştirilirler. Yüksek yüzey sertliği elde etmek için Ç8620 malzeme kullanılır ve semantasyon, su verme ve temperleme ile 56-62 HRC sertlik elde edilir.

## 7. RULMANLI YATAK SEÇİMİ

İş millerinde kullanılan yataklar yüksek dönme hassasiyeti, yüksek hızlarda daha düşük çalışma sıcaklıkları ile yüksek işleme hassasiyeti elde edilebilecek ve tüm hız kademelerinde az sıcaklık sapmaları olacak şekilde düşük sürtünme ile eşlenik yüksek rijitliğe sahip olmalıdırlar. İş millerinde; $n_1$, $n_2$ .....devir sayılarında $K_{t1}$, $K_{t2}$..... çevresel tahrik kuvvetleri, $P_{t1}$, $P_{t2}$.....teğetsel kesme kuvvetleri ile $F_1$, $F_2$,.....yatak reaksiyonları meydana gelir. Bu kuvvetlerin uygulama periyodları $t_1$, $t_2$,..... alınırsa, rulmanların hesabı ortalama eşdeğer yüke göre yapılır. Ortalama eşdeğer devir sayısı , Ortalama eşdeğer yük; Dinamik yük sayısı;

$$n_m = n\frac{t_1}{t_{top}} + \ldots \tag{22}$$

$$t_{top} = t_1 + t_2 + \ldots \tag{23}$$

$$P_m = \frac{P_{min} + P_{max}}{3} \tag{24}$$

$$C = P_m \left(\frac{L_h n_m}{1667}\right)^{1/p} \tag{25}$$

bulunur.

Burada p= 3 bilyalı rulmanlar için, p= 10/3 rulolu rulmanlar için alınır.

Arka ve ön yatak konumları için, rulmanlı yatak serilerinden rulman iç çapı, arka uçtan itibaren artan iş mili kademelerine göre belirlenen iş mili çapından ve dinamik yük sayısı hesaplanan dinamik yük sayısından büyük olacak şekilde radyal ve eksenel yataklar seçilir. Seçilen yatakların rijitliği ön yük uygulama ile artırılabilir. Ön yükleme ile çalışma hassasiyeti de artırılır. İlk olarak yatağın ön yüksüz veya sıfır boşluklu radyal rijitliği ve sehimi hesaplanır. Örneğin silindirik rulolu yatakların NN30 serisi için; sıfır boşluklu sehim ve rijitlik aşağıdaki formüllerden hesaplanır.

$$\delta_{r0} = 1.6\ 10^{-4} \frac{F_r^{0.9}}{d} \tag{26}$$

$$k_{r0} = 6250\ F_r^{0.1} \tag{27}$$

Burada $F_r$ yatak radyal yükü, (N) ve d yatak delik çapı, mm dir.
Radyal olarak ön yüklü yatak için sehim ve rijitlik, NN30 yatak için

$$\delta_{rp} = 2.83\ 10^{-5} \frac{F_r}{|D_r|^{1/9} d^{10/9}} \tag{28}$$

$$k_{rp} = 35400 |D_r|^{1/9} d^{10/9} \tag{29}$$

Burada Dr çapsal ön yük sehimi, mm. dir

$$\delta_{rp} > |D_r / 2| \quad \text{ise} \quad \delta_{r0} - \frac{|D_r|}{2} \tag{30}$$

$$k_{rp} = \frac{F_r}{\delta_{rp}} \tag{31}$$

alınır. Benzer şekilde eksenel yataklar için $J_{ao}$, $K_{ao}$, $J_{ap}$, $K_{ap}$ hesaplanır. Önceden belirlenen yatak sehim ve rijitlikleri $J_{ro}$, $K_{ro}$, $J_{ao}$ ve $K_{ro}$ ' dan küçükse ön yüksüz durum, büyükse ön yüklü durum dikkate alınır. Bu aşamadan sonra yatakların tolerans sınıfları belirlenir, maksimum radyal salgı ve iş mili burnu salgısı hesaplanır. (25) denkleminde verilen ömür sabit hızda adi koşullarda sağlanan yağlama için geçerlidir. Yatak ömrüne etki eden tüm faktörleri dikkate alan ayarlanmış nominal ömür denklemi,

$$L_{na} = a_1 a_2 a_3 \left(\frac{c}{p}\right)^p \tag{32}$$

dir. Burada, $a_1$ = Güvenirlik faktörü, $a_2$ = Malzeme faktörü, $a_3$= Yağlama ve çevre faktörüdür.
$a_1 = .02 + 4.91\ (\ln R)\ 1/1.40$ ile verilir. R, güvenirliktir. $0.9 \le R \le 0.99$ arasında alınır.
$a_{23} = a_2\ a_3$
$a_{23}$ faktörü, gerçek viskosite/istenen viskosite oranına bağlıdır. İstenen viskosite;

$$v_1 = 44444.06\ d_m^{-0.5085595}\ n^{-0.8280587} \qquad n \le 1000 \text{ d/dk} \tag{33}$$

$$v_1 = 4805.635\ d_m^{-0.5085595}\ n^{-0.5052688} \qquad n > 1000 \text{ d/dk} \tag{34}$$

formülleri ile tayin edilir. Burada;
$d_m$ = Ortalama yatak çapı, mm
n = Yatak devir sayısı, d/dk
dir. Gerçek viskositeyi bulmak için çalışma sıcaklığının bilinmesi gerekir. Bunun için sürtünme momenti hesaplanır.

$M = M_0 + M_1$

Burada;

$M_0$ = Yükten bağımsız sürtünme momenti, Nmm

$M_1$ = Yüke bağlı sürtünme momenti, Nmm

$$\nu n \leq 2000 \quad M_0 = 10^{-7} f_0 (\nu n)^{2/3} d_m^3 \tag{35}$$

$$\nu n \geq 2000 \quad M_0 = 160\, 10^{-7} f_0 \tag{36}$$

$$M_1 = f_1 P_1 d_m \tag{37}$$

dır (7). Burada, $f_0$ ve $f_1$ yatak tipi ve yüke bağlı faktörler, $P_1$ sürtünmeyi tayin eden yük, N,dür. Kayıp güç; sıcaklık artışı; aşağıda verilen eşitliklerden bulunur.

$$N_R = 1.05^{*}10^{-7} Mn \tag{38}$$

$$\Delta T = \frac{N_R}{W_s} \tag{39}$$

$$W_s = f \wedge D \tag{40}$$

ile verilen soğutma faktörüdür.

$W_s$= Soğutma faktörü, W/C

$\wedge$ = Malzeme termal kondüktüvitesi, W/cm C

D= Yatak dışçapı, mm

f = faktör

$$f = 1.943\left(\frac{B}{D}\right)^3 - 4.573\left(\frac{B}{D}\right)^2 + 6.285\left(\frac{B}{D}\right) + 2.051 \tag{41}$$

dir (7). $\nu_1$ için uygun yağ bulunduktan sonra yağ için k, b, c parametreleri çizelgeden (7) bulunur ve $\nu = \kappa \exp(b / t + c)$ hesaplanır. Yatak ayarlama faktörü $a_{23}$

$$\begin{array}{ll} 0.05 \leq \kappa < 0.4 & a_{23} = 0.51036\ (\kappa)^{0.5440894} \\ 0.4 \leq \kappa < 0.1 & a_{23} = 0.8\ (\kappa)^{1.034649} \\ 1.0 \leq \kappa < 2.0 & a_{23} = 0.8\ (\kappa) \\ 2 \leq \kappa < 4.0 & a_{23} = 1.0666667\ (\kappa)^{0.5849623} \end{array} \tag{42}$$

$4.0 \leq \kappa \qquad a_{23} = 2.4$

den bulunur. Buradan (32) denklemi kullanılarak $L_{na}$ hesaplanır.

## 8. MUKAVEMET KONTROLU

Ortalama dış çapa göre tasarımlanan iş milleri, yataklar ile tahrik dişlisinin yerleşimi ve diğer konstrüktif özellikler nedeniyle kademeli olarak inşa edilirler. Deneyimler ve kullanım sonucu çeşitli tezgahlar için iş millerinden yararlanılarak iş mili kademelendirilir. Kademeli iş milinin geçiş noktalarında yuvarlatmalar, çentikler ve yüzey pürüzlülükleri, dikkate alınarak iş mili çeşitli kritik bölgelere ayrılır. Dış kuvvetler ve reaksiyon kuvvetleri etkisinde iş mili için kesme kuvveti ve eğilme momenti hesaplanır.

$$\sigma_e = \frac{32 M_{max} D}{\pi (D^4 - D_I^4)} q \tag{43}$$

$$\tau = \frac{16\, M_d D}{p\,(D^4 - D_I^4)} \tag{44}$$

$$\sigma_B = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{AK}}{\sigma_D^*}\sigma_e\right)^2 + 4\tau^2} \tag{45}$$

bileşke gerilme ve $\sigma_D^* = \frac{K_y K_B}{K_C}\sigma_D$ den sürekli mukavemet sınırı bulunur. Burada $K_y$, $K_B$, $K_C$ faktörleri çizelgelerden formüle edilen analitik denklemlerden elde edilir.

$\sigma_{em} \geq \sigma_B$ sağlanmalıdır.

## 9. TİTREŞİM HESABI

İş mili iki yerden desteklenmiş basit bir kiriş olarak alınarak doğal frekansı ve iş mili kritik devir sayısı

$$\omega_0 = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{EI}{m l^3}} \tag{46}$$

$$n_O = 30\pi\sqrt{\frac{EI}{m l^3}} \tag{47}$$

den bulunur. İş mili (içi boş) ve tahrik dişlisinden ileri gelen kritik açısal hız

$$\omega_{Om}=\frac{\pi^2}{L^2}\sqrt{\frac{EI_1}{\gamma A_1}} \tag{48}$$

$$\omega_{01}=\frac{\pi^2}{L^2}\sqrt{\frac{EI_D}{\gamma A_2}} \tag{49}$$

İş mili ve dişli sistemi doğal açısal hız ve kritik devir sayısı

$$\frac{1}{\omega_0}=\sqrt{\frac{1}{\omega_{0m}^2}+\frac{1}{\omega_{01}^2}} \tag{50}$$

$$n_0=\frac{30\omega_0}{\pi} \tag{51}$$

den bulunur. Burada m iş mili kütlesi , kğ, $A_1$ ve $A_2$ sırasıyla iş mili ve dişli kesit alanları $I_1$ ve $I_D$ ise atalet momentleridir. $0.7n_0 < n < 1.2n_0$ ise devir sayıları kritik halde içinde kalır. Burulma titreşimi kritik açısal hızı ve devir sayısı

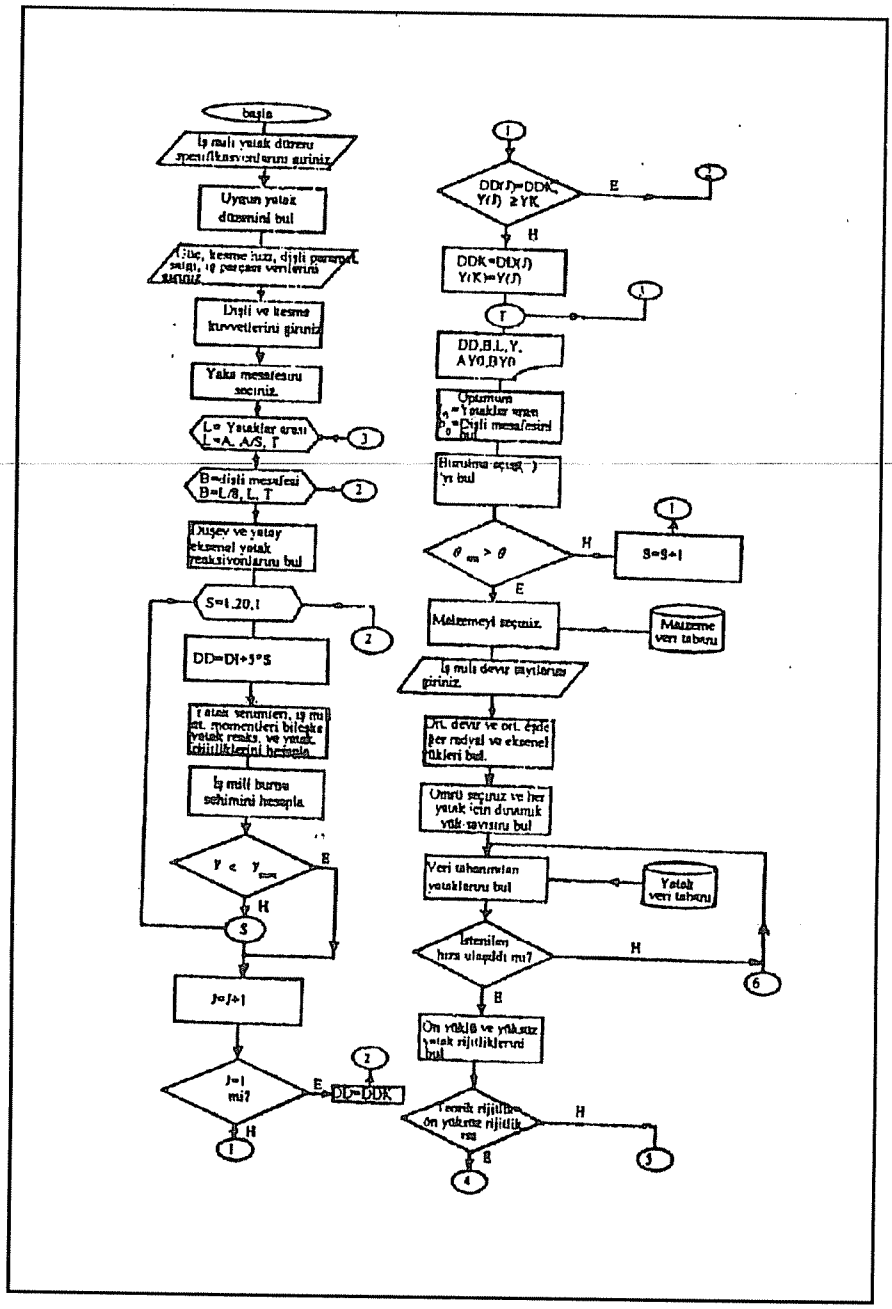
$$\omega_{bo}=\sqrt{\frac{k_\theta}{I_m}} \tag{52}$$

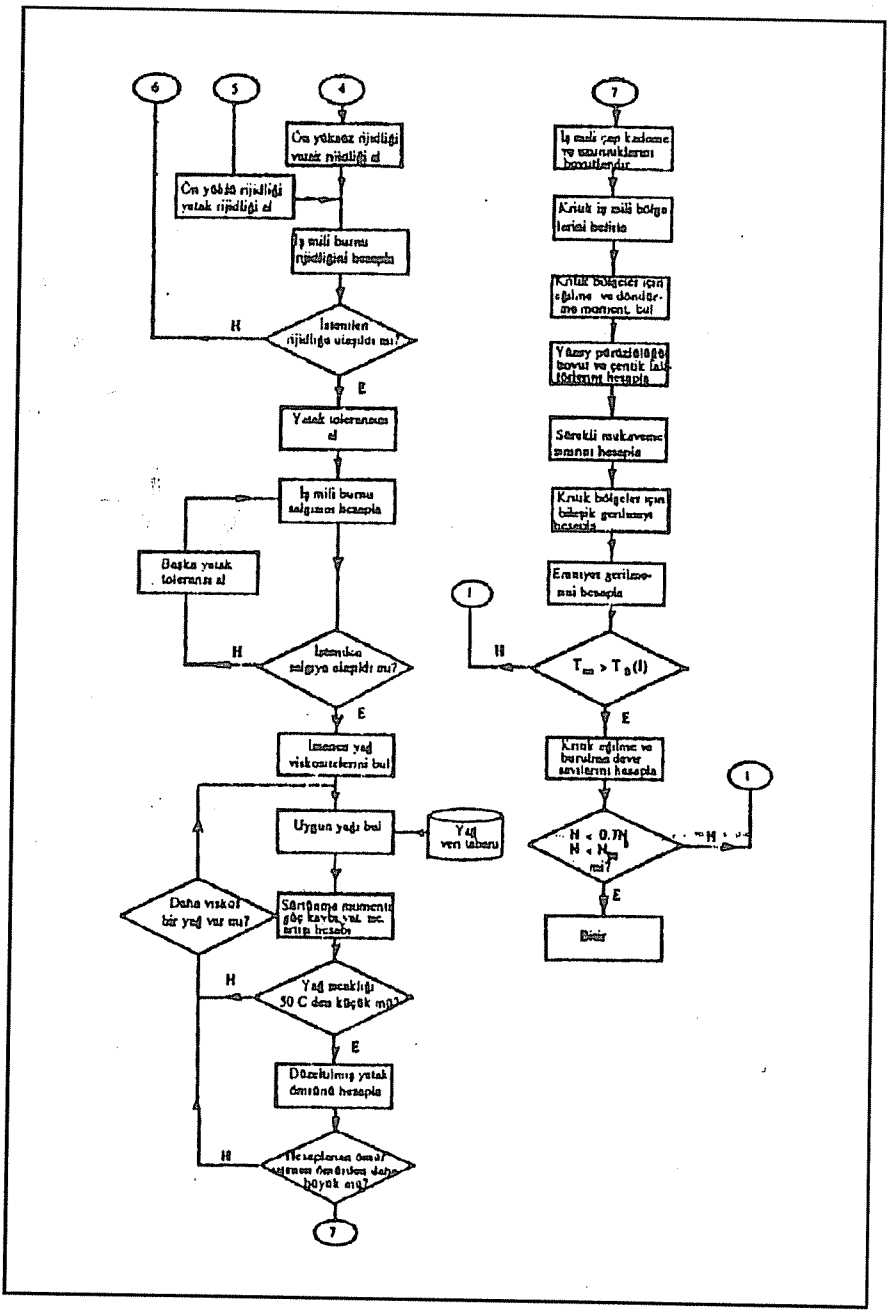
$$n_{bo}=\frac{30}{n}\sqrt{\frac{k_\theta}{I_m}} \tag{53}$$

den bulunur. $k_\theta=\frac{M_d}{\theta}$ dir. $n < n_{b0}$ olmalıdır. Burada $I_m$ kütlesel eylemsizlik momentidir.

## 10. BİLGİSAYAR PROGRAMI

Tasarımın çeşitli aşamalarında tasarımcıyla etkileşimli olarak çalışan program, kuvvet analizi ve reaksiyon kuvvetlerinin bulunması, sehim analizi, malzeme seçimi, ömür, yağlama yağı, ön yüklü ve yüksüz rulman sistemi, rijitlik hesabı, düzeltilmiş ömür hesabını içeren yatak seçimi, mukavemet kontrolu ve titreşim hesabını yapabilecek şekilde hazırlanmıştır. Güç, tahrik dişli parametreleri, iş parçası boyutları gibi girdiler kullanıcıya sorulmakta, sehim hesabı yapılıp iş mili çapı, yataklar arası mesafe, tahrik


başla
Uygun yatak düzenini bul
Dişli ve kesme kuvvetlerini giriniz
Yaka mesafesini seçiniz.
L= Yataklar arası
L=A, A/S, T
B=dişli mesafesi
B=L/8, L, T
Düşey ve yatay eksenel yatak reaksiyonlarını bul
S=1,20,1
DD=DI+5*S
İş milli burma sehimini hesapla
E
H
S
J=J+1
J=1 mi?
E
DD=DDK
H
DD(J)=DDK
Y(J) ≥ YK
E
H
DDK=DD(J)
Y(K)=Y(J)
DD,B,L,Y,
AY0,BY0
Optimum
Dişli mesafesini bul
S=S+1
H
E
Malzemeyi seçiniz.
Malzeme veri tabanı
İş milli devir sayılarını giriniz.
Ort. devir ve ort. eşde ğer radyal ve eksenel yükleri bul.
Omrü seçiniz ve her yatak için dinamik yük sayısını bul
Veri tabanından yataklarını bul
Yatak veri tabanı
İstenilen hıza ulaşıldı mı?
H
E
Ön yüklü ve yüksüz yatak rijitliklerini bul
H
E




**Şekil 5.** İşmilli tasarımı bilgisayar program algoritması

dişlisinin arka yatağa uzaklığı, maksimum iş mili burnu sehimi aşılmayacak şekilde iteratif olarak bulunduktan sonra burulma açısı hesabı yapılmaktadır. Aynı zamanda iş mili parametrelerinin en iyilemesi de yapılabilmektedir. İş mili malzemesi kullanıcıya seçtirildikten sonra, yatak seçimi, tezgah iş mili hızları ve periyotları kullanıcı tarafından girilmekte ve ortalama hız ile ortalama yatak yükleri bulunmaktadır. Yatak ömrü seçilmekte ve dinamik yük sayısı hesaplandıktan sonra yataklar, yatak dosyasından seçilmektedir. Yataklar için ön yüklü ve ön yüksüz kullanıma karar verildikten sonra yatak rijitlikleri, yağlama yağı, yatak sıcaklığı düzeltilmiş ömür hesaplanmaktadır. Bilgisayar programının iş mili mukavemet kontrolu ve kritik hız hesabını da gerçekleştirmektedir. Bilgisayar akış şeması ve program çıktısı Şekil 5' ve Tablo 1-2 ' de, verilmiştir.

## 11. SONUÇLAR

İş milleri takım tezgahlarının iş parçası doğruluğu ve kalitesine etki eden en önemli elemanıdır. Hazırlanan etkileşimli bilgisayar programı ile iş mili boyutlandırması, malzeme seçimi, yatak seçimi gerçekleşmekte ve iş mili tasarım paketi hazırlanmış olmaktadır. Dinamik analiz ile hazırlanmış olan paket bütünleştirilebilir.

**Tablo.1**

********** İŞ MİLİ TASARIMI **********
********** GENEL VERİLERİN GİRİLMESİ*********

| | |
|---|---|
| MOTOR GÜCÜNÜ GİRİNİZ.kW | PM=7 |
| KESME HIZINI GİRİNİZ, m/dk | VK= 75 |
| MODÜLÜ GİRİNİZ, MM | M= 3 |
| DİŞ SAYISINI GİRİNİZ | Z= 72 |
| PARÇANIN AĞIRLIĞINI GİRİNİZ, daN | Q=10 |
| YAKA MESAFESİNİ GİRİNİZ, mm | A= 120 |
| İŞ PARÇASI ÇAPINI GİRİNİZ, mm | DP= 200 |
| İŞ MİLİ RADYAL SALGISINI GİRİNİZ, mm | DELTA= .005 |
| İŞ MİLİ İÇ ÇAPINI GİRİNİZ, mm | DI= 50 |
| DÜZ DİŞLİNİN GENİŞLİĞİNİ GİRİNİZ, mm | H= 30 |
| ****DİŞLİ VE KESME KUVVETLERİNİN BULUNMASI**** | |
| TAHRİK DİŞLİSİ TEĞETSEL KUVVETİ, daN | KP= 462.8988 |
| TAHRİK DİŞLİSİ RADYAL KUVVETİ, daN | KR= 168.4489 |
| TEĞETSEL KESME KUVVETİ, daN | PT= 460.6875 |
| RADYAL KESME KUVVETİ, daN | PR= 230.3438 |
| İŞ MİLİ DIŞ ÇAPI, mm | DD= 80 |
| TAHRİK DİŞLİSİNİN ARKA YATAĞA UZAKLIĞI, mm | B= 22.5 |
| YATAKLAR ARASI MESAFE,mm | L= 180 |
| İŞ MİLİ BURNU SEHİMİ, mm | Y= 1.745256E-02 |
| ARKA YATAĞA ETKİ EDEN BİLEŞKE KUVVET, daN | AYO= 106.3863 |
| ÖN YATAĞA ETKİ EDEN BİLEŞKE KUVVET, daN | BYO= 129.0785 |

**Tablo.2**

********** BURULMA AÇISI HESABI ********

BURULMA AÇISI, rad TETA=-B.142307E-05

İZİN VERİLEN MAX.BURULMA AÇISI, rad TETAEM= .001

TETA < TETAEM OLDUĞU İÇİN BULUNAN ÇAP UYGUNDUR;

********** MALZEME SEÇİMİ**********

MALZEMENİZ NEDİRC4140

MALZEME C4140

MALZEME KOPMA MUKAVEMETİ, daN/mm^2 SKK= 100

```
   MALZEME AKMA MUKAVEMETİ, daN/mm^2   SAK= 80
  MALZEME SÜREKLİ MUKAVEMETİ, daN/mm^2   SDK= 53
  ************ RULMAN SEÇİMİ ************
  DEVİR SAYISI KADEMELERİNİ GİRİNİZ        K=3
  DEVİR SAYISINI GİRİNİZ, d/dk   150
  ZAMAN PERİYODU GİRİNİZ   300
  DEVİR SAYISINI GİRİNİZ, d/dk   500
  ZAMAN PERİYODU GİRİNİZ   800
  DEVİR SAYISINI GİRİNİZ, d/dk   1000
  ZAMAN PERİYODU GİRİNİZ   400
  ORTALAMA DEVİR SAYISI, d/dk     NM   =563.3333
  NOMİNAL ÖMRÜ GİRİNİZ, saat      LH   = 20000
  ARKA YATAK RADYAL EŞDEĞER YÜKÜ, daN   PMA   = 403.841
  ARKA YATAK MIN.DİN. YÜK SAYISI, daN       C   = 2852.278
----------ARKA YATAK KONUMU----------
  ÇİFT SIRALI RULOLU YATAK
  RULMAN SERİSİ                          NN3017
  RULMAN İÇ ÇAPI, mm      DK   = 85
  RULMAN DIŞ ÇAPI, mm     DYK= 130
  RULMAN GENİŞLİĞİ, mm      BK   = 34
  RULMAN DİNAMİK YÜK SAYISI, daN      CK      10900
  YATAK TOLERANSI=SP   ŞAFT TOLERANSI=k4   GÖVDE   TOLERANSI=K4
  ÖN YATAK RADYAL EŞDEĞER YÜKÜ, daN     PMB   = 426.9763
  ÖN YATAK MİN.DİN.YÜK SAYISI, daN       CB   = 3015.679
  YATAK EKSENEL EŞDEĞER YÜKÜ, daN   PMX   = 21.2546
  EKSENEL YATAK MİN.DİN.YÜK SAYISI, daN   CAX= 150.1186
----------ÖN YATAK KONUMU----------
  EKSENEL RULMANLI YATAK
  RULMAN SERİSİ                          51118
  RULMAN İÇ ÇAPI,mm          DRKA   = 90
  RULMAN DIŞ ÇAPI, mm     DAXKA= 120
  RULMAN GENİŞLİĞİ ÇAPI          HKA   = 22
  RULMAN DİNAMİK YÜK SAYISI, daN          CAKA   = 4680
  YATAK TOLERANSI= P5   ŞAFT TOLERANSI= k4   GÖVDE TOLERANSI= K5
  ÇİFT SIRA RULOLU YATAK
  RULMAN SERİSİ   NN3019
  RULMAN İÇ ÇAPI, mm         DKB   = 95
  RULMAN DIŞ ÇAPI, mm       DYKB   = 145
  RULMAN GENİŞLİĞİ, mm       BKB   = 37
  RULMAN DİNAMİK YÜK SAYISI, daN      CKB   = 13900
  YATAK TOLERANSI= UP   ŞAFT TOLERANSI= k4   GÖVDE TOLERANSI= K4
  İŞ MİLİ BURNU RADYAL SALGISI      =0.0075
  ARKA YATAK RİJİTLİĞİ, daN/mm     JA   = 121876.5
  ÖN YATAK RİJİTLİĞİ, daN/mm     JB   = 258512.9
  İŞ MİLİ BURNU SEHİMİ, mm     YK   = 1.924651E-02
  ARKA YATAK İÇİN ÇALIŞMA SICAKLIĞI, °C   = 20.35418
  YAĞ TİPİ   = ISO 32
  ARKA YATAK ÖMRÜ, saat   = 2427737
  ÖN YATAK İÇİN ÇALIŞMA SICAKLIĞI, °C   = 20.35765
  YAĞ TİPİ   = ISO 32
```

ÖN YATAK ÖMRÜ, saat = 4684669
ÖN EKSENEL YATAK İÇİN ÇALIŞMA SICAKLIĞI, °C = 20.16735
YAĞTİPİ = ISO 32
ÖN EKSENEL YATAK ÖMRÜ, saat = 2.650792E+09
**********MUKAVEMET KONTROLU**********
********** İŞ MİLİ KADEMELERİ BOYUTLARI **********

| ÇAP KADEMESİ (mm) | | UZUNLUK (mm) | |
|---|---|---|---|
| 76 | 20 | 80 | 60 |
| 78 | 62 | | |
| 85 | 82.5 | | |
| 83 | 84.5 | | |
| 87 | 88.25 | | |
| 81 | 80.25 | | |
| 89 | 110.25 | | |
| 91 | 223.75 | | |
| 90 | 243.75 | | |
| 88 | 245.75 | | |
| 95 | 280.75 | | |
| 93 | 282.75 | | |
| 97 | 329.9715 | | |
| 126.1 | 359.9715 | | |

BİRİNCİ BÖLGE
İŞ MİLİ BİLEŞİK GERİLMESİ, daN/mm ^2 SBL(I)= 1.265389
İKİNCİ BÖLGE
İŞ MİLİ BİLEŞİK GERİLMESİ, daN/mm ^2 SBL(I)= .5831256
ÜÇÜNCÜ BÖLGE
İŞ MİLİ BİLEŞİK GERİLMESİ, daN/mm ^2 SBL(I)= .4998641
DÖRDÜNCÜ BÖLGE
İŞ MİLİ BİLEŞİK GERİLMESİ, daN/mm ^2 SBL(I)= 11.43707
BEŞİNCİ BÖLGE
İŞ MİLİ BİLEŞİK GERİLMESİ, daN/mm ^2 SBL(I)= 9.277
ALTINCI BÖLGE
İŞ MİLİ BİLEŞİK GERİLMESİ, daN/mm ^2 SBL(I)= 4.134939
İŞ MİLİ EMNİYET GERİLMESİ, daN/mm ^2 SEM=40
SEM > SBL (I) OLDUĞU İÇİN MİL EMNİYETLİ OLARAK ÇALIŞIR
***** İŞ MİLİ KRİTİK DEVİR SAYILARI VE REZONANS *******
İŞ MİLİ KRİTİK DEVİR SAYISI, d/dk NO= 2972.807
İŞ MİLİ BURULMA KRİTİK DEVİR SAYISI, d/dk NBO= 190082.9
İŞ MİLİ DEVİR SAYILARI NBO VE NO DIŞINDA OLDUĞUNDAN
İŞ MİLİ EMNİYETLİ ÇALIŞIR.

## 12. SİMGELER

| | | | |
|---|---|---|---|
| P | Toplam Kesme Kuvveti, daN | K | Tahrik Kuvveti, daN |
| $P_t$ | Teğetsel Kuvvet, daN | $P_r$ | Radyal Kuvvet, daN |
| $P_a$ | Eksenel Kuvvet, daN | Q | İş Parçası Ağırlığı, daN |
| $K_r$ | Radyal Tahrik Kuvveti, daN | $K_a$ | Eksen. Tahrik Kuv, daN |
| N | Motor Gücü, kW | $N_s$ | Kesme Gücü, kW |
| K | Teğetsel Tahrik Kuvveti, daN | V | Kesme Hızı, m/dak |
| $D_K$ | Dişli Taksimat Dairesi ,mm | $n_1$, $n_2$ | İş Mili Hızları, d/dk |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $r=\frac{D_p}{2}$ | İş Parçası Yarıçapı ,mm | $\delta_B$ | Ön Yatak Defor, mm |
| $\delta_A$ | Arka Yatak Deformasyonu,mm | $\Delta$ | İş Mili Radyal Salgısı |
| $\lambda$ | l/a Uzunluk oranı | $\delta_1$ | İş Mili Sehimi, mm |
| $\delta_2$ | Yatak Sehimi,mm | $\delta$ | Toplam Sehim,mm |
| $I_a$ | Yaka Kısmı Ata Momenti, | $J_a$ | Ark. Yat.Rij., µm |
| $J_B$ | Ön Yatak Rijitliği, | $D_i$ | İş Mili İç Çapı,mm |
| P | İş Mili Burnuna Etkiyen Kuv.,daN | $l_0$ | Opt. İş Mili Açık., mm |
| D | İş Mili Ort. Dış Çapı,mm | $b_m$ | Opt. Tah Dişli Kon, mm |

## 13. KAYNAKLAR


1. *Bolınger, S.G. ; Geıger, G. , "Analysis of the static and dynamic behaviour of lathe spindles"; Int. J. Mach. Tool Des. Res. , Vol 3, pp 193-209, 1964.*

2. *Shuzi, Y.,"A study of the static stiffness of machine tool spindles", Int. J. Mach. Tool. Res. , Vol 21, No:1, pp 23-40, 1981.*

3. *AK.J.H. Al-Shareef and J.A. Brandon, "On the Quasistatic Design of Machine Tool Spindles", Journal of Eng. Manuf., 204; 91, 1990.*

4. *R.Boni and H. Pitroff, "Standard Bearing Arrangements for Machine Tool Spindles", Ball Bearing Journal, 18, 25, 1984.*

5. *SKF, Bearing ın Machine Tools, 1969.*

6. *M.Weck, Handbook of Machine Tools, Vol 2, Düseldorf, 1984.*

7. *SKF, General Catalogue, 1989.*

8. *A.M. Figatner and V.A. Lizogub, "Effect of Bearing Race Fit on Spindle Efficiency", Machines and Tooling,42,27, 1976.*

9. *KOYO, Ball and Roller Bearing, General Catalog, 1988.*

10. *Akkurt, M. , Makina Elemanları 1, 1981.*

11. *Shigley J.E and Mitchell, C.D., Mechanical Eng. Design", McGraw Hill, 1983.*

12. *E.Gıebner, "Bearing Arrangement Design for Machine Tool Spindles" Ball Bearing Journal 17,1,1983.*

ISSN 1019-1011

| Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ | | Haziran/Aralık | 1995 | Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH. | |
|---|---|---|---|---|---|
| *CİLT 10* | *SAYI 1-2* | June/December | | *VOL.10* | *NO.1-2* |


# REKÜPERATİF TİP EŞANJÖRLERDE VERİM ÖLÇÜMÜ

**R. Tuğrul OĞULATA**
*Ç.Ü., Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*
**Ayşe KÜÇÜK**
*Ç.Ü., Makina Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*

**ÖZET:** *Günümüzde enerjinin verimli kullanılması her uygulamada oldukça önemli bir konudur. Konutlarda ve endüstride enerji kullanımında atık enerjiyi geri kazanabilen uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Sıcak ve soğuk akışkanın birbiriyle temas etmediği bitişik kanallardan geçmesiyle oluşan, çapraz akımlı reküperatif tip ısı eşanjörleri de bu uygulamalar içinde uygun ve etkili bir ısı geri kazanım sistemidir.*

*Bu çalışmada, reküperatif ısı eşanjörleri tanıtılmış, sistemin tasarımı hakkında açıklamalar yapılmış, imalatı gerçekleştirilen bir düzenekte sıcaklık, hız, basınç kayıpları ölçülmüş ve reküperatör verim değerleri tesbit edilmiştir.*

# MEASUREMENT OF EFFICIENCY IN RECUPERATIVE TYPE HEAT EXCHANGERS

**ABSTRACT:** *Nowadays, productive use of energy is very important subject in every application. Applications which can recover waste energy in residences and industry were accomplished. Cross-flow, recuperative type heat exchangers which based on two unmixed hot and cold fluid passages situated in two separate channels are considered to be appropriate and effective heat regain systems within these applications.*

*In this study, recuperative heat exchangers have been introduced, the necessary explanations for the system design have been made, temperatures, velocities, pressure losses have been measured in constructed experimental set up and the values of recuperator efficiency have been obtained.*

## 1. GİRİŞ

Birçok ülkede endüstriyel enerji tüketiminin yaklaşık %26'sı sıcak gazlar ve sıvılar şeklinde çevreye atılarak kaybolmaktadır. Bu ısı kaybı atık ısı geri kazanımı temel tekniklerinin uygulanmasıyla önemli ölçüde azaltılabilir. Enerji fiyatlarındaki artış, ısı geri kazanım ekipmanları için yapılan yatırımları karlı ve çoğunlukla birkaç ayla birkaç yıl arasında değişen kısa sürelerde kendini geri öder hale getirmiştir. Bu imkanın iyi değerlendirilebilmesi için uygun ve etkili bir ısı geri kazanım sisteminin geliştirilmesi önem taşımaktadır. Isı geri kazanım sistemleri, belirli bir enerji harcanarak istenen ısı ve nem seviyesine getirilen ve kullanıldıktan sonra dışarı atılan akışkandan, harcanılan enerjinin mümkün olduğunca yüksek bir kısmının ortama alınan akışkana aktarıldığı sistemlerdir (1).

Kısıtlı fosil yakıt kaynaklarını yanmalı süreçlerde kullanmada; verimliliği artıran en etkili yöntem olan "yakma havasının", yanma ürünlerindeki atık ısıdan yararlanılarak ön ısıtılmasında, reküperatif ve rejeneratif tip ısı eşanjörleri kullanılmaktadır. Reküperatif tip ısı eşanjörlerinde sıcak ve soğuk akışkanlar katı bir ortam tarafından ayrılmakta ve ısı sıcak akışkandan soğuk akışkana bu ortam vasıtasıyla doğrudan iletilmektedir.

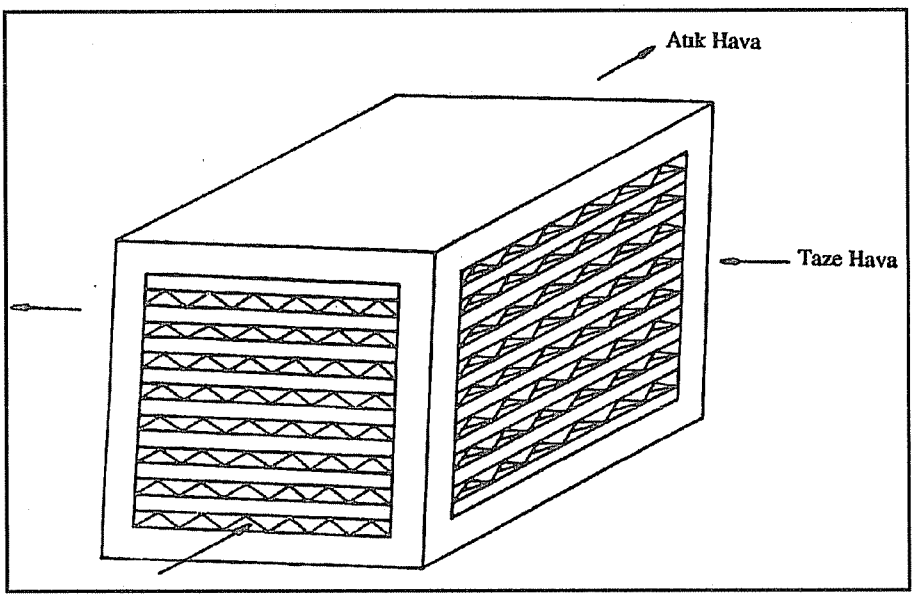
## 2. REKÜPERATİF ISI EŞANJÖRLERİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Reküperatif ısı eşanjörünün hareketli bir parçası yoktur. Levha tabakaları ile eksoz ve taze hava geçiş kanalları ayrılmış ve sızdırmaz hale getirilmiştir. Isı, doğrudan ılık eksoz hava akımı ile soğuk taze hava akımı arasında transfer edilmektedir.

Reküperatif tip ısı eşanjörleri değişik şekil, malzeme, boyut ve akış biçiminde bulunabilir. Birçoğu modüler yapıda olup, bu modüller değişik hava hızları, verimlilik ve basınç oluşumu gereksinimlerinde gerçekleştirilebilir.

Reküperatif ısı eşanjörleri çapraz akım prensibiyle çalışırlar. Bu eşanjörlerde sistemden atılan ve sisteme alınan hava birbiriyle temas etmeden bitişik yüzeylerden geçer ve bu arada ısı transferi gerçekleşir. Böyle bir ısı eşanjörü Şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekilde görüldüğü gibi, herhangi bir işlem sonucu üretilen sıcak atık hava, ısı eşanjörünün bir yöndeki kanallarından geçerken, ısısını kanal duvarlarına aktarmaktadır. Aktarılan bu ısı diğer yöndeki kanallardan geçen, ısıtılacak ortama gönderilecek soğuk havaya transfer edilmektedir. Böylece atık havanın ısı yükünden yararlanılmaktadır. Benzer bir şekilde soğuk atık hava da ısı eşanjörünün kanallarından geçerken, soğutulmak istenen sıcak ve temiz havadan; kanalları birbirinden ayıran yüzeyler yardımıyla ısı çekmekte ve sıcaklığı yükselerek ısı değiştirgecini terketmektedir.




**Şekil 1.** Reküperatif Isı Eşanjörü

## 3. TEORİK ANALİZ VE KONSTRÜKSİYON

### 3.1. Reküperatif Eşanjörün Hesaplanması

#### 3.1.1. Isı Transferi Hesabı

Reküperatif ısı eşanjörünün etkinliğinin hesaplanması ve boyutlandırmanın yapılabilmesi için, ısı transferi katsayısı α'nın belirlenmesi gerekmektedir. Isı transfer katsayısı α, Nusselt sayısı bilindiği zaman,

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{d_e} \tag{1}$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Nusselt sayısı çeşitli kesit alanlı borular için Yılmaz ve Cihan (2) tarafından şu şekilde tanımlanmıştır.

$$Nu = Nu_\infty \left[ 1 + \frac{4.212\,\psi\,\Phi^3}{z^* Nu_\infty^3} - 0.8 \left( \frac{\psi\,\Phi^3}{z^* Nu_\infty^3} \right)^{2/3} \right]^{1/3} \tag{2}$$

Eşitlikdeki değişkenler referans (2)'de detaylı olarak açıklanmıştır.

### 3.1.2. Basınç Kaybı Hesabı

Birim hacimde maksimum ısıl yüzey alan yaratılmak istenen reküperatif ısı eşanjöründe, kanallar arasında meydana gelen basınç kaybı oldukça önemlidir. Boyutlandırmada ısıl yüzey alanı ile birlikte ele alınması gereken bir büyüklüktür. Basınç kaybı Yılmaz (3) tarafından şu şekilde tanımlanmıştır.

$$\Delta P = \Delta P^* \rho \frac{u^2}{2} \tag{3}$$

Eşitlikdeki $\Delta P^*$,

$$\Delta P^* = 64 \psi x^* + \frac{13.766\, x^{*0.5}}{\left[1 + 13.95 \psi x^{*0.5} + \left(\frac{13.766}{K}\right)^3 x^{*1.5}\right]^{1/3}} \tag{4}$$

ile bulunur. Eşitlik (4)'deki değişkenler referans (3)'de detaylı olarak verilmiştir.

### 3.1.3. Verim Hesabı

Reküperatif tip ısı eşanjörünün verimi, çapraz akış için Bayazıtoğlu ve Özışık (4) tarafından verilen aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$\varepsilon = 1 - \exp\left[\frac{1}{C^*}(Ntu)^{0.22}\left(\exp\left\{-C^*(Ntu)^{0.78}\right\} - 1\right)\right] \tag{5}$$

Bu eşitlikteki Ntu, C*,

$$Ntu = \frac{k\,F}{C_{min}} \tag{6}$$

$$C^* = \frac{C_{min}}{C_{max}} \tag{7}$$

bağıntıları ile bulunur. $C_{min}$ değeri, $C_1$ ve $C_2$ ısıl kapasitelerinin küçük olanı $C_{max}$ da büyük olanıdır.

$$C_1 = M_1\, cp_1 \tag{8}$$

$$C_2 = M_2 \, cp_2 \tag{9}$$

$$M_1 = u_1 \, A_1 \, \rho_1 \tag{10}$$

$$M_2 = u_2 \, A_2 \, \rho_2 \tag{11}$$

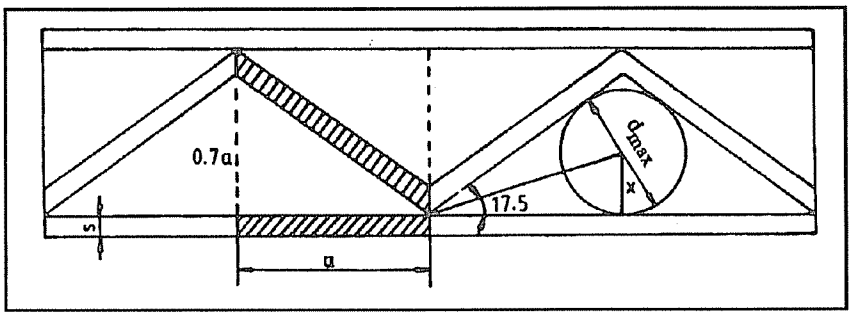
Yukarıda verilen eşitlikler yardımıyla, reküperatörün boyutlandırmasını yapacak bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen bilgisayar programı yardımıyla reküperatör giriş sıcaklıkları $T_{g1}$=0°C ve $T_{g2}$=20°C olan bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemin boyutları Çizelge 1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.** Tasarlanan Reküperatörle İlgili Değerler

| $T_{g1}$ (°C) | $T_{g2}$ (°C) | $T_{ç1}$ (°C) | $T_{ç2}$ (°C) | a (mm) | s (mm) | L (m) | DP (mmSS) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 20 | 14.357 | 5.643 | 1.7 | 0.35 | 0.35 | 13.54 |

### 3.2. Reküperatif Isı Eşanjörünün Konstrüksiyonu

Reküperatif ısı eşanjörünün malzemesi, 0.35 mm kalınlığında alüminyum levhadan seçilmiştir. Alüminyum levha Şekil 2'de gösterildiği gibi özellikle ısı transfer yüzeyini arttırmak ve imalat kolaylığı nedeniyle ikizkenar üçgen profilli olarak düşünülmüştür. İkizkenar üçgenin taban uzunluğu 2a ve ikizkenar kenarlar da 1.22a olup, ilk yapım için a=1.7 mm olarak tasarlanmıştır (5).




**Şekil 2.** Reküperatif Isı Eşanjöründe Kullanılan İkizkenar Üçgen Profilli Kanal Geometrisi.

İkizkenar üçgen profilli levhalar yine alüminyumdan düz levhalarla birbirinden ayrılıp, üst üste küp biçimli çerçeve içerisine, çapraz akış sağlayacak şekilde

yerleştirilip, üstten civatalarla sıkıştırma ile monte edilmiştir. Küp çerçevenin altına sehpa yapılarak bağlanacak olan kanalların yerle temas etmemesi amaçlanmıştır. Çerçeve, saç malzemeli L köşebentlerin kaynak ile birleştirilmesi ile elde edilmiştir. İkizkenar üçgen profilli ve düz alüminyum levhaların çapraz akımı sağlamış yerleşimi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Deney düzeneğini oluşturan hava giriş ve çıkış kanalları, reküperatörün köşebent yüzeylerine monte edilmiştir. Montaj yaparken sızdırmazlığı sağlamak için çerçeve ile kanallar arasına lastik conta yerleştirilmiştir. Kanallar çerçeveye vida ile bağlanarak sökülebilir şekilde montaj sağlanmıştır.

## 4. DENEY DÜZENEĞİ VE DENEYLER

Deney düzeneği için gerekli olan hava kanalları 0.7mm kalınlıktaki galvanizli saçtan yapılmıştır. Deney düzeneğinde düz kare kanallar, konik kanallar ve dirsekler kullanılmıştır. Kanalların birleştirilmesinde kenet tekniği kullanılmıştır. Reküperatörün temiz hava tarafındaki ilk kanalın içerisine serpantin yerleştirilmiştir. Serpantinde kat kaloriferinden gelen sıcak su dolaşmaktadır. Serpantinin, kat kaloriferinin konumu şekil 3'de verilen deney düzeneğinde görülmektedir.

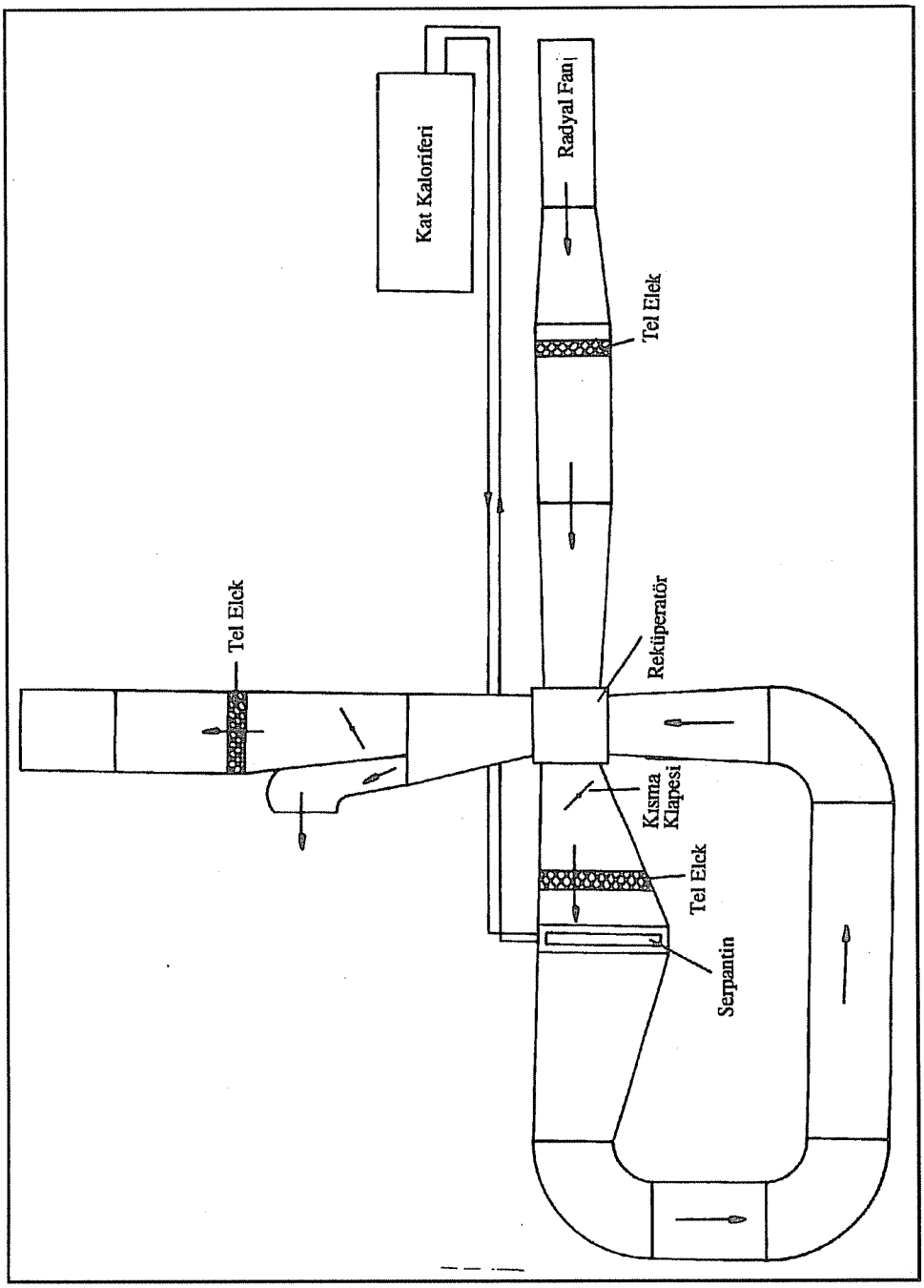
Isıl verimliliğin hesaplanabilmesi için reküperatörün dört tarafındaki havanın giriş-çıkış sıcaklıklarının ve havanın hızının bilinmesi gerekmektedir.

Deney düzeneğindeki sıcaklık ölçümleri termo elemanlar kullanılarak potansiyometreler yardımıyla yapılmıştır. Kullanılan termo elemanların cinsi Fe-Konstantan olarak seçilmiştir. Fe-Konstantan termo elemanlar için kalibrasyon eğrisi elde edilmiştir. Sıcaklığın ölçülebilmesi için hava kanallarının reküperatöre giriş ve reküperatörden çıkış kesitlerinin pekçok noktasında ölçüm yapılması ve bu noktalardaki değerlerin toplanıp ortalamasının alınması gerekmektedir. Bundan dolayı her kesitte dokuz noktada ölçüm yapılmış ve bunların aritmetik ortalaması alınarak gereken yerlerde kullanılmıştır. Ölçüm yapılacak her kanala üç adet termo eleman yerleştirilmiş ve aynı kesitte üç ayrı düzlemde tarama yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Sıcaklıklar potansiyometreden milivolt cinsinden okunmuştur. Daha sonra milivolt olarak elde edilen sıcaklıklar kalibrasyon eğrisinden yararlanılarak dereceye çevrilmiştir.

Deney düzeneğinde hava kanallarından geçen havanın hızını ölçmek için hız ölçerden yararlanılmıştır. Aynı şekilde hız da her kesitte dokuz noktada ölçülmüş ve bunların aritmetik ortalamaları alınmıştır.

Hava kanallarındaki basınç ölçümleri manometre yardımıyla ölçülmüştür. Her kesit için bir nokta kullanılmıştır. Deneyler kat kaloriferinin termostatı 60, 70 ve 80°C'yi gösterirken yapılmış ve reküperatör verimi her deney için hesaplanmıştır. Deney düzeneğine serpantinden önce yerleştirilen kısma klapesi vasıtasıyla deneyleri klapenin tam açık ve yarı açık konumlarında iki değişik durumda yapmak mümkün olmuştur.

Deney düzeneğinden ölçülen sıcaklık ve hız değerlerinden yararlanarak reküperatör




**Şekil 3.** Deney Düzeneği.

verimi bulunmuştur. Kat kaloriferi 60, 70, 80°C sıcaklığında ve klapenin tam ve yarı açık konumunda hesaplanan verimler Çizelge 2 ve Çizelge 3'de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Klape Tam Açık Konumdayken Verim Değerleri.

| Kat Kaloriferi Sıcaklığı | 60°C | 70°C | 80°C |
|---|---|---|---|
| Verim (e) | %69.07 | %68.87 | %68.83 |

**Çizelge 3.** Klape Yarı Açık Konumdayken Verim Değerleri.

| Kat Kaloriferi Sıcaklığı | 60°C | 70°C | 80°C |
|---|---|---|---|
| Verim (e) | %72.87 | %71.25 | %70.24 |

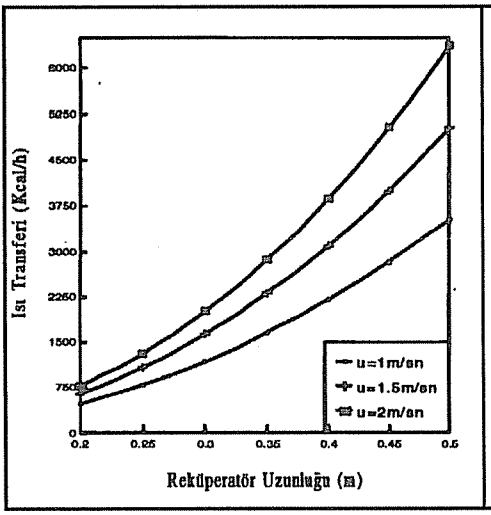
## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Reküperatif ısı eşanjörünün matematiksel modellemesinden yola çıkılarak yapılan bilgisayar programından faydalanılarak çeşitli hız, reküperatör uzunluğu ve kanal hatvesinde ısı transferi, basınç düşümü ve verim eğrileri elde edilmiştir.

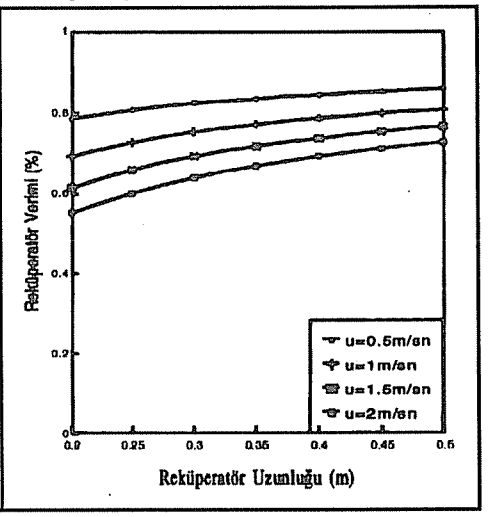
Reküperatif tip ısı eşanjörlerinde; sıcak ve soğuk akışkanlar arasında transfer edilebilecek ısı, ısı transfer yüzey büyüklüğü açısından boyutuna ve ısıl direnç açısından kullanılan dolgu malzemesinin et kalınlığına bağlıdır. Şekil 4'de transfer edilen ısının Şekil 5'de ise reküperatör veriminin reküperatör kesit uzunluğuna bağlı olarak değişimi kanallar içindeki akışkanın değişik ortalama hızlardaki değerleri için gösterilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi kesit uzunluğu arttıkça ısı transfer eden yüzey alanı arttığından transfer edilen ısı ve reküperatör verimi artmaktadır. Isıl yüzey alanı büyütmek ve iyi bir ısı transferini sağlamak amacıyla, birim hacimden daha çok yararlanılabilmesi için ikizkenar üçgen profilli yapılan eşanjör levhaları arasındaki hatvelerin (üçgen tabanı) büyüklüğü ve buradan geçen akışkanın hızı reküperatör verimini etkilemektedir. Şekil 6'da reküperatör veriminin üçgen taban uzunluğu ile değişimi ortalama akışkan hızına bağlı olarak gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi kanal hatvesinin artması ikizkener üçgen profilleri büyüttüğünden reküperatör verimi azalmaktadır. Reküperatör verimi ve basınç düşümünün değişik reküperatör uzunluklarında kanallar içindeki akışkanın ortalama hızıyla değişimi Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Akışkan hızının artması özellikle sürtünme kayıplarını arttırmaktadır. Dolayısıyla basınç düşümü artmakta ve reküperatör verimi düşmektedir.

Deneyler kısma klapesi yarı açık ve tam açık konumda iken yapılmıştır. İmal edilen

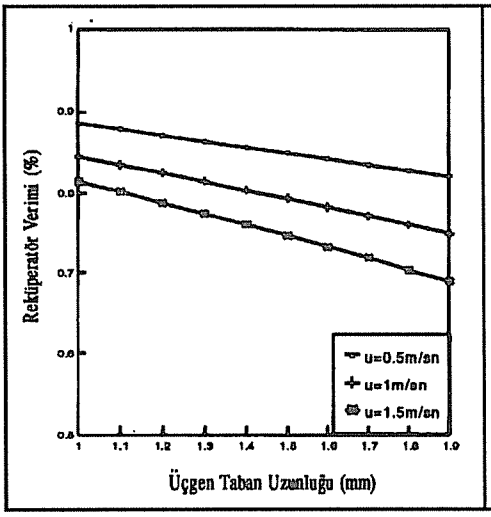
reküperatörün verimi Çizelge 2 ve Çizelge 3'de görüldüğü gibi kısma klapesi yarı açık konumda ve kat kaloriferi sıcaklığı 60°C'deyken diğerlerine nazaran az da olsa fazla elde edilmiştir. Teorik hesaplar sonucu elde edilen verim değerleri ile deney sonucu elde edilen verim değerleri Şekil 9'da karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmadan teorik ve deneysel sonuçların birbirine yakın olduğu söylenebilir.



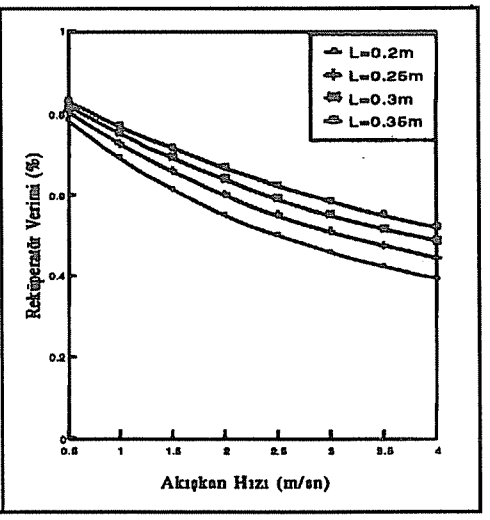

**Şekil 4.** Isı Transferinin Ortalama Akışkan Hızına Bağlı Olarak Reküperatör Uzunluğu İle Değişimi (a=1.7mm, s=0.35 mm)



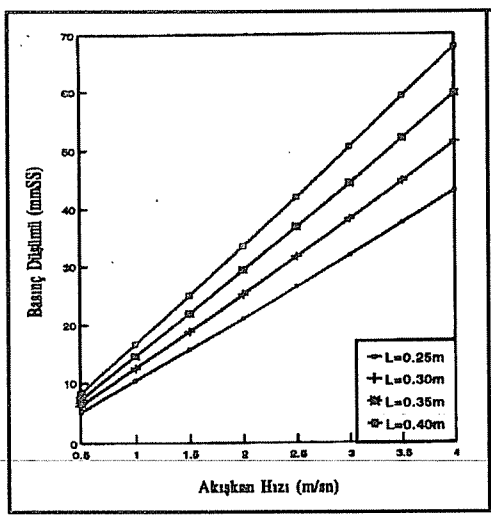

**Şekil 5.** Reküperatör Veriminin Ortalama Akışkan Hızına Bağlı Olarak Reküperatör Uzunluğu İle Değişimi (a=1.7mm, s=0.35 mm)



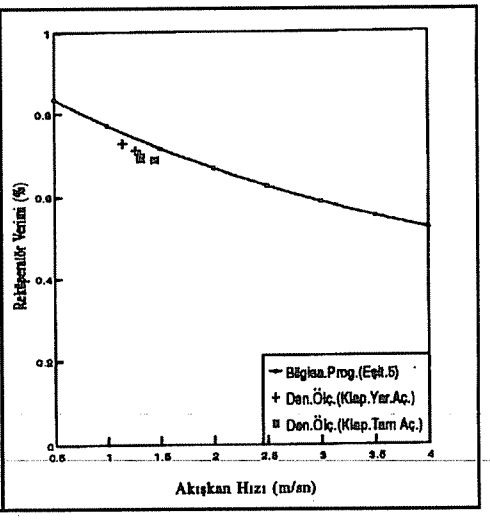

**Şekil 6.** Reküperatör Veriminin Ortalama Akışkan Hızına Bağlı Olarak İkizkenar Üçgen Profilin Taban Uzunluğu İle Değişimi (L=35cm, s=0.35 mm)




**Şekil 7.** Reküperatör Veriminin Reküperatör Uzunluğuna Bağlı Olarak Ortalama Akışkan Hızı İle Değişimi (a=1.7mm, s=0.35 mm)




**Şekil 8.** Reküperatör Basınç Düşümünün Reküperatör Uzunluğuna Bağlı Olarak Ortalama Akışkan Hızı İle Değişimi (a=1.7mm, s=0.35 mm)




**Şekil 9.** Reküperatör Deneysel Veriminin Teorik Verimle Karşılaştırılması (L=0.35m)

## 6. SEMBOLLER

a : İkizkenar üçgen taban uzunluğunun yarısı
A : Kanal kesit alanı
C : Akışkanın ısıl kapasitesi
$c_p$ : Akışkanın özgül ısısı
d : Çap
F : Isı transfer yüzey alanı
k : Isı transferi katsayısının yarısı ($\alpha/2$)
K : Akışın gelişmesinden dolayı basınç kaybı ile ilgili büyüklük
L : Reküperatör kesit uzunluğu
M : Kütlesel debi
Nu : Nusselt sayısı
Ntu : Transfer birimi sayısı
s : Alüminyum levha kalınlığı
$T_g$ : Akışkanın reküperatöre giriş sıcaklığı
$T_ç$ : Akışkanın reküperatörden çıkış sıcaklığı
u : Akışkanın ortalama hızı
x : Kanal uzunluğu
z : Koordinat

$\alpha$ : Isı transfer katsayısı
$\varepsilon$ : Reküperatör verimi
$\lambda$ : Levhanın ısı iletim katsayısı
$\psi$ : Gelişmiş akışta şekil faktörü
$\Delta P$ : Basınç kaybı
$\Phi$ : Isı transfer faktörü (eşitlik 2)
$\rho$ : Akışkanın kanal içindeki ortalama yoğunluğu

İndisler

$*$ : Boyutsuz
1 : Birinci akışkan
2 : İkinci akışkan
e : Eşdeğer
max : Maximum
min : Minimum
$\infty$ : $z \rightarrow \infty$

## 7. KAYNAKLAR

**1.** *Atık Isı Geri Kazanımı, Elektrik İşleri Etüd İdaresi, Ankara, 1985.*

**2.** *Yılmaz T., Cihan E., General Equation for Heat Transfer for Laminar Flow in Ducts of Arbitrary Cross-Sections, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.36, No.13, (3265-3270), 1993.*

**3.** *Yılmaz T., General Equations for Pressure Drop for Laminar Flow in Ducts of Arbitrary Cross Sections, ASME Journal of Energy Resources Technology, Vol.112, No.4, (220-223), 1990.*

**4.** *Bayazıtoğlu Y., Özışık M.N., Elements of Heat Transfer, Mc Graw-Hill, New York, 1988.*

**5.** *Oğulata R.T., Doba F., Küçük A., Levhalı Tip Atık Isı Geri Kazanım Sistemleri, Termodinamik Dergisi, Sayı 33, (67-69), Mayıs 1995.*

ISSN 1019-1011

Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ Haziran/Aralık 1995 Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH.
CİLT 10 SAYI 1-2 June/December VOL.10 NO.1-2

# SÜRGÜLÜ YÖN KONTROL VALFLERİNDE VİSKOZ SÜRTÜNME KUVVETLERİ

**Erdem KOÇ ve Emel Ceyhun SABIR**
*Ç.Ü.,Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye*

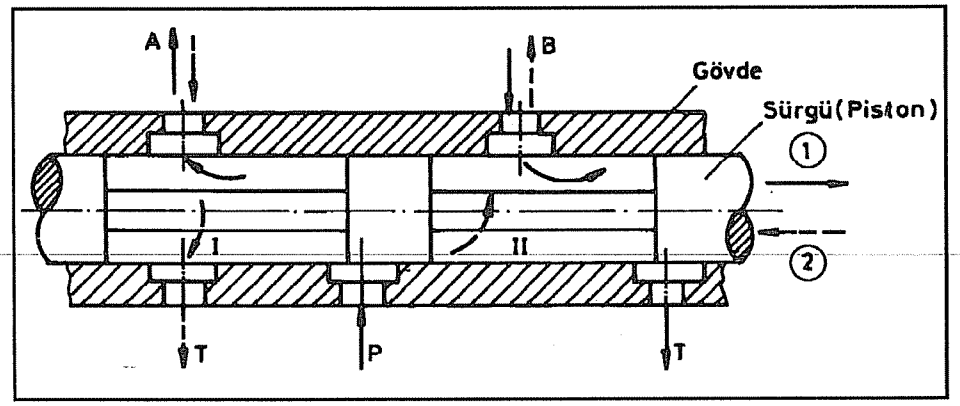
**ÖZET :** *Bu çalışmada endüstriyel hidrolik devrelerde kullanılan sürgülü tip yön kontrol valflerinde valf gövdesi ile sürgü arasındaki radyal aralıkta oluşan viskoz sürtünme kuvvetleri analiz edilmiştir. Piston (sürgü) hidrolik dengesi ve performansı için önemli olan bu kuvvetler, sürgü yüzeyinin düz ve konik olması halinde değişik geometrik ve çalışma parametrelerinde boyutsuz olarak incelenmiştir. Radyal aralıktaki yağ film kalınlığı, piston boyu ve koniklik değerlerinin uygun seçilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.*

# VISCOUS FRICTIONAL FORCES IN SPOOL TYPE DIRECTIONAL CONTROL VALVES

**ABSTRACT :** *In this study, viscous frictional forces exerted within the radial gap between the spool and valve body in spool type directional control valves being used in industrial hydraulic circuits, have been analysed. These forces being very important for piston (spool) hydraulic balance and performance, have been examined in non-dimensional form with different geometrical and working parameters considering the conical and flat-paralel spool surfaces. It has been concluded that the oil film thickness in radial gap, piston length and the rate of coning should be selected properly.*

## 1. GİRİŞ

Hidrolik devrelerin vazgeçilmez elemanlarından olan yön kontrol valfleri, hidrolik akışkanı yönlendirerek hidrolik alıcı olarak adlandırılan hidrolik silindir veya hidrolik motorun arzu edilen yönde hareket etmesini sağlarlar. Uygulamada en yaygın kullanılan sürgülü tip 4 yollu ve 3 konumlu (4/3 valfi) yön kontrol valfi kesit resmi Şekil 1'de gösterilmiştir.




**Şekil 1.** Sürgülü tip yön kontrol valfi.

Şekilden de görüldüğü gibi piston (sürgü) kademeli mil şeklinde tasarlanmış olup, silindir (valf gövdesi) içerisinde uygun pozisyonlara getirilerek akışkan yönlendirilmesi gerçekleştirilmektedir. Bu tip valflerde üç konum mevcuttur. Bu konumlardan ikisi çalışma konumu, diğeri ise merkez konumdur. Merkez konum; kapalı merkezli, açık merkezli H tipi merkezli ve yüzer merkezli olmak üzere çok farklı tiplerde olabilmektedir (1,2). Valf gövdesinde depo (T), pompa (P) ve çalışma hatları (A ve B) mevcuttur. Piston veya sürgünün iki pozisyonuna bağlı olarak basınçlı akışkanın, P hattından A veya B çalışma hatlarına yönlenmesi sağlanmaktadır. Düşük basınçlı akışkan da diğer kanal üzerinden T hattına dönmektedir.

Bu tip valflerde pistonun gövde içerisindeki hareketi sırasında I bölgesindeki akışkanın II bölgesine geçmesi arzu edilmez. İki bölge arasında akışkan kaçağını önleyebilmek için pistonun üst yüzeyinin pürüzsüz ve paralel olması gerekir. Ayrıca piston ile silindir arasındaki radyal açıklığın da önemi büyüktür. Radyal açıklık hem piston ile gövde arasında metal-metal temasına neden olmayacak hem de akışkan kaçağını optimum bir değerde tutabilecek büyüklükte olmalıdır. Yüzeylerin birbirine tam paralel işlenememesi ve yüzey pürüzlülüğü nedeniyle radyal aralıkta beklenmedik hidrolik davranışlar gözlenecektir. Dar aralıkta viskoz akışkandan dolayı ilave sürtünme kuvvetleri ortaya çıkacak ve denge bozulacaktır. Yüzeylerin eğimli işlenmesi durumunda ise, hareket halinde pistonun silindir iç yüzeyine kilitlenmesi söz konusu

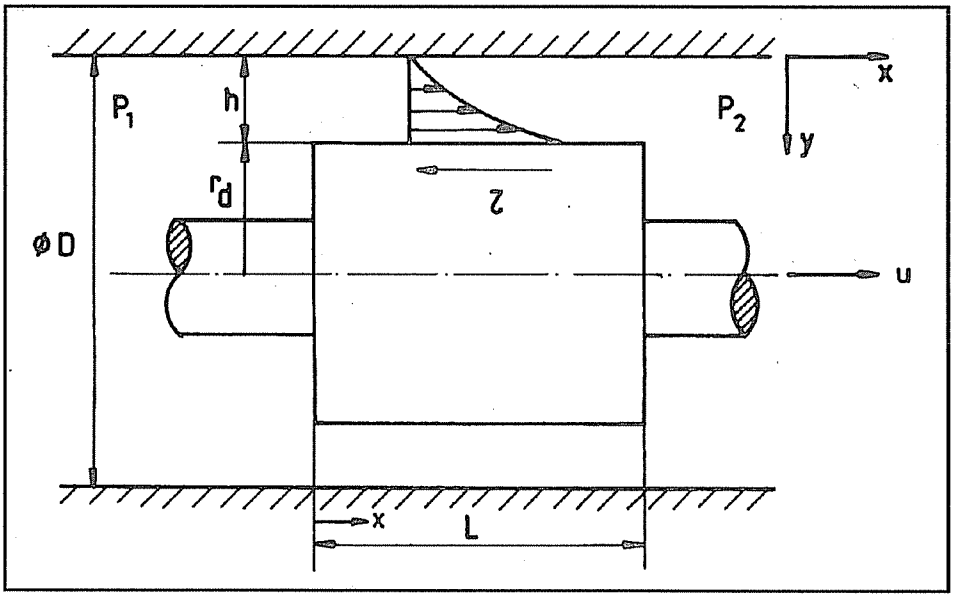
olabilecektir (3,4,5).

Bu çalışmada hidrolik valf davranışına etki edip performansını belirleyen radyal aralıktaki viskoz akıştan doğan sürtünme kuvvetleri, teorik olarak analiz edilmiştir. Dolayısıyle düz ve konik piston yüzeylerinde değişik çalışma parametrelerinde (basınç, hız vs.) ve geometrik büyüklüklerde, boyutsuz sürtünme kuvvetleri tahmin edilebilmektedir.

## 2. VİSKOZ SÜRTÜNME KUVVETİ ANALİZİ

### 2.1. Paralel Yüzeyli Piston

Piston dengesini ve valf performansını önemli ölçüde etkileyen kuvvetlerden birisi de sürtünme kuvvetidir. Şekil 2'de görüldüğü gibi u hızıyla hareket eden bir pistonda,




**Şekil 2.** Paralel yüzeyli konsantrik piston.

piston ile silindir arasında oluşacak kayma gerilmesi,

$$\tau = \eta \frac{u}{h} - \frac{dp}{dx}\left(\frac{h}{2} - y\right) \qquad (1)$$

şeklinde yazılabilir. Piston yüzeyi üzerindeki kayma gerilmesi (y=h durumunda),

$$\tau = \eta \frac{u}{h} + \frac{h\Delta P}{2L} \qquad (2)$$

şeklini alır. Burada η yağın dinamik viskozitesi, h film kalınlığı, ΔP basınç farkı, L ise piston uzunluğudur.

Viskoz sürtünme kuvveti, akışkan tarafından ıslanan yüzey değerlendirilerek

$$F_s=\left(\eta\frac{u}{h}+\frac{h\Delta P}{2L}\right)2\pi r_d L \tag{3}$$

şeklinde elde edilir.

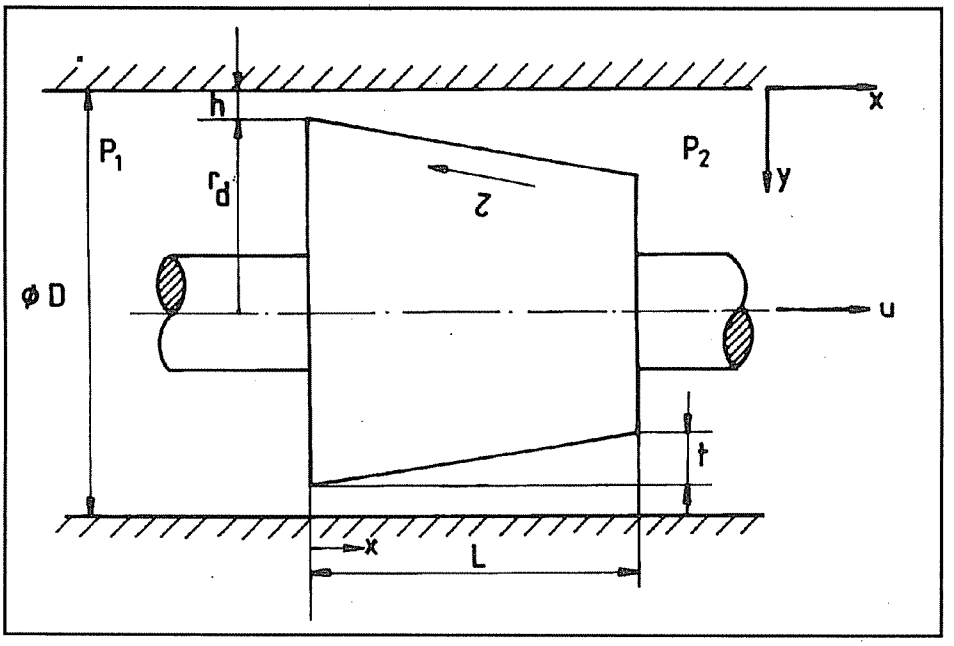
Boyutsuz parametrelerle çalışmanın faydalarından dolayı, (3) eşitliği piston dış yarıçapı esas alınarak boyutsuzlaştırıldığında,

$$\overline{F}_s=2\pi\overline{L}\left(\frac{1}{\overline{h}}+\frac{\overline{h}\Delta\overline{P}}{2\overline{L}}\right) \tag{4}$$

Formunu alır. Burada $\overline{L}=L/r_d$, $\overline{h}=h/r_d$, $\overline{\Delta P}=\Delta P/(\eta u/r_d)$ ve $\overline{F}_s=F_s/\eta u r_d$ şeklinde tarif edilen boyutsuz parametrelerdir.

### 2.2. Konik Yüzeyli Piston

Tipik bir konik yüzeyli piston-silindir Şekil 3'de gösterilmiştir. Burada da u hızıyla hareket eden konik bir pistonda radyal aralıkta piston yüzeyindeki kayma gerilmesi,




**Şekil 3.** Konik yüzeyli konsantrik piston.

$$\tau = \eta \frac{u}{h + \frac{t}{L}x} + \frac{\left(h + \frac{t}{L}x\right)\Delta P}{2L} \tag{5}$$

şeklinde elde edilebilir. Burada t piston yüzey eğimi, L piston uzunluğu, x piston başlangıcından itibaren ölçülen uzunluk, ΔP basınç farkıdır.

Konik yüzeyli piston için basınç farkı ifadesi,

$$\Delta P = \frac{(P_1 - P)\, t\,(2h + t)}{(h + t)^2 \left(1 - h^2 / \left(h + \frac{t}{L}x\right)^2\right)} \tag{6}$$

olarak yazılabilir (6,7). Burada $P_1$ pistonun geçiş bölgesi önündeki basınç, P ise herhangi x mesafesindeki basınçtır. Sürtünme kuvveti ise kayma gerilmesinin konik yüzey alanıyla çarpımından,

$$F_s = \frac{\eta u}{h + \frac{t}{L}x} A + \frac{(P_1 - P)\, t\,(2h + t)\left(h + \frac{t}{L}x\right)}{(h + t)^2 \left(1 - h^2 / \left(h + \frac{t}{L}x\right)^2\right) 2L} A \tag{7}$$

olarak bulunur. Burada A konik yüzey alanı olup,

$$A = \pi \left[2 r_d - \frac{x}{L} t\right] \sqrt{x^2 + \left(\frac{x}{L} t\right)^2} \tag{8}$$

şeklinde yazılabilmektedir. Piston yarıçapı $r_d$ esas alınarak (7) eşitliği boyutsuzlaştırıldığında,

$$\bar{F}_{s1} = \frac{1}{\bar{h} + \bar{t}\,\bar{x}} \bar{A} + \frac{\Delta\bar{P}\,\bar{t}\,(2\bar{h} + \bar{t})\left(\bar{h} + \bar{t}\,\bar{x}\right)}{(\bar{h} + \bar{t})^2 \left(1 - \bar{h}^2 / \left(\bar{h} + \bar{t}\,\bar{x}\right)^2\right) 2\bar{L}} \bar{A} \tag{9}$$

yazılır. Boyutsuz yüzey alanı;

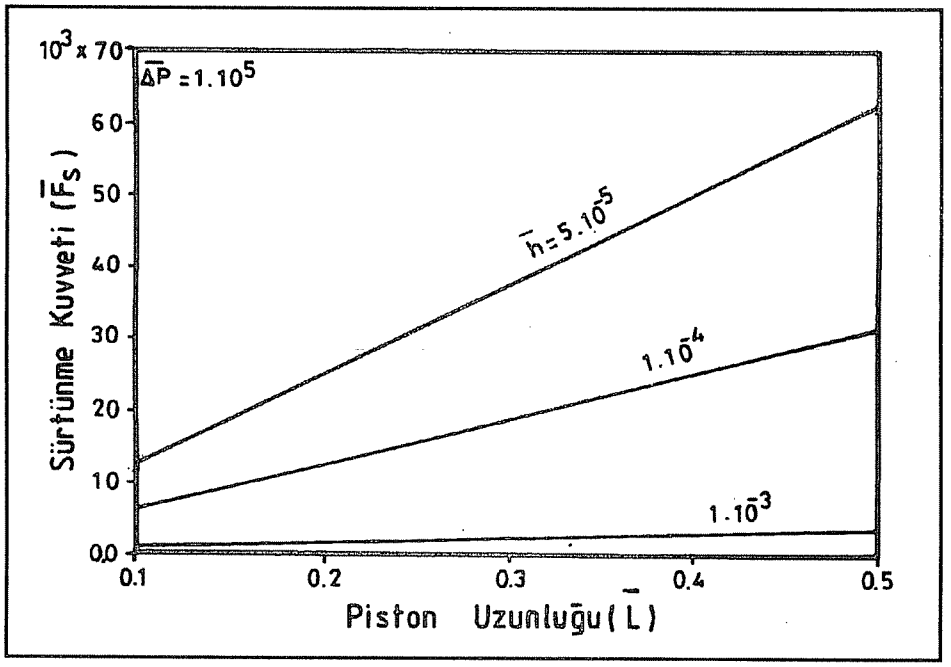
$$\bar{A} = \pi \left[2 - \bar{x}\,\bar{t}\right] \sqrt{\bar{x}^2 \bar{L}^2 + \left(\bar{x}^2 \bar{t}^2\right)} \tag{10}$$

olarak değerlendirilmiştir. Boyutsuz parametreler ; $\bar{L} = L / r_d$, $\bar{h} = h / r_d$, $\overline{\Delta P} = \Delta P / (\eta\, u / r_d)$ $\bar{t} = t / r_d$, $\bar{x} = x / L$ ve $\bar{F}_{s1} = F_{s1} / \eta\, u\, r_d$ olarak tanımlanmaktadır.

## 3. TEORİK NETİCELER

Değişik geometrik büyüklükler ve çalışma parametreleri etkisinde radyal aralıkta sürtünme kuvveti değişimi incelenmiştir.

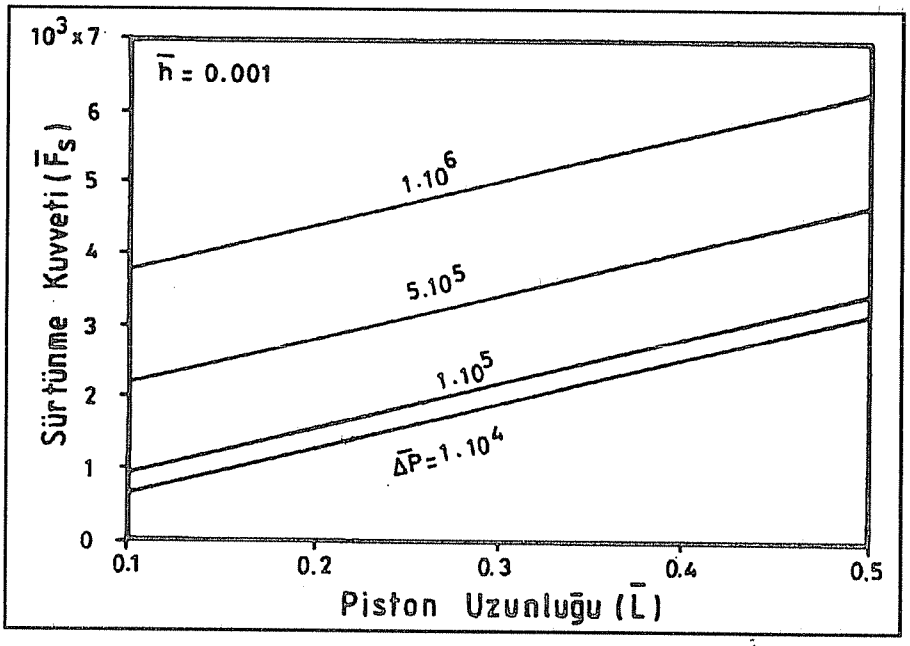
Şekil 4, düz piston tasarımında boyutsuz sürtünme kuvvetinin boyutsuz piston uzunluğu ile değişimini vermektedir. Üç değişik radyal aralıkta piston boyunun artmasıyla sürtünme kuvvetinin davranışı izlenebilmektedir. Sistemdeki akışkan basıncı $\overline{\Delta P}=1.10^5$ değerinde sabit tutulmuş ve film kalınlığı $5.10^{-5}$ değerinden $1.10^{-3}$ değerine kadar artırılmıştır. Şekilden görüldüğü gibi büyük film kalınlığında piston uzunluğundaki artış sürtünme kuvvetini fazla etkilememekte, küçük film kalınlığında ise ($5.10^{-5}$ değerinde) hızlı lineer bir artış gözlenmektedir. Boyutsuz piston uzunluğu değerleri $\overline{L}=0.1$ ile $\overline{L}=0.5$ arasında alınmıştır. Piston boyunun piston yarıçapı $r_d$'nin %10'u olması halinde $\overline{h}=1.10^{-4}$ iken sürtünme kuvveti $\overline{F}_s=5.10^3$ olurken, $\overline{h}=5.10^{-5}$ değerine düştüğünde $\overline{F}_s=12.10^3$ değerini almaktadır. Seçilen $\overline{\Delta P}$ değerinde $\overline{F}_s=12.10^3$ boyutsuz değeri, u=3 m/sn hızla hareket eden, $r_d$=20 mm yarıçapındaki bir pistonda 36 N'luk bir sürtünme kuvvetine tekabül etmektedir. Piston boyunun artmasıyla film kalınlığıyla orantılı olarak bu sürtünme kuvveti daha da artmaktadır.




**Şekil 4.** Sürtünme kuvvetinin piston uzunluğu ile değişimi.

Seçilmiş bir radyal açıklık (film kalınlığı) için değişik boyutsuz basınç farkında, sürtünme kuvvetinin piston uzunluğu ile değişimi Şekil 5'de verilmiştir. Basınç farkının

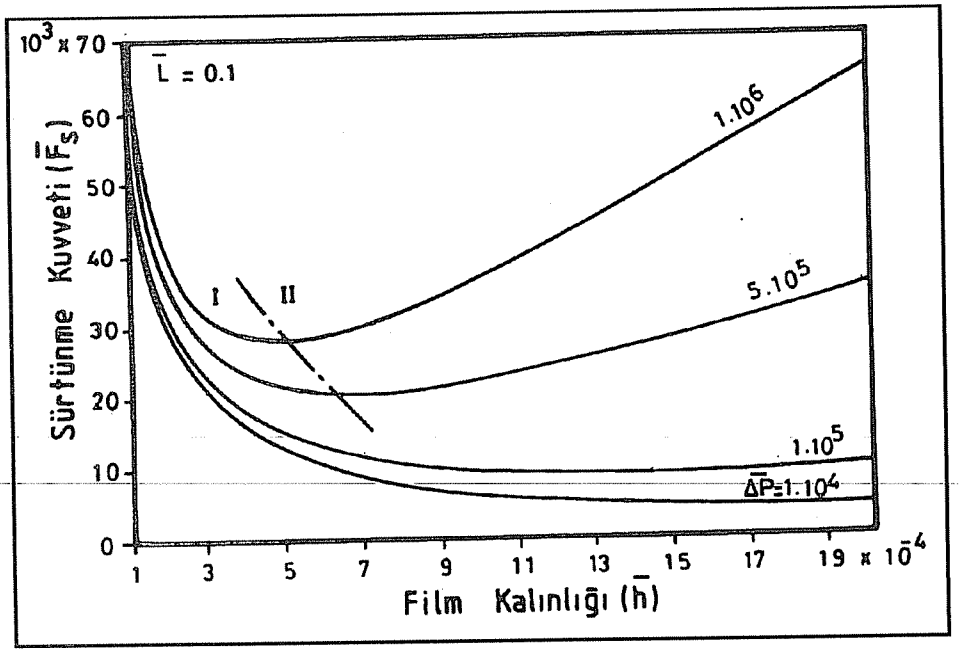
artışı sürtünme kuvvetini lineer olarak artırmaktadır. piston uzunluğundaki artış bütün basınç farklarında sürtünme kuvvetini beklendiği gibi artırmaktadır.



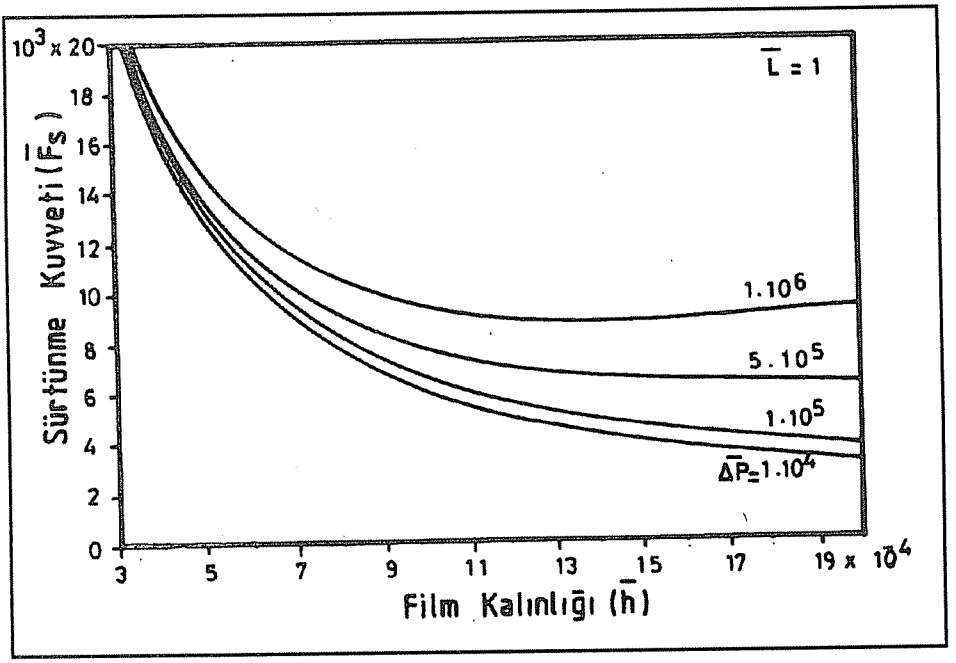

**Şekil 5.** Sürtünme kuvvetinin piston uzunluğu ile değişimi.

Film kalınlığının etkisini daha iyi görebilmek için Şekil 6 ve Şekil 7'deki değişimler elde edilmiştir. Şekil 6, kısa piston ($\bar{L}$=0.1) için incelendiğinde sürtünme kuvveti değişimi için iki farklı bölgenin ortaya çıktığı görülecektir. Basınç $1.10^4$ 'den $1.10^5$ değerine kadar değiştirildiğinde boyutsuz film kalınlığındaki artış sürtünme kuvvetini azaltmaktadır. Küçük film kalınlıklarında sürtünme kuvvetindeki azalış hızlı olurken, belirli bir değerden sonra değişim ihmal edilebilir seviyede olmaktadır. Basıncın $5.10^5$ ve daha büyük değerlerinde film kalınlığı arttıkça sürtünme kuvveti önce azalan daha sonra artan bir davranış göstermektedir. Şekilde I .ve II. bölge bahsedilen farklı iki davranışı göstermektedir. Tasarım açısından film kalınlığının artmasıyla sürtünme kuvvetinin artışı, bu bölgede radyal aralıkta viskoz akışkan kaçağını artıracağından istenmemektedir. Valf performansı için bu iki bölgeyi belirleyen film kalınlığı değeri (sınır film kalınlığı) tespit edilebilmektedir. Burada $\Delta\bar{P}=5.10^5$ değerinde sınır film kalınlığı yaklaşık $7.10^{-4}$ olurken, $\Delta\bar{P}=1.10^6$ değerinde bu sınır film kalınlığı $4.10^{-4}$ değerine düşmektedir.

Piston uzunluğunun artırılması halinde ($\bar{L}$=1 seviyesinde) aynı basınç farkı değerlerinde, değişim Şekil 7'den görülmektedir. Film kalınlığının artması durumunda çok büyük basınç değeri hariç, sürtünme kuvvetinin azaldığı gözlenmektedir. Basıncın



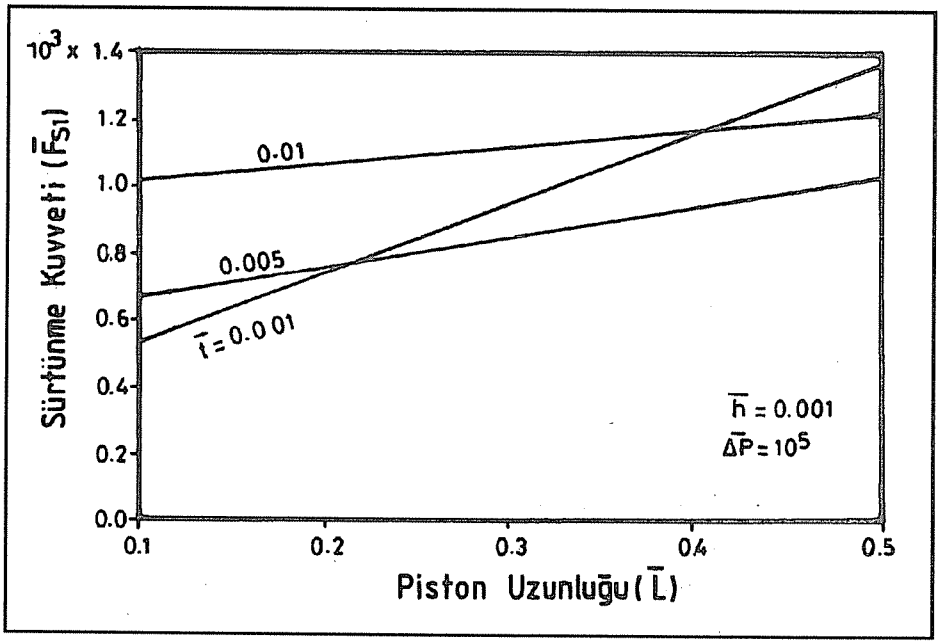

**Şekil 6.** Sürtünme kuvvetinin film kalınlığı ile değişimi.




**Şekil 7.** Sürtünme kuvvetinin film kalınlığı ile değişimi.

artması halinde eşitlik (2)'den de görüleceği üzere kayma gerilmesi de artmakta ve film kalınlığı artış etkisi ihmal edilebilir seviyeye inmektedir.

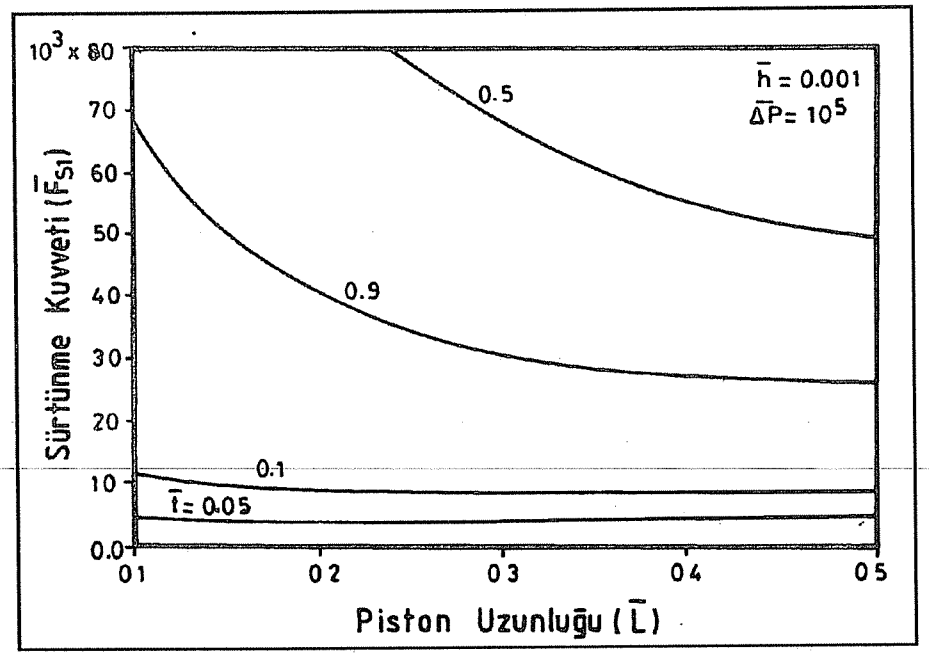
Piston yüzeyinin paralel olmaması halinde sürtünme kuvvetine etki eden parametre sayısı artmaktadır. Yüzey konikliği başta olmak üzere değişik geometrik büyüklüklerle sürtünme kuvvetinin değişimi incelenmiştir.



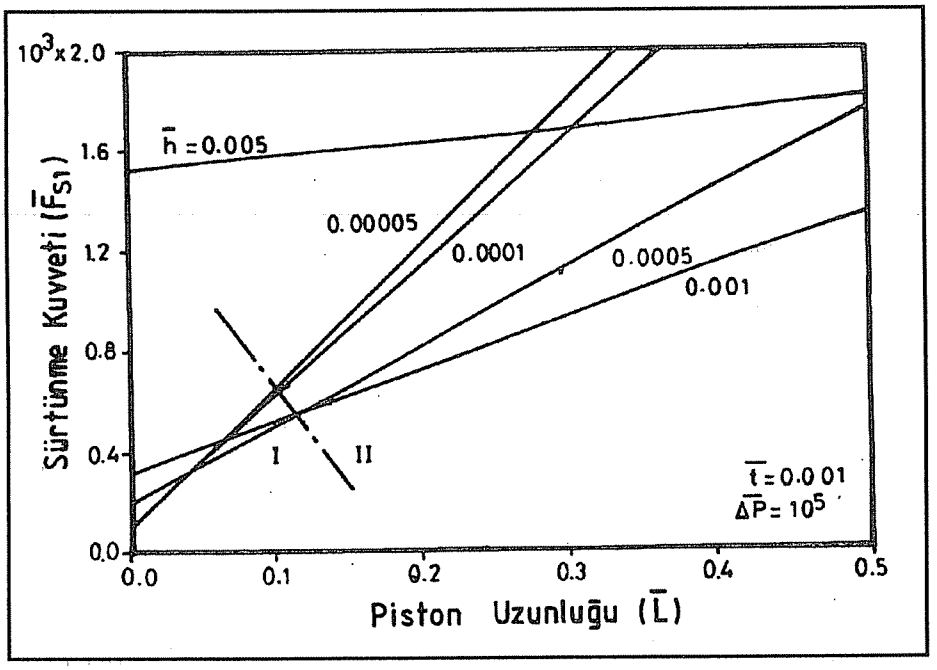

**Şekil 8.** Sürtünme kuvvetinin piston uzunluğu ile değişimi.

Şekil 8 konik pistonda sürtünme kuvvetinin piston uzunluğu ile değişimini vermektedir. Burada, üç değişik yüzey eğiminde tespit edilmiş bir minimum film kalınlığı ($\bar{h}$=0.001) ve boyutsuz basınç farkında ($\Delta\bar{P}$=1.$10^5$) viskoz sürtünme kuvvetinin durumu izlenebilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi piston boyu sürtünme kuvvetini artırmaktadır. Bu artış küçük eğim değerinde ($\bar{t}$ = 0.001) daha hızlı olmaktadır. Konikliğin artması ortalama film kalınlığının artmasına neden olmakta ve beklendiği gibi kuvveti azaltmaktadır. Boyutsuz piston boyu $\bar{L}$, 0.1 ile 0.5 arasında değiştirilmiştir. $\bar{L}$'nin artışı özellikle düşük yüzey eğim değerlerinde kuvvette hızlı artışlara neden olmaktadır.

Yüzey eğimi daha arttığında pistona etkiyen sürtünme kuvveti değeri çok büyük değerlere erişmektedir. Boyutsuz eğimi $\bar{t}$=0.05 değerinden $\bar{t}$=0.5 değerine kadar artırıp değişim incelenmiş olup Şekil 9 bu davranışı göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi eğimin 0.1 ve daha büyük değerinden sonra kuvvetin piston uzunluğu ile değişimi farklılık göstermektedir. Piston uzunluğunun belirli bir değere kadar artışı sürtünme



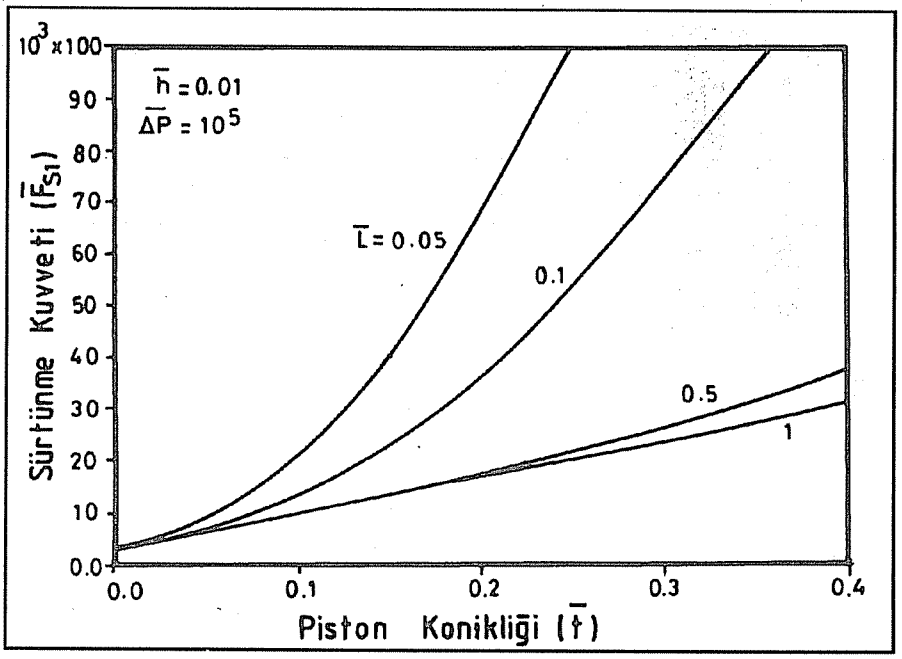

**Şekil 9.** Sürtünme kuvvetinin piston uzunluğu ile değişimi.




**Şekil 10.** Sürtünme kuvvetinin piston uzunluğu ile değişimi.

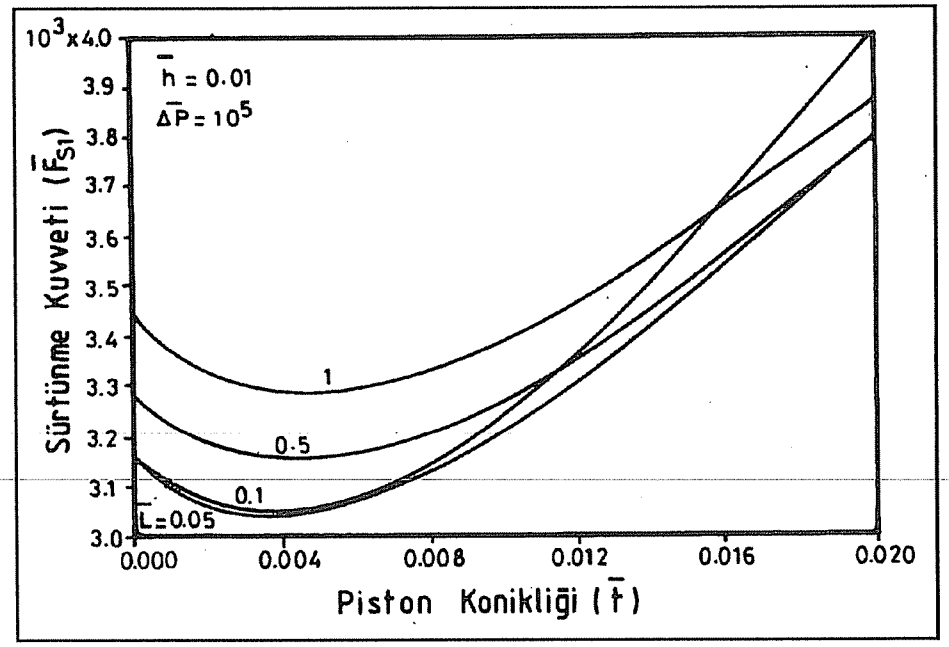
kuvvetini çok hızlı bir şekilde azaltmaktadır. Konikliğin artışı tek başına kuvveti artırırken, aynı koniklik değerinde piston uzunluğu artışı kuvveti azaltmaktadır. Tasarım açısından yüzey konikliğinin mümkün mertebe küçük değerlerde tutulması tavsiye edilebilir.

Piston davranışına film kalınlığının etkisini daha iyi görebilmek için Şekil 10'daki değişim elde edilmiştir. Burada seçilmiş bir koniklikte ($\bar{t}$=0.001) ve basınç değerinde ($\overline{\Delta P}$=1.10$^5$) minimum film kalınlığı h değeri 5.10$^{-5}$ değerinden 5.10$^{-3}$ değerine kadar değiştirilmiştir. Film kalınlığının 5.10$^{-5}$'den 1.10$^{-3}$ değerlerine kadar belirli bir $\bar{L}$ değerinden sonra kuvvet azalmaktadır. Küçük $\bar{L}$ değerlerinde durum tersine dönmekte ve dengesiz bir çalışma ortaya çıkmaktadır. Şekilde I. ve II. bölgeler bu iki değişik davranışı göstermesi bakımından birbirinden ayrılmıştır. Film kalınlığı artırıldığında (5.10$^{-3}$) değerinde çıkartılması durumunda kuvvette artış gözlenmektedir. Piston uzunluğunun artışı yine kuvveti artırmaktadır.

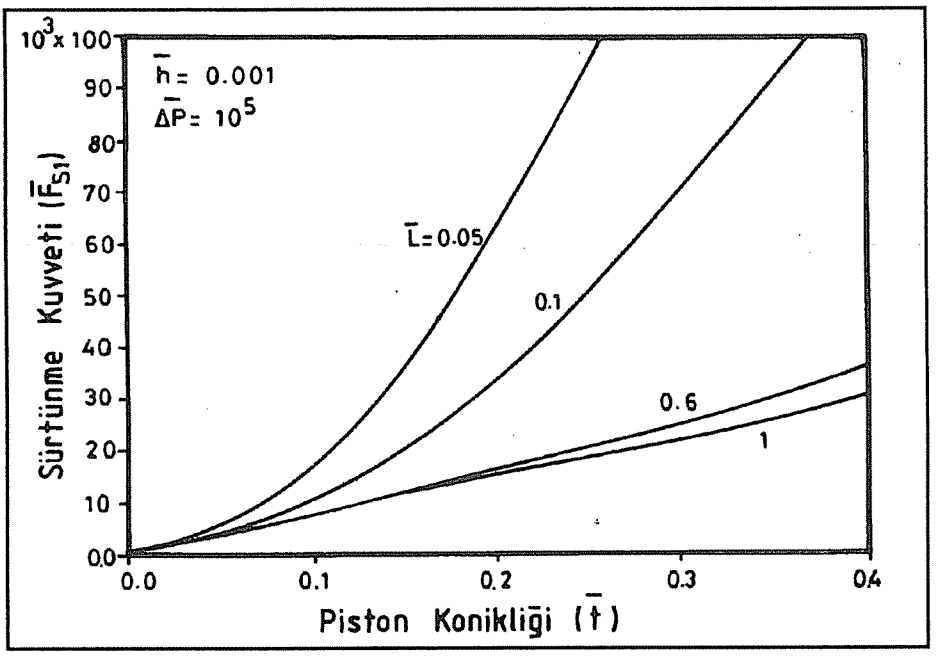



**Şekil 11a.** Sürtünme kuvvetinin piston koniliği ile değişimi.

Piston konikliği ile piston uzunluğunun viskoz sürtünme kuvvetine etkilerini daha iyi görebilmek için Şekil 11-12'deki değişimler elde edilmiştir. Şekil 11a'da koniklik değeri 0-0.4 arasında alınmış ve piston boyu $\bar{L}$ 0.05 ile 1 arasında değiştirilmiştir. Tespit edilmiş bir minimum film kalınlığında koniklik bütün piston boylarında kuvveti artırmaktadır. Küçük piston boylarında bu artış çok daha hızlı olmaktadır. Konikliğin çok küçük değerlerindeki değişim Şekil 11b'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi $\bar{L}$'deki

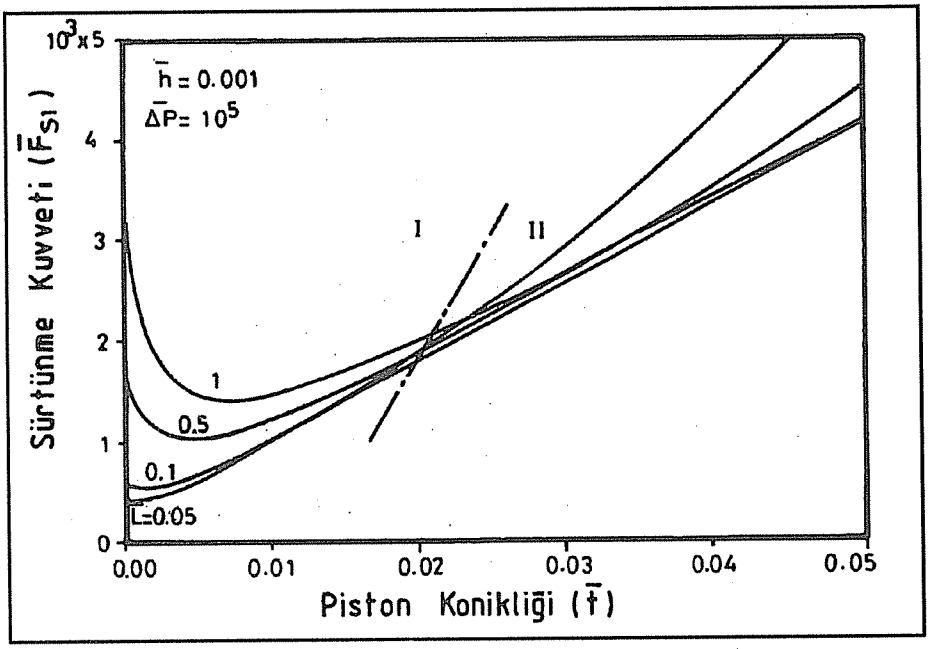



**Şekil 11b.** Sürtünme kuvvetinin piston konikliği ile değişimi.

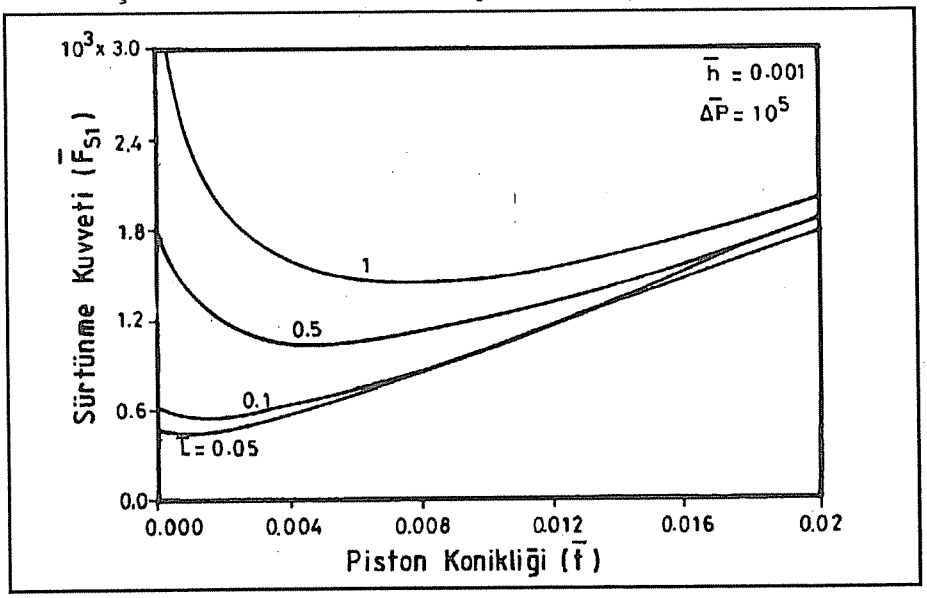



**Şekil 12 a.** Sürtünme kuvvetinin piston konikliği ile değişimi.

artış başlangıçta sürtünme kuvvetini artırmakta ve belirli bir koniklik değerinden sonra davranış terse dönmektedir. Çok küçük koniklik veya yüzey eğiminde kuvvet biraz azalırken belirli bir değerden sonra artmaya başlamaktadır.




**Şekil 12 b.** Sürtünme kuvvetinin piston konikliği ile değişimi.




**Şekil 12 c.** Sürtünme kuvvetinin piston konikliği ile değişimi.

Şekil 12a, minimum film kalınlığının daha küçük değerinde benzer davranışı göstermektedir. Şekil 12b ve 12c'de küçük yüzey eğimindeki değişimler gösterilmiştir. Şekil 12b'de özellikle iki farklı davranış I. ve II. bölgelerde gözlenebilmektedir. Bu şekillerden, koniklik ve piston boyu için tasarımcıya tavsiye edilebilecek değerler tespit edilebilmektedir.

## 4. SONUÇ

Hidrolik sistemlerde kullanılan akışkanın viskoz özelliğinden dolayı, yön denetim valfleri viskoz sürtünme kuvvetinin etkisindedir. Bu çalışma ile değişik geometrik büyüklüklerde ve çalışma şartlarında viskoz sürtünme kuvveti teorik olarak analiz edilmiştir. Sürtünme kuvveti pistonun hareketi sırasında tahrik mekanizması tarafından yenilmesi gereken kuvvet olduğu için, mümkün olduğunca küçük olması istenir. Yürütülen çalışmada piston ile silindir arasındaki radyal açıklığın artması ile sürtünme kuvvetinin azaldığı, belli bir değerden sonra ise radyal açıklığın sürtünme kuvvetine etkisi olmadığı gözlenmiştir. Yüzey eğimi veya koniklik genel olarak yüzey sürtünme kuvvetini artırmaktadır. Konik sistemde yüzey eğiminin belirli bir değerinden sonra piston boyunun artışı kuvveti azaltmaktadır. İyi bir valf performansı için piston (sürgü) yüzeyinin düzgün ve paralel işlenmesi ve piston boyunun da çok büyük tutulmaması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu çalışma boyutsuz büyüklüklerle yürütüldüğü için çok geniş bir alanda inceleme imkanı sağlamaktadır.

## 5. KAYNAKLAR

**1.** *Koç, E., Hidrolik Devreler, Ç.Ü. Müh..-Mim. Fak. Yayınları, Yayın No : 25, (262 s), Adana, Mayıs 1994.*

**2.** *Henke,R.W., Fluid Power Systems, Hydraulics and Pneumatics Magazine, U.S.A., 1985.*

**3.** *Dransfield,P., Bruce, D. M., Wasworth, M., Hydraulic Lock, Proc. Inst. Mech. Engrs., Vol 182, Pt 1, No 27, 595-602, 1967-1968.*

**4.** *Koç,E., Şahin, B., Hidrolik Yön Denetim Valflerinin dinamik Davranışı-Teorik Analiz, Ç.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi, 7, 1, 65-78, 1992.*

**5.** *Koç,E., Yatçı,A., Özdemir,B., Hidrolik Yön Kontrol Valflerinde Piston Tasarımı I-Radyal Aralıkta Basınç Dağılımı, Ç.Ü. Müh.-Mim.Fak.Dergisi, 8, 1, 25-38, 1993.*

**6.** *Blackburn, J.F., Reethof, G., Shearer, J.L., Fluid Power Control, 279-321, MIT Press, U.S.A., 1972.*

**7.** *Koç,E., Yatçı,A., Özdemir,B., Hidrolik Yön Kontrol Valflerinde Piston Tasarımı II-Radyal Kuvvetin Analizi, Ç.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi, 8, 2, 1-11,1993.*

ISSN 1019-1011
Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ Haziran/Aralık 1995 Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH.
CİLT 10 SAYI 1-2 June/December VOL.10 NO.1-2

# CNC TORNA TEZGAHLARINDA KESME PARAMETRELERİNİN TEORİK VE DENEYSEL ANALİZİ

**Erdem KOÇ ve Ertuğrul ÜNVER**
*Ç.Ü., Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana,/Türkiye*

**ÖZET** : *Bu çalışma, CNC torna tezgahlarında programlama yapmanın kolaylaştırılmasını, hazırlanan parça programının tezgaha ait sınır parametrelerine göre optimizasyonunu sağlamaktadır. Tornalama işleminde oluşan iki ana kesme kuvveti BOXFORD CNC torna tezgahı ve diğer elemanlar kullanılarak ölçülmüştür. Kesme kuvvetleri matematiksel olarak analiz edilmiş ve optimum kesme şartları, hesaplanan bu kuvvetlere göre tespit edilmiştir.*

# THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF CUTTING PARAMETERS ON CNC TURNING MACHINES

**ABSTRACT:** *Objective of this study is to make use of easy programming of CNC lathes and to achive the optimization of part program prepared against the limiting parameters of the machine. Two main components of the cutting force during the turning operation have been measured by using BOXFORD CNC lathe and other equipments. The cutting forces have been analysed in mathematical form and the optimum cutting conditions have been determined according to the forces obtained.*

## 1. GİRİŞ

Bilgisayar destekli tasarım (CAD), bir tasarım probleminin girdi ve çıktılarının etkileşimli olarak sağlanmasını, problemin matematiksel bir tabana dayalı olarak ve bilgi bankası kullanılarak geliştirilmesini, seçilen tasarım kriterlerine göre modelin optimize edilmesini sağlar. Bilgisayar destekli imalat (CAM), tasarımı yapılan iş parçasının bilgisayar kontrollu NC veya CNC tezgahlarda işlenmesini içerir. İşlenecek parça elle veya robotlar kullanılarak tezgaha bağlandıktan sonra imalat işlemi başlamakta ve imalat, parça programına göre tezgah kontrol ünitesince gerçekleştirilmektedir (1, 2, 3, 4).

Bu çalışmada deney ve optimizasyon işlemlerinde Boxford 250 B CNC torna tezgahı kullanılmıştır. Tezgahın hassasiyeti x ve z eksenlerinde sırasıyla 0.0025 ve 0.0050 mm olarak verilmiştir. CNC torna tezgahında kaleme gelen kuvvetlerin ölçülmesi için iki adet kuvvet sensörü kullanılmıştır. Tüm parçanın işlenmesinde anlık kuvvet değişimleri iki ayrı çiziciden, kesme kuvveti-zaman diyagramları olarak elde edilmiştir. Daha sonra bu tablolar bilgisayarda değerlendirilmiş ve optimizasyon işleminde kullanılacak hale getirilmiştir. Kesme kuvvetlerine etki eden parametreler (kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği) arasındaki matematiksel bağıntı saptanarak verilere uygun denklemler çıkarılmıştır.

## 2. KESME İŞLEMİNDE KUVVET ANALİZİ

### 2.1 Kaleme Etkiyen Kuvvetler

Kesme işleminde üç ana kuvvetten bahsedilebilir. Bunlar $F_v$ teğetsel kuvvet, $F_f$ ilerleme kuvveti, $F_r$ radyal kuvvettir. Bu kuvvetler;

$$\begin{aligned} F_v &= A_v \; s^{b_v} \; a^{c_v} \\ F_f &= A_f \; s^{b_f} \; a^{c_f} \\ F_r &= A_r \; s^{b_r} \; a^{c_r} \end{aligned} \qquad (1)$$

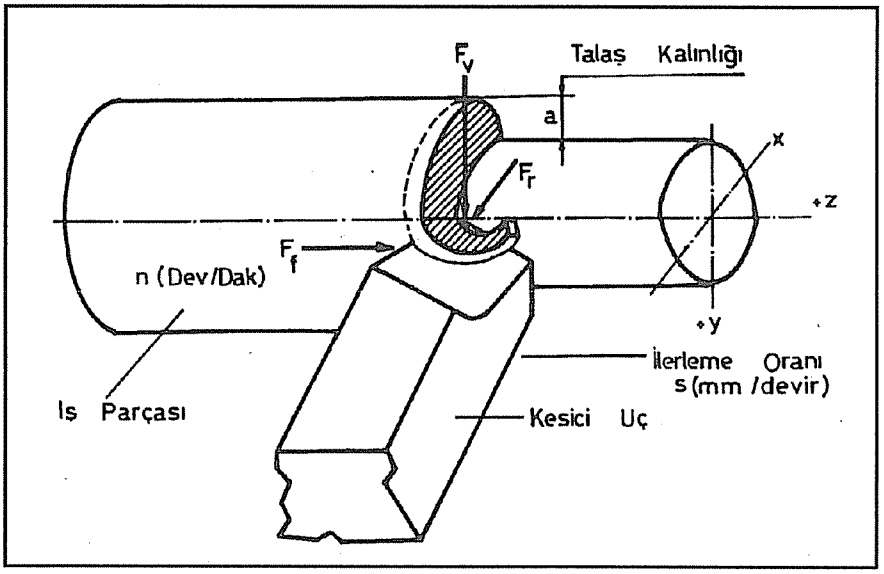
olarak ifade edilebilir (6). Burada $A_v$, $A_f$, $A_r$ kuvvet sabitlerini, $b_v$ , $b_f$, $b_r$ ve $c_v$ , $c_f$, $c_r$ ise üstel sabitleri, s ilerleme hızını ve a da kesme derinliğini göstermektedir. Şekil-1' de tornalama işleminde oluşan kuvvetler gösterilmiştir. Bileşke kuvvet ise

$$F_R = (F_v^2 + F_f^2 + F_r^2)^{1/2} \qquad (2)$$

olarak değerlendirilir.

Kesme hızı V, kalemin her turdaki ilerleme miktarı s, kesme derinliği a, kalemin iş parçasına yaklaşma açısı ve kalem ucu yuvarlaklığı kesmeyi etkileyen faktörlerdir. Teğetsel kuvvet $F_v$ fener milindeki moment dolayısıyla tezgah ana motor gücü için önemlidir. Bu kuvvet kalemi, düşey düzlemde eğilmeye ve burulmaya zorlar. Kalem

ilerleme kuvveti $F_f$ , eksenel yönlerdeki kuvvetlerin tespiti açısından önemlidir. Bu kuvvet kalemi yatay düzlemde eğilmeye ve burulmaya zorlar. Radyal kuvvet $F_r$, kalemi basmaya ve kalemin uzun olduğu durumlarda burkulmaya zorlar.




**Şekil 1.** Tornalama işleminde kuvvetler.

Kesme esnasında oluşan kuvvetlerin hesabı için teorik eşitlikler veya ampirik formüller kullanılmaktadır.

Kronenberg (5) karbonlu çeliklerde kesme kuvvetlerinin hesabı için

$$F = U\left(\frac{G}{5}\right)^{x} A^{y} \tag{3}$$

formülünü önermiştir. Burada U kesme kuvvet sabiti, G bir sabiti (talaş kalınlığı/ her turdaki ilerleme) ve A talaşın kesit alanını göstermektedir. x ve y malzeme cinsine bağlı katsayılardır.

Teğetsel kesme kuvvet bağıntısı olarak, karbonlu çelik-sinterlenmiş karbür malzeme çifti için,

$$F_v = 1874\ a\ s^{0.75} \tag{4}$$

formülü , hızdan bağımsız olarak ifade edilmiştir (6,7).

### 2.2 Geliştirilen Kuvvet Eşitlikleri

Bu çalışmada kesme kuvvetlerinin deneysel olarak tespit edilen değerleri, regresyon analizi kullanılarak eğri formunda ifade edilmiştir. Eğrilerin elde edilişinde kesme hızının etkisi de araştırılmış, kesme hızının kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlarda analizler yapılarak eşitlikler elde edilmiştir.

Deneylerde HSS ve sert maden uçlar kullanıldığından dolayı her kalem için ayrı kesme kuvvet formülleri oluşturulmuştur. Geliştirilen bu eşitlikler aşağıda verilmiştir.

HSS kesici uç için $F_v$ kesme kuvveti ifadeleri,

$$F_{v1} = 620.17\ a^{1.279}\ s^{0.568} \quad (5)$$

$$F_{v2} = 2440.6\ V^{-0.24}\ a^{1.22}\ s^{0.61} \quad (6)$$

şeklinde belirlenmiştir. $F_f$ ilerleme yönü kuvveti aynı malzeme için hızın kullanılmadığı ve kullanıldığı durumlar için

$$F_{f1} = 227.56\ a^{1.118}\ s^{0.025} \quad (7)$$

$$F_{f2} = 43.9\ V^{0.258}\ a^{1.124}\ s^{0.169} \quad (8)$$

olarak elde edilmiştir.

Sert maden uç malzeme için $F_v$ ve $F_f$ kuvvetleri sırasıyla;

$$F_{v1} = 270.4\ a^{0.86}\ s^{0.63} \quad (9)$$

$$F_{v2} = 1429.4\ V^{-0.24}\ a^{0.83}\ s^{0.46} \quad (10)$$

$$F_{f1} = 200.3\ a^{0.801}\ s^{0.213} \quad (11)$$

$$F_{f2} = 196.76\ V^{0.018}\ a^{0.807}\ s^{0.212} \quad (12)$$

olarak değerlendirilmiştir.

Geliştirilen formüllerde V kesme hızının kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlarda elde edilen formüllerin korelasyon katsayıları yaklaşık aynı değerde olup 0.9 civarındadır . Ayrıca kesme hızının üstel katsayısı da çok küçük değerlerdedir. Bu durumda kesme kuvvetlerinin hesabında V kesme hızının etkisi ihmal edilebilir. Geliştirilen optimizasyon programında kesme hızının kullanılmadığı formüller esas alınmıştır.

## 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 3.1 CNC Torna Tezgahı ve Kontrol Ünitesi

Deneysel çalışmada BOXFORD 250 B CNC torna tezgahı kullanılmıştır. Tezgahın

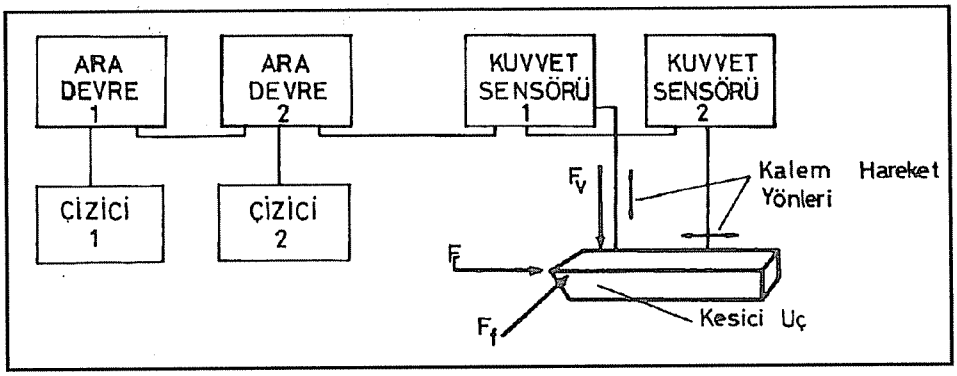
fener mili hızı, program boyunca 100 ile 3500 dev/dak arasında değiştirilebilmektedir. Ana motor AC, 3 fazlı ve 2.2 kW gücündedir. Tezgahta tabla x ve z eksenlerinde 200 mm hareket edebilmektedir. Bu eksenler boyunca boşta hareket için 3 m/ dk ve talaş kaldırma anında da 10 ile 999 mm/dk arasında ilerleme oranları kullanılabilmektedir. Tezgahın hassasiyeti x ve z yönlerinde sırasıyla 0.0025 ve 0.0050 mm olarak verilmiştir.

Tezgahta tüm işlemlerin kontrolu multiprosessör ana kart üzerinde gerçekleşmektedir. Tezgaha RS-232 portu üzerinden bir PC yardımıyla parça programı yüklemek de mümkündür. Ölçümle ilgili ek bilgiler önceki çalışmada detaylı olarak verilmiştir (6).

### 3.2 Donanım ve Ölçüm Metodu

Kaleme gelen kuvvetlerin ölçülmesi için iki adet kuvvet sensörü kullanılmıştır. Sensörler anlık olarak ölçtükleri kesme kuvvetlerini ara devreye göndermektedir. Ara devrede sayısal olan bu değerler 0-10 V arasında gerilime dönüştürülmektedir. Tüm parçanın işlenmesinde anlık kuvvet değişimleri iki ayrı çiziciden kesme kuvveti-zaman diyagramları olarak elde edilmiştir.

Şekil-2, ölçümde kullanılan elemanlarla ölçüm prensibini şematik olarak vermektedir. Kesme işleminde $F_V$ ve $F_f$ kuvvetleri deneysel olarak saptanmaktadır. Kuvvet ölçüm sensörleri ancak iki kuvvetin ölçümüne müsaade ettiklerinden, en küçük mertebedeki kesme kuvveti olan $F_r$ radyal kuvvetlerin ölçümü yapılmamıştır.




**Şekil 2.** Kesme kuvvetleri ölçüm elemanları.

Deneylerde malzeme olarak MKE-1040 çeliği, kesici uç olarak da HSS ve sert maden uçlar kullanılmıştır. Kesme işleminde kesici uç sabit tutulmuş, uç açılarının değişiminden kaynaklanan kuvvet değişimleri irdelenmiştir. Çalışmada kuvvet değerlerinin ölçümüyle birlikte, kesme derinliği, kesme hızı, ilerleme hızı gibi parametrelerin değiştirilmesi sonucunda kuvvetlerdeki değişimler araştırılmıştır.

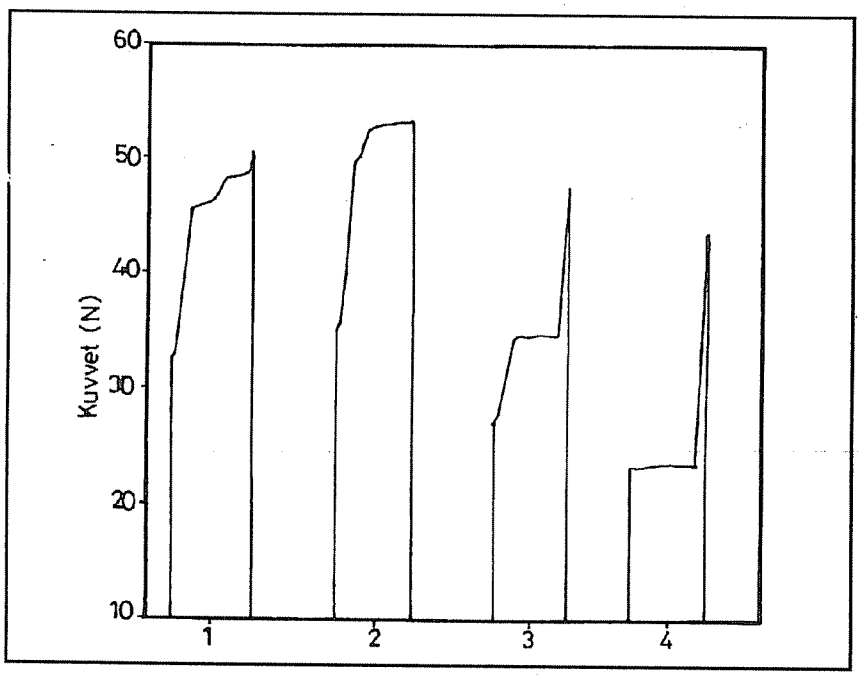
### 3.3 Deneysel Neticeler

Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi amacıyla çok sayıda deney yapılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan malzemeler ve özellikleri aşağıda özetlenmiştir:

Kesici Takım Malzemeleri:

- HSS kesici uç: Hız çeliği
  S 10 - 2 -3 -8
  % 10 W, % 2 Mo, % 3 V, % 8 Co
  kesme hızı 30-40 m/dk, çalışma sıcaklığı 600 °C, sertlik 65 RC
- Sert maden uç: Sinterlenmiş karbür
  % 60-90 W, % r...60 Tic ve Tac, % 5...17 Co
  Çalışma sıcaklığı 900 °C,
  kesme hızı 80 m/dk, sertliği 80-PO RA
  iş parçası malzemesi Ç 1040 çeliğidir.

Bu çalışmada, yürütülen deneylerden elde edilen sonuçlardan bazıları verilmiştir.

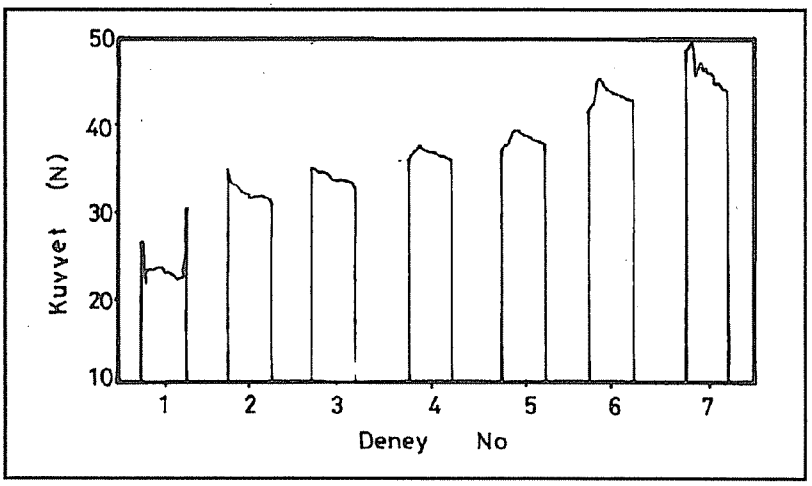



**Şekil 3.** HSS kesici uç için $F_V$ kuvveti.

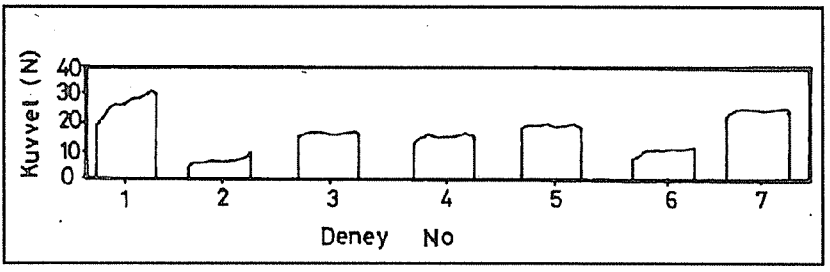
Şekil-3, $F_V$ kesme kuvveti ölçüm değerlerini HSS kesici kalem için vermektedir. Şekilde yatay eksende deney sayıları, düşey eksende ise ölçülen kuvvet değerleri N cinsinden kaydedilmiştir. Her deney için kaydedilen değerlerde grafiklerin genişliği deneyin yapılması için geçen süreyi göstermektedir. Grafiklerin üst kısmının düzgün

olmamasının nedeni, malzeme yüzey pürüzlülüğü, malzemenin homojen yapıda olmaması, malzemede mevcut çatlaklar ve mekanik ölçüm hatalarından kaynaklandığı kanaatine varılmıştır. Büyük dalgalanmaların veya ani kuvvet artışlarının sebebi ise, kalemin iş parçasına ilk temas anındaki ilk direnç ve iş parçasının işlenmesinin bitiminde oluşan büyük yüzey alanı olduğu tespit edilmiştir. $F_v$ kesme kuvvetleri 20 N ile 50 N arasında değişmektedir.

Şekil-4a seçilmiş 7 deneyde HSS kalem için kaydedilen Ff kuvvetinin değişimini vermektedir. Benzer şekilde sert maden uç için ölçülen Ff değerleri de Şekil-4b de özetlenmiştir.




a) HSS kesici uç.




b) Sert maden uç.

**Şekil 4.** Tornalamada

HSS ve sert maden uçlarla yapılan deneylerde sert maden uç kullanılarak kaydedilen değişimlerin daha düzgün olduğu görülmüştür. Sert maden uçla talaşın daha rahat aktığı gözlenmiştir. HSS kesici uçla yapılan deneylerde ise talaşın kısmen kalem ucuna yapıştığı ve deney sonuçlarını etkilediği belirlenmiştir.

Çizelge-1 de HSS kesici uç ile tornalamada örnek olarak seçilen 10 deneye ait kuvvet ve diğer kesme parametreleri gösterilmiştir. Yapılan deneylerde fener mili devir sayısı n, 700 dev/dk olarak sabit tutulmuştur. Kesme hızı V, devir sayısı ve işlenen parça yarıçapına bağlı olarak değişmekte, ilerleme hızı s, 1.11-2.86 mm/sn arasında değiştirilmiş, talaş kalınlığı a ise deneylerde yürütülen doğrudan ölçümlerden elde edilmiştir.

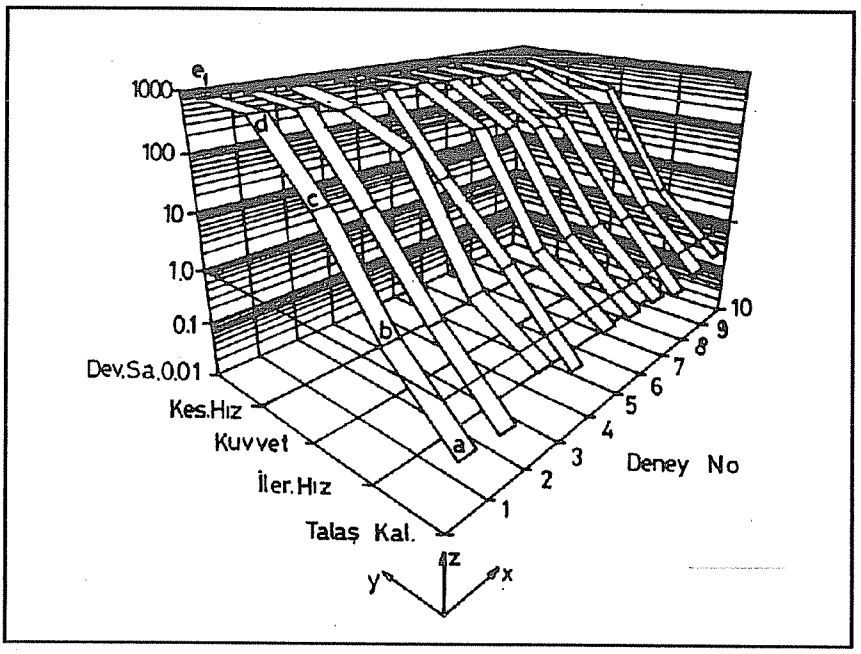
**Çizelge 1.** HSS kesici uç için $F_v$ kuvvet değeri.

| DENEY NO | DEVİR SAYISI Dev/Dk | KESME HIZI mm/s | KUVVET N | İLERLEME HIZI mm/s | TALAŞ KALINLIĞI mm |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 700 | 666.73 | 46 | 1.11 | 0.10 |
| 2 | 700 | 605.37 | 27 | 1.11 | 0.08 |
| 3 | 700 | 658.61 | 150 | 1.76 | 0.30 |
| 4 | 700 | 726.07 | 35 | 2.31 | 0.12 |
| 5 | 700 | 711.79 | 180 | 2.31 | 0.27 |
| 6 | 700 | 672.59 | 150 | 2.31 | 0.24 |
| 7 | 700 | 655.74 | 120 | 2.31 | 0.22 |
| 8 | 700 | 589.61 | 105 | 2.86 | 0.14 |
| 9 | 700 | 564.15 | 190 | 2.86 | 0.20 |
| 10 | 700 | 504.07 | 275 | 2.86 | 0.24 |

Şekil-5' de, aynı malzeme ve kalem çifti ile tornalama işleminde $F_v$ kesme kuvveti ile diğer parametrelerin değişimi üç boyutlu grafikte gösterilmiştir. Grafikte x koordinatı deney numarasını, y koordinatı sırasıyla talaş kalınlığı, ilerleme hızı, $F_v$ kesme kuvveti, kesme hızı ve devir sayısını toplu halde göstermektedir. z koordinatında ise bu parametrelerin değerleri logaritmik olarak gösterilmiştir. Her deneye ait kesme parametreleri kırık çizgilerle ifade edilmiştir. 1 nolu deneyde (a) noktası talaş derinliğini göstermektedir. Bu noktadan x eksenine inilecek dikmenin boyu z eksenine taşınırsa talaş derinliği 0.1 mm olarak okunabilir. Benzer şekilde b,c,d ve e noktaları üzerinde de işlemler yapılarak sırasıyla ilerleme hızı, kesme kuvveti (46 N), kesme hızı ve devir sayısı okunur.

## 4. TEORİK YAKLAŞIM SONUÇLARI

Bu çalışmada, kesme kuvvetlerinin deneysel olarak saptanan değerleri için en küçük kareler metoduna göre regresyon analizi yapılıp uygun eğriler elde edilmiştir. Belirlenen eğri formları için geliştirilen eşitlikler önceki bölümde verilmiştir. Deneylerde HSS ve sert maden uçlar kullanıldığından her kalem için ayrı kesme kuvvet



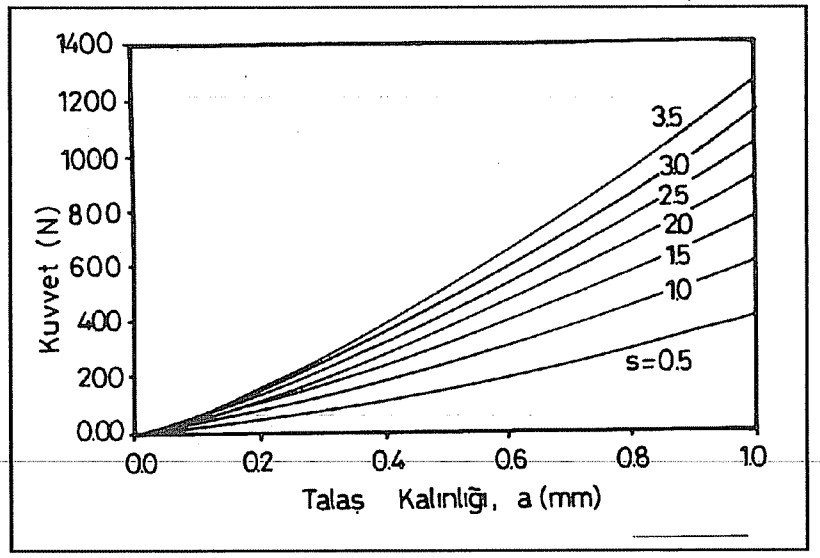

**Şekil 5.** HSS kesici ile tornalamada $F_v$ kesme kuvveti

formülleri oluşturulmuştur. Her kesici uç için kesme hızı V'nin kullanıldığı ve kullanılmadığı iki ayrı kuvvet formülü de elde edilmiştir.

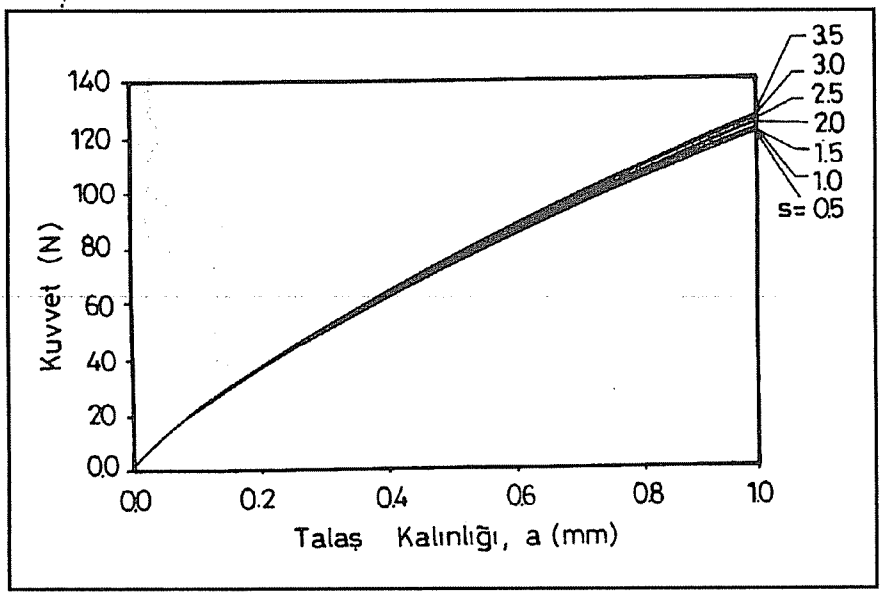
Kesme hızının kullanılmadığı hal ve HSS kalem için geliştirilen $F_{v1}$ formülü esas olmak üzere, kuvvet değişimi değişik ilerleme oranlarında Şekil - 6a' da verilmiştir. Talaş kalınlığı ile kesme kuvvetinin arttığı görülmektedir. İlerleme hızı s 0.5 - 3.5 mm/sn arasında değiştirilmiş olup ilerleme hızının artışı da kesme kuvvetini artırmaktadır. Talaş kalınlığı a, 0 - 1 mm arasında değiştirilmiştir.

Şekil- 6b ' de ise sert maden uç için geliştirilen kesme kuvveti ifadesinden ( $F_{v1}$ ) elde edilen kuvvet değerleri verilmiştir. Burada da s, 0.5 - 3.5 mm/sn arasında alınmış olup kuvvete etkisi ihmal edilebilecek seviyede gözlenmiştir. Talaş kalınlığının artışı beklendiği gibi bütün ilerleme oranlarında kuvveti artırmıştır. Talaş kalınlığı a = 0.4 mm, ilerleme hızı s = 0.5 değerlerinde $F_{v1}$ kuvveti yaklaşık 60 N olmakta iken, aynı talaş kalınlığında ilerleme hızı s =3.5 mm/sn olması halinde $F_{v1}$ kuvveti 62 N olabilmektedir. Talaş kalınlığı a = 1 mm iken maksimum kalem kuvveti 125 N ile 130 N arasında değişmektedir.

HSS kesici kalem kullanılması halinde, talaş kalınlığı a = 0.4 mm iken s = 0.5 mm/sn için $F_v$ değeri 100 N olurken, s = 3.5 mm/sn olduğunda $F_v$ değeri 400 N'a çıkmaktadır HSS uçla tornalamada kaleme gelen kuvvet daha geniş bir aralıkta değişme göstermektedir.




a) HSS kesici uç.



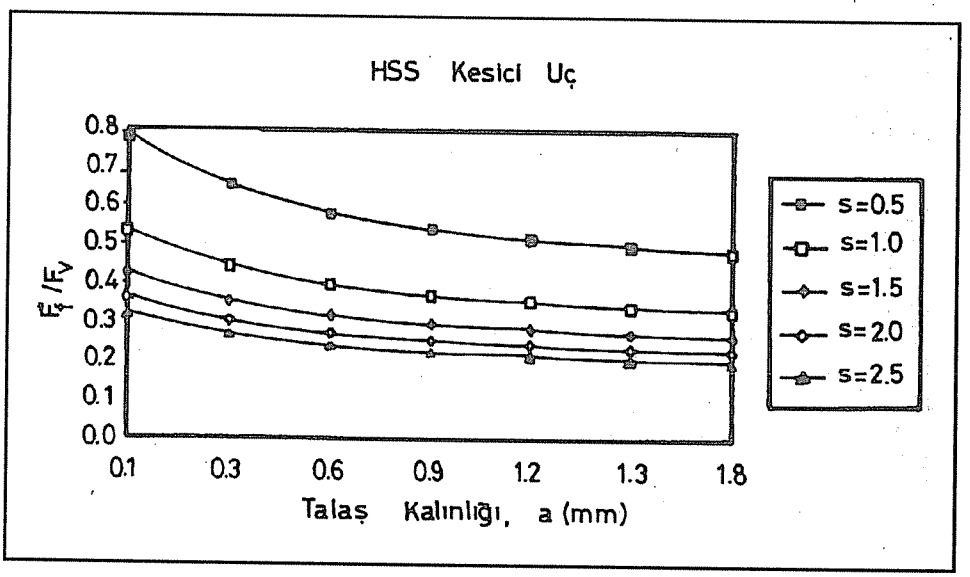

b) Sert maden uç.

**Şekil 6.** Kesme kuvveti ($F_v$) ile talaş kalınlığı değişimi.

Yapılan deneyler esas olmak üzere geliştirilen $F_v$ ve $F_f$ kuvvet eşitlikleri, tornalamada oluşan kesme kuvvetlerini tahmin etmede kullanılabilecek teorik eşitlikler olarak

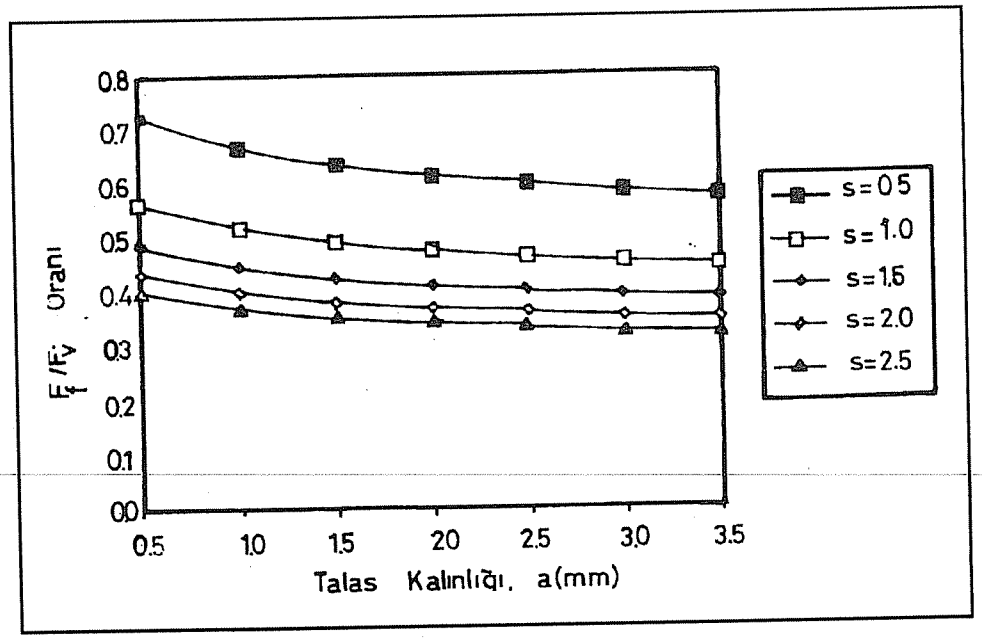
değerlendirilebilir. Ancak bu kuvvet eşitlikleri, belirtilen işletme şartlarında (kalem açıları, kalemin iş parçasına yaklaşma açısı, kalem ve malzeme özellikleri) geçerlidir. Bu kuvvet eşitlikleri ayrı ayrı değerlendirilerek $F_f / F_v$ oranı değişik talaş derinliği ve ilerleme oranlarında incelenmiştir.

Şekil-7 HSS kesici uç ile yapılan tornalamada $F_f$ / $F_v$ oranının talaş kalınlığı ile değişimini vermektedir. Talaş kalınlığının artması ile bu oranın azaldığı, ilerleme hızı s'nin artması ile de azaldığı görülmektedir. Seçilmiş bir ilerleme oranında küçük talaş kalınlıklarında kuvvetler oranındaki azalış hızlı olurken, belirli bir talaş kalınlığından sonra (yaklaşık 0.9 veya 1 mm) değişim çok yavaş olmakta hatta büyük ilerleme oranlarında sabitleşmektedir.

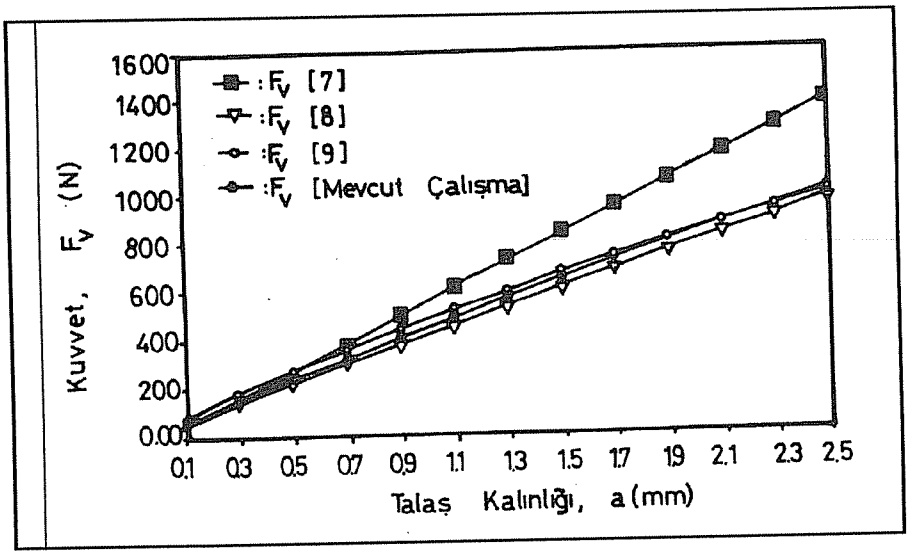



**Şekil 7.** HSS kesici uç için $F_f / F_v$ oranı

Şekil - 8'de sert maden uç ile yapılan deneylerde $F_f$ / $F_v$ kuvvvetler oranının değişik kesme parametrelerinde nasıl değiştiği görülmektedir. Burada a talaş kalınlığı 0.5-3.5 mm arasında değiştirilmiştir. HSS neticelerine benzer davranış burada da görülmektedir. Sanayi tipi tezgahlarda kaba talaş almada talaş derinliği ve ilerleme oranlarının ortalama değerlerinin bu şekillerde verilen maksimum değerlere tekabül etmesi nedeniyle $F_f / F_v$ oranının bahsedilen kesme şartlarında HSS uç için 0.2 ve sert maden için 0.35 mertebesinde olduğu söylenebilir.$F_v$ ve $F_f$ kuvvetlerinin diğer araştırıcıların çalışmalarından elde edilen değerlerle karşılaştırması da yapılmıştır. Şekil-9, üç araştırmacının (7, 8, 9) çalışmalarından elde edilen Fv kuvveti ile mevcut çalışmadan tahmin edilen Fv kuvvetinin karşılaştırmasını vermektedir. Şekilde ilerleme




**Şekil 8.** Sert maden kesici uç için $F_f / F_v$ oranı

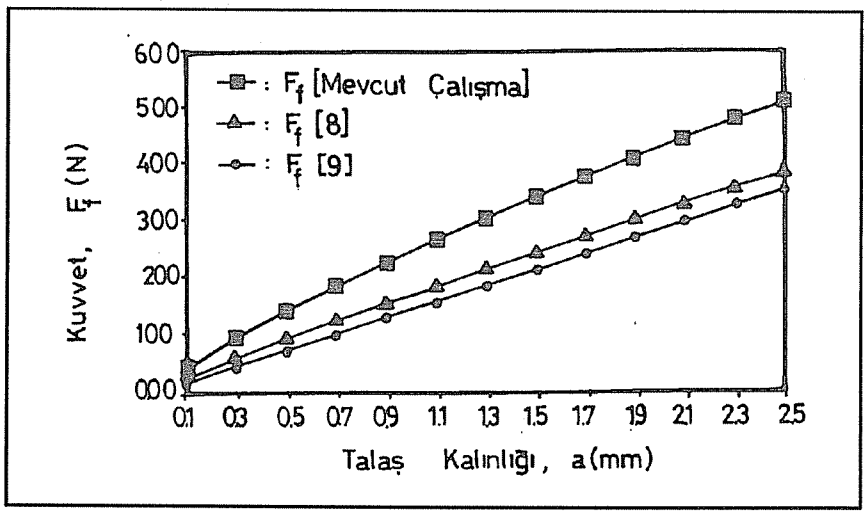



**Şekil 9.** Sert maden uç için $F_v$

oranı 0.2 mm/dev olarak sabit tutulurken, talaş kalınlığı 0.1-2.5 mm arasında değiştirilmiştir. Bu çalışmada elde edilen $F_v$ kesme kuvveti değerleri ile iki

araştırmacının çalışmalarından elde edilen kuvvet değerleri uyum göstermekte olup çok az sapmalar izlenmiştir. Ancak Kaczmarek (7) tarafından elde edilen eğrinin, özellikle büyük talaş derinliklerinde daha büyük değerler verdiği görülmektedir. Bununla birlikte 0.1 - 0.5 mm talaş derinliği aralığında kesme kuvvet değerlerinin birbine yakın olduğu belirlenmiştir.

Şekil-10 sert maden uç ile tornalamada bu çalışmada elde edilen $F_f$ kesme kuvvetleri ile diğer iki araştırıcının elde ettiği kuvvetlerin karşılaştırmasını göstermektedir. Burada da s ilerleme hızı 0.2 mm/dev olarak sabit alınmıştır. Bu çalışmada geliştirilen $F_f$ ifadesinin verdiği $F_f$ kesme kuvveti değeri, bütün talaş kalınlıklarında, diğer iki araştırıcının (8, 9) geliştirdiği formüllerden elde edilen kesme kuvveti değerlerinden daha büyük olmaktadır. Bu durum, malzeme ve kesici uç özelliklerinin tam olarak birbirine uygun olmaması, kalem uç açılarının her araştırmada ayrı seçilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu eğrilerde kıyaslamanın yapılabilmesi için s ilerleme hızının birimi mm/ dev'e dönüştürülmüştür.




**Şekil 10.** Sert maden uç için $F_f$ kuvveti.

## 5. İRDELEME VE SONUÇ

HSS ve sert maden uç için kesme kuvvetleri a talaş derinliği ve s ilerleme oranının fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Talaş kalınlığını ifade eden a'ya ait üstel katsayı en yüksek mertebede olup kesme kuvvetlerini en fazla etkileyen parametrelerin talaş kalınlığı olduğu varsayımını doğrulamaktadır. Elde edilen formüllerle birlikte kalem ömrü için genişletilmiş Taylor formülüne ait katsayılar da belirlenerek simülasyon ve optimizasyon programında kullanılmıştır (6, 10, 11). Optimizasyon programında tezgaha ait motorların gücü ve dolayısıyla motorların sağlayabileceği maksimum

kuvvet ile kesme anında oluşan kuvvetler arasında karşılaştırma yapılmaktadır. Motorlara parça işlenmesinden dolayı etki eden $F_v$ ve $F_f$ kuvvetleri toplam motorların sağlayabileceği kuvvetlere oranlanmış ve boyutsuz katsayılar elde edilmiştir. Bu katsayıların birbirine yakın değerler alması için hazırlanan program kesme parametrelerini değiştirebilmektedir.

Kesme kuvvet analizi şu anda HSS ve sert maden uç için gerçekleştirilmiştir. CNC torna tezgahlarında bu malzeme ve kesici uç çiftinin yanında diğer kalem-malzeme ve kesici uç çiftleri için kesme kuvvet formülleri elde edilmeli ve programa eklenmelidir. Bu çalışmada kesme kuvvetlerinin iki bileşeninin belirli bir toleransta ölçülmesi sağlanmıştır. Bunun için Boxford CNC torna tezgahı üzerinde doğrudan ölçümlerin yapılabildiği bir düzenek hazırlanmış ve kuvvet ölçüm deneyleri yapılmıştır. Geliştirilen teorik yaklaşım formüllerinden elde edilen $F_v$ ve $F_f$ kuvvet değerleri diğer araştırıcıların önerdiği değerlerle karşılaştırılmış ve iyi bir uyum içinde olduğu gözlenmiştir.

Kesme kuvvetleri ile birlikte talaş kalınlığı, ilerleme oranı, çevresel hız, işlem yapılan iç ve dış çap, işlem süresi, istenen parça boyu ve devir sayıları da tablolar halinde oluşturulmuştur. HSS ve sert maden kesici uçlar için çalışmada elde edilen formüller (hızdan bağımsız olarak)

$$F_{vhss} = 620\ a^{1.279}\ s^{0.568} \quad (13)$$

$$F_{fhss} = 228\ a^{1.118}\ s^{0.025} \quad (14)$$

$$F_{vsert} = 270\ a^{0.86}\ s^{0.63} \quad (15)$$

$$F_{fser} = 200\ a^{0.801}\ s^{0.213} \quad (16)$$

şeklindedir. Bu ifadelerle seçilen malzeme çiftleri ve işletme şartlarında kaleme etki eden kesme ve ilerleme kuvvetleri teorik olarak tahmin edilebilmektedir.

## 6. KAYNAKLAR


1. *Albertson, B., Gusttafsson, C.O., CAD and Its links to CAM, A case History, 26 th Int.Mach. Tool Des. and Res. Conf., 3-10, Manchester, 1986.*

2. *Besant,C.B., Ristic, M., Manufacturing Systems, Integrated Manufacturing systems, 190-195, Oct.1990.*

3. *Groower,M.P., Zimmers,E.W, CAD/CAM;Computer Aided Design and Manufacturing, USA, 1984.*

4. *Pressman,R.S., Williams,J.E., Numerical Control and Computer Aided Manufacturing, University of Bridgeport, University of Connecticut, USA , 1977.*

5. *Kronenberg,M., Machining Science and Application, Theory and Practice for operation and Development of Machine processes, Permagon Press, 3-23, 1966.*

6. *Ünver,E., CNC Torna Tezgahlarında Kesme Parametrelerinin Teorik ve Deneysel Analizi - Parça Program Optimizasyonu, Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana, Haziran 1994.*

**7.** *Kaczmarek,J.V., Principles of Machining by Cutting, Abrasion and Erosion, Peregrinus Ltd, 1976.*

**8.** *Greaney, J., Cutting Forces in Turning, MSc Thesis, UMIST, Manchester, 1982.*

**9.** *Arsecularatne, J.A., A prosess monitoring system to optimize cutting conditions in Turning, PhD Thesis, UMIST, 1990.*

**10.** *Oraby,S.E., Hayhurst,D.R., Development of models for Tool wear force Relationship in metal cutting, Int., J. Mech. Sci., Vol 33, No 2, 125-138, UK, 1990.*

**11.** *Akkurt, M., Nümerik Kontrollu Tezgahlar ve Sistemler, Asilteknik Yayın,No 1, İstanbul, 1986.*

ISSN 1019-1011

| Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ | | Haziran/Aralık | 1995 | Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH. | |
|---|---|---|---|---|---|
| *CİLT 10* | *SAYI 1-2* | June/December | | *VOL.10* | *NO.1-2* |


# EFFECT OF OZONATION ON BIODEGRADABILITY OF SUBSTITUTED AROMATIC COMPOUNDS

**Şermin GÜL, Osman SERİNDAĞ and Hamit BOZTEPE**
*Ç.U., Chemistry Department, Adana/Türkiye*

**ABSTRACT :** *Investigation of behaviour of aromatic compounds in water is of great interest since such compounds exist in industrial wastewater. In this study six subtituted aromatic compounds; aniline, benzoic acid, p-aminobenzoic acid, p-aminobenzenesulfonic acid, p-tolunesulfonic acid and nitrobenzene have been selected as model water-pollutant and the aqueous solutions of these compounds have been ozonated. The ozonated solutions have been investigated in terms of various parameters such as ozone consumption, elimination percent and elimination rate of initial compounds, chemical oxygen demand (COD) and biodegradability ($BOD_5/COD$).*

## OZONLAMANIN SUBSTİTUE AROMATİK BİLEŞİKLERİN BİYOLOJİK PARÇALANABİLİRLİKLERİNE ETKİSİ

**ÖZET :** *Endüstriyel atık sularda bulunmalarından dolayı aromatik bileşiklerin sudaki davranışlarının araştırılması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada altı adet substitue aromatik bileşik model kirletici olarak seçilerek bunların sulu çözeltileri ozanlanmıştır. Ozonlanmış çözeltiler ozon harcanması, baslangıç maddesinin azalma yüzdesi ve hızı, kimyasal oksijen gereksinimi (COD) ve biyolojik parçalanabilirlik ($BOD_5/COD$) gibi parametreler açısından incelenmiştir.*

## 1. INTRODUCTION

In the recent years, ozonation processes have been focused on industrial waste water treatments such as textile, agricultura, paper industries whereas the early processes dealt with ozonation of drinking water to improve of drinking water to improve water quality. Ozonation widely used in Europe and increasingly in the USA, is one of the methods that gives better results in the degradation of aromatic compounds. The aromatic compounds that are used in a number of industrial processes such as the manufacture of chemical solvents, pesticides, polymers, explosives and many other product every day use can pose a health hazard and have been designated a priority pollutants by the US. EPA (1)

One of the primary goals of water treatment is the removal of biologically non-degradable and toxic substances. Ozonation is the most effective method among the well-known oxidation processes to degrade compounds which are resistant to biological degradation (2, 3). Ozonation in water makes such compounds more amenable to bacteriological breakdown producing oxygenated products and enhances their biodegradabilities. The ability of ozone to reduce the chemical oxygen demand (COD) and biochemical oxygen demand (BOD) of wastewaters in the evaluation of biodegradability have been discussed by many researchers (4-6).

The factors affecting biological degradability are divided into the following three groups by Pitter (7):

1. physico-chemical factors (temperature, solubility, degree of dispersion of the compound in the medium, pH, dissolved oxygen),
2. chemical factors (size of molecule, length of chain, kind, number of position of substituents in the molecule, stereochemistry),
3. biological factors (toxicity of the compound, history of the microbial culture, its age, manner and time of its adaptation, effect of other substrates).

## 2. EXPERIMENTAL

Ozone was produced in a Fisher 501 Ozone Generator fed with dried oxygen. Ozonation reactions were carried out in a 1.1 L glass reactor by passing ozone gas with the speed of 5 mg $O_3$ $min^{-1}$. $L^{-1}$ at room temperature. The initial concentrations of the aromatic compounds were prepared as 1 mmol. $L^{-1}$ and the pH values of these solutions were measured on a pH meter without any adjustment. The ozone consumption was estimated by substracting the mass of excess ozone from the mass of generated ozone. The mass of both generated and excess ozone were determined by the ozone gas through the 2 % potassium iodide (KI) solution buffered to pH= 7 in serially connected wash-bottles. The potassium iodide solution which was oxidized by ozone to give iodine, was then titrated with standardized decinormal sodium thiosulfate solution.

Benzoic acid, p-amino benzoic acid (paba), p-aminobenzenesulfonic acid (sulfanilic

acid), p-toluene sulfonic acid (ptsa), aniline and nitro benzene were used as purchased from Merck. Elimination of the initial compounds was measured using a LKB UV-Vis spectrophotometer in the range of 200-400 nm by taking 1 mL of sample solution from the reactor at the certain time interval.

Chemical oxygen demand (COD) and biological oxygen demand in 5 days ($BOD_5$) were determined according to Standart Methods (8).

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

The ozonation reactions of various substituted aromatic compounds show that the effect of ozone on the degradability of aromatics depends upon the substituents on the aromatic ring as shown in Figure 1.

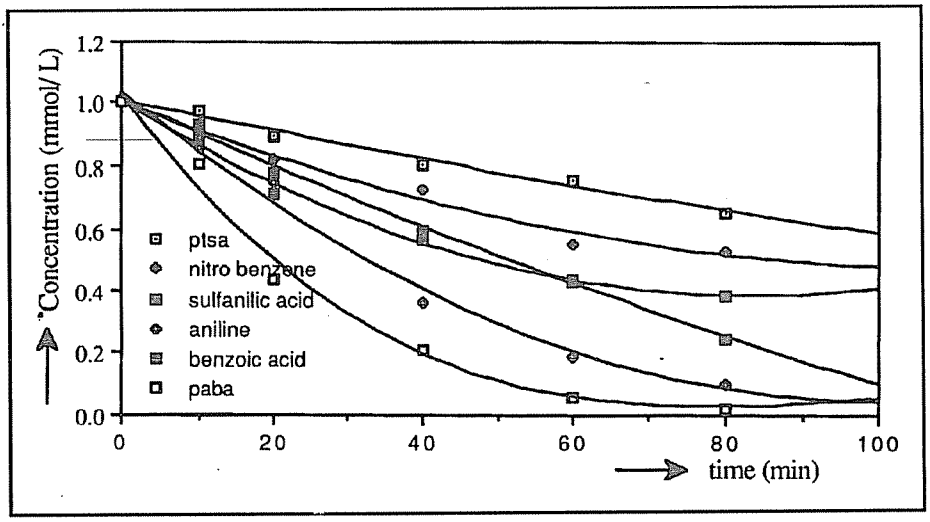



**Figure 1:** Degradability of subtituted aromatic compounds by ozone.

The experimental results are in agreement with those of reported studies (9, 10). In order to compare the results of the selected compounds with each other, elimination rates were determined from linear plots of log[concentration] vs. ozonation time, Fig.2. Elimination percent of initial compounds versus ozonation time is given in Figure 3.

The greatest decrease at initial concentration among the compounds is observed in paba as 93 % and aniline followed the paba with the decrease of 90 %.

The reactivity rate and elimination percent of the compounds have been found in decreasing order as follow:

p-aminobenzoic acid > aniline > benzoic acid > p-aminobenzenesulfonic acid > nitrobenzen > p-toluenesulfonic acid.

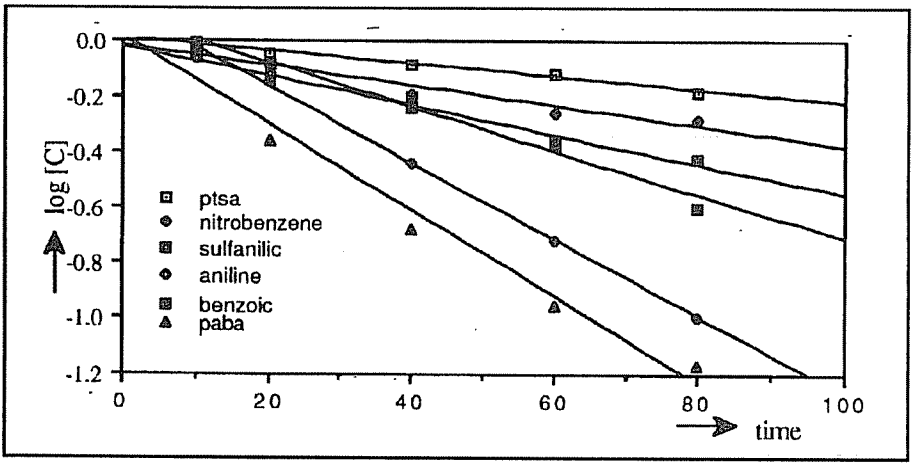



**Figure 2:** Elimination rates of substituted aromatic compounds by ozone

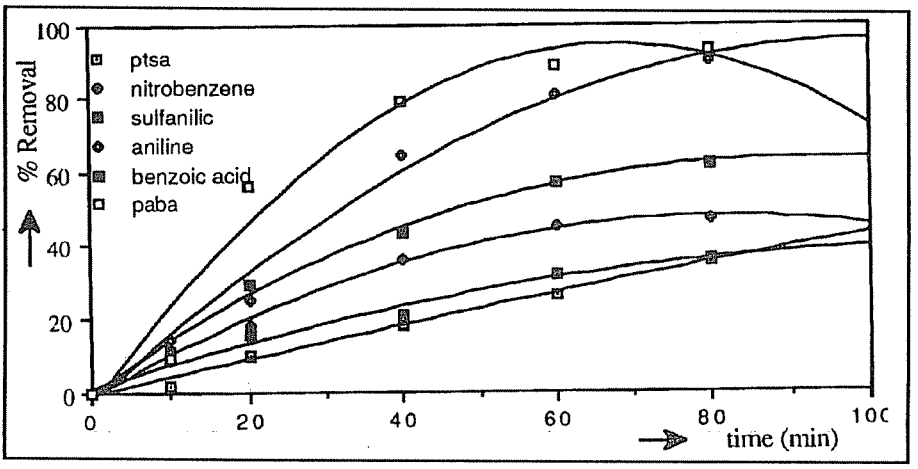



**Figure 3:** % Removal of substituted aromatic compounds.

The results of the studied compounds indicate that introduction of an electron donor group such as methyl ($-CH_3$) or amine ($-NH_2$), considerably increases the reactivity of aromatic ring whereas the electron acceptor group such as nitro ($-NO_2$) or sulfo ($-SO_3H$) groups, decrease the reactivity of the aromatic ring.

Elimination of the aromatic amines, such as aminobenzene and p-aminobenzoic acid (paba), are achieved with an ozone consumption of 26-33 mmol $O_3$ per mmol aromatic amines which are higher than other substituted aromatics listed in Table 1. On comparision with the others, the eliminations of nitrobenzene and p-toluenesulfonic acid (PTSA) have been found to slow with the ozone consumption of 2.45 and 2.03

mmol $O_3$ per mmol of concentration of the studied compounds and the elimination percents were 35 and 47, respectively.

Biological degradability of compounds is performed as a function of COD with ozonation time. The degree of the biodegradability is given by the ratio of $BOD_5$ to COD. The biodegradabilities of the selected compounds at the end of the ozonation process are also listed in Table 1. The results have shown that biological degradabilities of the compounds depend on both the initial structure of compound and by products of ozonation reaction. Therefore, a remarkable changes in COD between the initial COD and the final COD values has not been observed as shown in Figure 4. After 80 minute ozonation time, only amine substituted aromatics (paba, aminobenzene, sulfanilic acid) are observed with higher reduction in COD (greater than 50 % ) which corresponds well biodegradability. Aromatic compounds containing nitro, carboxyl and sulfo groups show less COD reduction (35.86-42.53 COD%) whereas the biodegradabilities of these compounds have been found high due to the ozonation products which contain small organic molecules. The results are consistent with the reported studies (11, 12, 13).

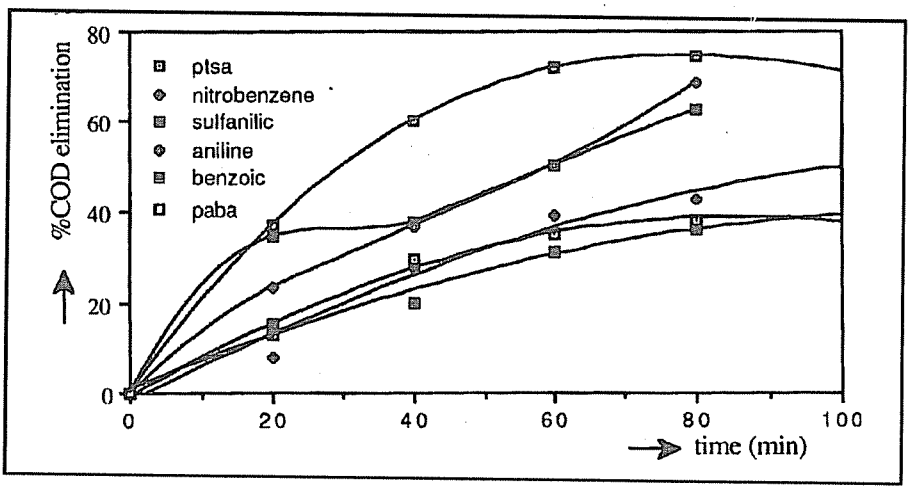



**Figure 4:** % COD elimination of selected aromatic compounds during the ozonation.

## 4. CONCLUSION

It has been observed that among the selected compounds the amine subtituted aromatic rings require less ozonation time than the others with the exception of sulfanilic acid of which degradation time is increased due to the sulfonic acid group on the ring. The elimination rates of amines, therefore, are found tenfold greater than the others. The percentage of the change in COD has been found in correlation with the observed elimination rates of amine. The experimental results also showed that the

**Table 1.** Ozonation of Substituted Aromatic Compounds.

| Compound | Initial pH | time (min) | [a]$O_3$ Consumption | Elimination % | Elimination rate mmol $L^{-1}$ $min^{-1}$ | [b]$COD_0$ mg $L^{-1}$ | ΔCOD (%) | $BOD_5$ | $BOD_5$/COD |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aniline | 7.19 | 80 | 33 | 90 | 0.0138 | 227 | 68.57 | 92.4 | 1.05 |
| Benzoic acid | 3.51 | 80 | 5.16 | 75 | 0.00790 | 237 | 35.86 | 133.46 | 0.878 |
| PABA | 3.88 | 80 | 26 | 93 | 0.0156 | 224 | 74.65 | 78.48 | 1.09 |
| Sulfanilicacid | 3.22 | 80 | 5.31 | 62 | 0.00526 | 232 | 62.50 | 100.05 | 1.15 |
| PTSA | 2.98 | 80 | 2.03 | 35 | 0.00232 | 272 | 38.24 | 53.76 | 0.32 |
| Nitrobenzene | 6.58 | 80 | 2.45 | 47 | 0.00359 | 174 | 42.53 | 70.0 | 0.70 |

**a:** $O_3$ Consumption is given as mmol $O_3$/mmol Aromatic compound
**b:** COD is chemical oxygen demand of the aromatic compound at initial concentration

biodegradability of ozonation product containing small organic fragments increases with the higher ozone consumption.

## 5. REFERENCES


1. *Wang,Y.T., Methanogenic Degradation of Ozonation Products of Biorefractory of Toxic Aromatic Compounds. Wat. Res., 24, 185-190, 1990.*
2. *Calvosa,L., Monteverdi,A., Rindone,B. and Riva,G., Ozone Oxidation of Compounds Resistant to Biological Degradation, Water Res., Vol.25, No.8, 985-995, 1991.*
3. *Oxidation Techniques In Drinking Water Treatment, EPA-570/9-79-020, 1979.*
4. *Gilbert,E., Zinecker, H., Ozonation of Organic Amines in Water, Ozone: Science and Engineering, Vol.2, 65-74, 1980.*
5. *Gilbert,E., Biodegradability of Ozonation Products as a Function of COD and DOC Elimination by Example of Substituted Aromatic Substances, Water Res., Vol.21, No.10, 1273-1278, 1987.*
6. *Pottenger,L.H., Gilbert,E., Block,J.C. and Hartemann,P., Variations in Cytotoxicity during Ozonation of Substituted Aromatics, Ozone: Science and Engineering, Vol.2,25-37, 1980.*
7. *Pitter,P., Determination of Biological Degradability of Organic Substances, Water Res., Vol.10, 231-235, 1976.*
8. *Standart Methods for the Examination of Water and Waste Water, 1980. 15th ed., APHA-AWWA-WPCF.*
9. *An Assesment of Ozone and Chlorine Dioxide Technologies for Treatment of Municipal Water Supplies, EPA-600/ 2-78-147, August, 1978.*
10. *Gürol,M.D. and Nekouinaini,S., Kinetic Behavior of Ozone in Aqueous Solutions of Substituted Phenols, Ind. Eng. Chem. Fundam., Vol.23, 54-60, 1984.*
11. *Gilbert,E., Reactions of Ozone with Organic Compounds in Dilute Aqueous Solutions. Identification of Their Oxidation Products. Proceedings of a Conference held in Cincinnati, Ohio, November 17-19, 1976.*
12. *Joy, P., Gilbert, E. and Eberle,S.H., A quantitative Investigation of the Reaction of Ozone with P-toluenesulfonic Acid in Aqueous Solution as a Model Compound for Anionic Detergents, Water Res., Vol.14, 1509-1516, 1980.*
13. *Boztepe,H., P-Toluen Sulfonic Asidin (PTSA) sabit pH'da ozonlanması ve Oluşan Parçalanma Ürünlerinin Tayini, Doğa Bilim Dergisi, Cilt 8, No. 2, 1984.*

ISSN 1019-1011

| Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ | | Haziran/Aralık | 1995 | Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH. | |
|---|---|---|---|---|---|
| *CİLT 10* | *SAYI 1-2* | June/December | | *VOL.10* | *NO.1-2* |


# TOXICITY MEASUREMENT OF SULPHUR BLACK 1, SULPHUR BLUE AND SULPHUR BROWN 5 TEXTILE DYES

**Şermin GÜL and Selahattin SERİN**

*Ç.U., Chemistry Department, Adana / Turkey*

**ABSTRACT:** *Taking the protection of environment into consideration, our research has led to investigate toxicities of some sulphur dyes synthesized in our laboratories, such as Sulphur Black 1 (CI 53 185), Sulphur Blue (CI 53 235) and Sulphur Brown 5 (CI 53 245). Toxicity test method used in this work, is based on the resazurin reduction by microbial dehydrogenase of test organism Pseudomonas putida. According to the toxicity test results ($IC_{50}$), toxicity levels of the sulphur dyes (between 42.5 mg/L - 74.0 mg/L ) are considered hazardous to environment with the low biodegradability rates (between 10% - 20% ).*

# SÜLFÜR SİYAH 1, SÜLFÜR MAVİ VE SÜLFÜR KAHVERENGİ 5 TEKSTİL BOYARMADDELERİNİN TOKSİSİTE TAYİNİ

**ÖZET:** *Çevrenin korunması düşüncesi, çalışmalarımızı laboratuvarda sentezlediğimiz sülfür siyah 1(CI 53 185), sülfür mavi (CI 53 235) ve sülfür kahverengi 5 (CI 53 245) boyarmaddelerinin toksik etkilerini araştırmaya yönlendirmiştir. Kullandığımız toksite test yöntemi test organizması Pseudomonas putida'nın dehidrojenaz enzim aktivitesi ile resazurinin indirgenmesi prensibine dayanmaktadır. Toksisite test sonuçları, sülfür boyaların toksisite değerlerinin ($IC_{50}$) (42.5 mg/L- 74.0 mg/L) düşük seviyedeki biyolojik parçalanabilirlikleriyle (%10-%20 arasında) ilişkili olarak çevreye zararlı düzeylerde olduğunu göstermektedir.*

## 1. INTRODUCTION

In recent years a growing concern has been expressed about chemicals because of their possible effects on environment. In addition to substantial organic contamination, many industrial wastes are highly colored. Dyeing and finishing wastes of textile industry are characteristically high in both color and organic content (1). Practical resolution of the conflicting interests requires accurate toxicological information. The main principle which toxicity investigation based upon, is to determine the functional and structural changes in organism qualitatively and quantitatively (2). So far, the simplest and the most practical method of measuring chemical pollution by microorganisms is the standart biochemical oxygen demand (BOD) test (3). Development of methods using bacteria showed that microbial tests have the advantages of speed and ease of performance (4). Since P. putida is the most efficient bacterium of activated sludge, it is environmentally of significance and importance in wastewater treatment processes (5). Toxicities of substances are expressed as $LC_{50}$ (Concentration that is lethal to 50 % of population) or $IC_{50}$ (Concentration 50 % effective in inhibition of some biological function) values (6).

Since the aromatic azo and sulpho groups are not synthesized naturally, sulphur dyes are considered to be xenobiotics. Sulphur dyes are obtained by heating a variety of organic compounds with sulphur or alkali polysulphides. This process known as sulphurisation or thionation, the chemical constitution of products are unknown. A structural formula cannot be assigned like most of the other dyes and it is not even possible to assign a precise chromophore (7).

However, the researches carried out by Grehm and Kaufler (8),Weinberg (9), Fierz-David and co-workers (7) and Zerweck and co- workers (7) on the chemical characterisation of representative sulphur dyes have shown that some of the most important commercial types contain ring structures of thiazole (I), thiazone (3H-isophenothiazin-3-one) (II), or thianthrene (III) types as chromophores (Figure1).

A significant part of the total sulphur is attached to the aromatic ring in the form of disulphide or disulphoxide bridges. These linkages are converted to -SNa groups which forms water soluble Vat dyes, in the sodium sulfide solution. These dyes form initial sulfides by oxidation in air (10).

## 2. EXPERIMENTAL

### 2.1. Synthesis of the Sulphur Dyes

Sulphur Black 1 (Color Index 53185), Sulphur Blue (Color Index 53235) and Sulphur Brown 5 (Color Index 53245) were synthesized according to the procedures of Tarsus Dye Factory and to the literature which include thionation of 2,4-dinitrophenol for Sulphur Black 1 (11, 12), thionation of p-(2,4-dinitroanilino) phenol for Sulphur Blue (10) and thionation of aminoxyphenazin that prepared by the reduction of p-(2,4-dinitro anilino) phenol, for Sulphur Brown 5 (10).

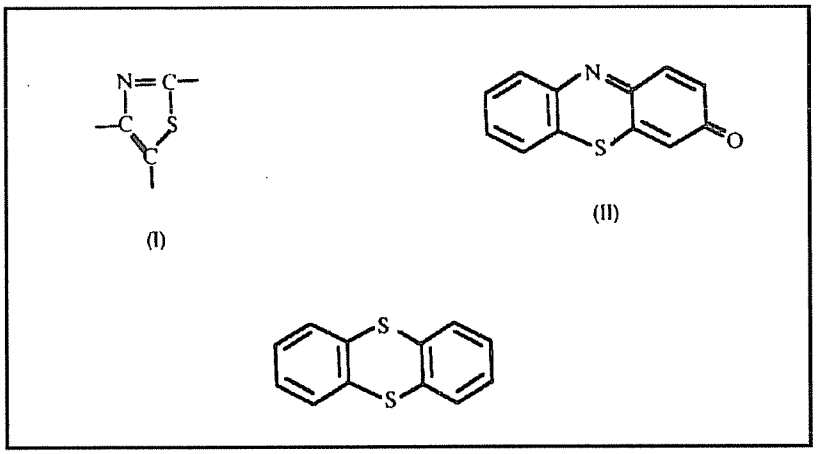



**Figure 1.** Structures of thiazole(I), thiazone(II) and thiantrene(III).

Stock solution of each dye was prepared by dissolving 1 g of synthesized sulphur dye and 3 g of $Na_2S$ (35 % w/w) in 160 ml of distilled water.

**2.2. Reagents of toxicity test method**

Resazurin solution was prepared by dissolving 75 mg Resazurin in 1 liter of distilled water. Imidazol buffer was made up by dissolving 6.8 g of imidazol in 1 liter of distilled water and the pH was adjusted to 6.3 with 0.1 N hydrochloric acid. Borate buffer was prepared by dissolving 3.8 of sodium tetraborate in 1 liter of distilled water and the pH was adjusted to 11.0 with 0.1 N sodium hydroxide solution.

**2.3. Measurement of toxicity**

The lyophilized DSM-50026 strain of *P. putida* was purchased from German Collection of Microorganisms and Cell Cultures (DSM-GmbH). Bacteria were grown on Standart 1 nutrient agar (approximatelly 18 h ) at 26 °C. Prior to the experiments, the culture was transferred into a flask containing fresh Standart 1 nutrient broth. After overnight growth ( 16± 2h) on a shaker at 21°C, 0.1 ml of the culture was transferred into another flask containing fresh medium.The transfer was repeated until an active culture was established. The effect of dye on the culture was determined by the following scheme:

A: Reagent Control: 5 ml distilled water + 0.5 ml imidazol buffer + 1 ml resazurin solution

B: Blank sample : 5.5 ml borate buffer + 1 ml resazurin solution

C: Sample : 5 ml solution + 0.5 ml imidazol buffer + 1 ml resazurin solution.

The experiments were carried out in standart 2x15 cm test tubes at 37 °C in a water-bath 0.5 ml of culture was added to each tube to start the reaction. After an incubation of 75 min, 1 ml borate solution was rapidly added to each tube to stop the reaction. Samples were centrifuged at 4000 rpm for 5 min and absorbance of each sample was measured on the spectrophotometer (model Shimadzu UV-2101 PC) at 615 nm (the maximum absorbance of unreduced resazurin).

Toxicity to the P. *putida*, expressed as % inhibition of dehydrogenase activity, of the sample was calculated using the following equation:

$$I\,\% = \frac{(B - A) - (B - C)}{(B - A)} \times 100$$

Where A : absorbance of the reagent
B : absorbance of the blank
C : absorbance of the sample

The $IC_{50}$ values of toxicants were calculated by interpolation of a plot of percent inhibition versus concentration.

### 2.4. COD and $BOD_5$ Determinations

Chemical oxygen demand (COD) and biological oxygen demand in 5 days ($BOD_5$) were performed using the techniques and methods of "Standard Methods" (11). $BOD_5$/COD ratio was expressed as biodegradability. Bidegradable fraction of the COD (bCOD) and fraction of organic matter susceptible to aerobic breakdown (Fb) of sulphur dyes were calculated as Schönborn (12) .

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

The Textile Industry is one of the major industries in Turkey. Textile dyes are utilized 14 000 tons per year. 1 000 tons of this amount are the sulphur dyes, black dyes of which are the most utilized by Textile Industry. Compared to other chemical, the amount of dyes entering the environment is small. Approximately 3 500 dyes are in practical use. Studies on the toxicity of dyes have been performed mainly on azo dyes (13)

Interaction between toxicant and enzyme results in the inhibiting enzyme activity which could eventually lead to death of the organism. Studies of toxicity effects at cellular (enzyme) level have the advantage of being more sensitive than the investigations at the population level such as the measurement of $IC_{50}$. Dehydrogenases are involved in the vital anabolic and catabolic reactions and seem ideal for use in such toxicity studies. The reduction of resazurin to resorufin by microbial dehydrogenase is shown as in Figure 2.

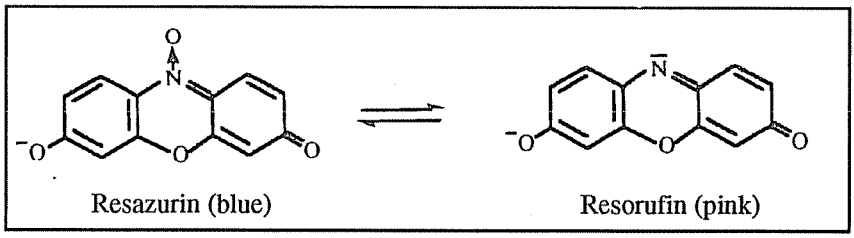



**Figure 2.** The reduction of resazurin to resorufin.

The *P. putida* is chosen for this research because it is environmentally of importance. Various concentrations (5-125 mg/L) of synthesized dyes were incubated with the culture for the determination of their $IC_{50}$ to microorganism. Values of three to four replicate experiments were averaged. The results are presented in Table 1.

**Table 1.** $IC_{50}$ of sulphur black 1, sulphur blue and sulphur brown 5 dyes

| Dyes | Test Concentration (mg/L) |
|---|---|
| Sulphur Black 1 | 42.5 |
| Sulphur Blue | 52.0 |
| Sulphur Brown 5 | 74.0 |

$IC_{50}$ values indicated that, among the sulphur dyes, sulphur black 1 has the most toxic effect on dehydrogenase activity of *P. putida* at the concentration of 42.5 mg/L level. The sulphur brown 5 has the lowest toxic effect with the $IC_{50}$ value of 74.0 mg/L. The low $IC_{50}$ values imply greater toxicity.

The chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand ($BOD_5$), biodegradability (BOD/COD), biodegradable fraction of the COD (b COD) , fraction of organic matter susceptible to aerobic break down (Fb) of sulphur dyes were also analyzed. The results of these analyses are presented in Table 2. All tests were performed using the techniques and methods of " Standart Methods" (11).

**Table 2.** Biodegradability of sulphur black 1, sulphur blue and sulphur brown 5 dyes.

| | COD (mg/L) | $BOD_5$ (mg/L) | BOD /COD | b COD (mg/L) | Fb % | b COD % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Black 1 | 16776 | 1723 | 0.10 | 2584 | 0.15 | 85 |
| Blue | 28892 | 4021 | 0.14 | 6.32 | 0.21 | 79 |
| Brown 5 | 44736 | 9192 | 0.20 | 13788 | 0.31 | 69 |

The results indicated that sulphur dyes have high levels of chemically oxidizable organics and low biodegradable fractions (Fb) and biodegradability (BOD/COD). Sulphur Black 1 having the lowest biodegradability among the sulphur dyes, caused the highest inhibition in enzyme activity of P. putida. The results showed a correlation between toxicity and biodegradability. A low biodegradability implies higher residual concentrations and bioaccumulation in the environment.

## 4. REFERENCES


1. *Shelley,M.L., Randall,C.W.et.al, Evaluation of chemical-biological and chemical-pysical treatment for textile dyeing and finishing waste, Journal WPCF, 48 (4), 753 -761, 1976.*
2. *Gül,Ş, Pseudomonas putida bacteriological test in toxicity determination of certain chemicals, Journal of KUKEM, 14 (2), 162-163, 1991.*
3. *Mowat, A., Measurement of metal toxicity by the chemical oxygen demand, Journal WPCF, 48(5), 853-867, 1976.*
4. *Lin, D., A rapid biochemical test for measuring chemical toxicity, Bull. Environ. Contam. Toxicol., 26, 145-149, 1981.*
5. *Ulus, K., Kalıpçı, O.and et.al., Determination of kinetic parameters in waste water treatment of phenol using P. putida. Doğa-Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences, 16, 60-65, 1992.*
6. *McGuinness,S.M and Barisas,B.G., Acute toxicity measurements on aquatic pollutants using microcalorimetry on tissue-cultured cells, Environ. Sci.Technol, 25, 1092-1098, 1991.*
7. *Color Index, 3rd Edit., Vol 4., p 4475, Publ.by The Soc.of Dyes and Colorists, 1971.*
8. *Gnehm,W. and Kaufler, F., Zur kenntniss des immedialreinblaus, Berichte d.D. Chem. Gesellshaft , 37, 2617-3032, 1904.*
9. *Weinberg,J., Neuere forschungen auf dem gebiete der schwefelhaltigen orgahisçhen farbstoffe, Berichte d.D. Chem. Gesellschaft, A11, 117-131, 1935.*
10. *Serindağ,O., Leuco Kükürtlü Boya Sentezi ve Haslıklarının Tayini, (Msc. Thesis), Ç.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1987.*
11. *"Standart Methods for the Examination of water and Wastewater" 13 th Ed., Amer. Publ. Health Assn, Washington, D.C. 1971.*
12. *Schönborn,W.,"Microbial degradations" in Biotechnology, VCH-D-6940 Weinheim FRG 6, Vol 8, 51-57,1986.*
13. *Meyer, U, In Microbial Degradation of Xenebiotics and Recalcitrant Compounds, (Leisenger, T., Cook, M., Hütter, R., Nüesch, J., Eds.), Academic Press, London, 371-385, 1981.*

ISSN 1019-1011

| Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ | | Haziran/Aralık | 1995 | Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH. | |
|---|---|---|---|---|---|
| *CİLT 10* | *SAYI 1-2* | June/December | | *VOL.10* | *NO.1-2* |


# DEMİR KOROZYONU ÜZERİNE TİYOÜRENİN İNHİBİTÖR ETKİSİ

**Birgül YAZICI**
*Ç.Ü., Kimya Bölümü, Adana/Türkiye*

**ÖZET:** *Sülfür bileşiklerinden tiyoüre grubu teorik ve pratik uygulamalarda önemlidir. Asitli çözeltilerde tiyoüre çok çalışılmış fakat inhibisyon mekanizmaları tam anlaşılamamıştır. Bu çalışmada, 0,1M $Na_2SO_4$ içerisinde demirin korozyon davranışları üzerine tiyoürenin inhibisyon etkisi çeşitli konsantrasyonlarda (0,5,15 ve 50 mM), asidik (pH=5), nötral (pH=7) ve alkali (pH=9) ortamlarda kütle kaybı, polarizasyon direnci (Rp) ve korozyon potansiyelleri (Ecor) belirlenerek araştırılmıştır. pH=5 de elde edilen sonuçlara göre demirin korozyon hızı 15 mM tiyoüre içeren ortamlarda azalmaktadır. Tiyoüre, pH=7 de demirin korozyonunu hızlandırmaktadır. pH ın 9 ve 5,15 ve 50 mM tiyoüre içeren ortamlardaki deneysel bulgular OH- ile tiyoürenin birlikte demir yüzeyini örterek demirin korozyon hızını azalttığını göstermektedir. Tiyoüre, pH=9 da oksit fazı inhibitörü olarak etki etmektedir.*

# INHIBITOR ACTION OF THIOUREA ON IRON CORROSION

**ABSTRACT:** *The thiourea group of sulfur compounds has important theoritical and practical applications. Thiourea has been studied at acidic solutions extensively, but their inhibition mechanism is not fully understood. In this study, the inhibitive action of thiourea on the corrosion behaviour of iron in 0.1M $Na_2SO_4$ was investigated using weight loss measurement, polarization resistances (Rp) and corrosion potentials (Ecor) at various concentrations (0,5,15 and 50 mM) and acidic (pH=5), neutral (pH=7) and alkaline solutions (pH=9). The results indicated that at pH 5, the corrosion rate of iron decreases in 15 mM thiourea. At pH 7, thiourea accelerates corrosion reactions. In solutions with pH=9, and containing 5, 15 and 50 mM thiourea, the experimental findings show that the OH- and thiourea act together covering the surface of iron and hence decrease the corrosion rate of iron. At pH=9, that is to say the thiourea have an effect just like the oxide phase inhibitors.*

## 1. GİRİŞ

Endüstride; metal ve alaşımları, plastikler, kauçuk, seramik, cam v.b. çok çeşitli yapıt gereçleri kullanılmaktadır. Dizayn mühendisinin bir uygulamada uygun yapıt gerecini seçmesi çok önemlidir. Bir yapıt gerecinin seçilminde ise korozyon direnci, üretim kolaylığı, sağlanabilme, bağıl maliyet gibi etkenler göz önüne alınmaktadır (7). Bu nedenle, demir ve alaşımları çekme dayanımı, esneklik, aşınma direnci, elektriksel ve ısıl ilitkenlik gibi özelliklerinin uygunluğu yanında maliyetinin düşük olmasından en fazla tercih edilen yapıt gereçlerindendir (5, 10, 13).

Su veya diğer elektrolitlerle temas eden demir ve alaşımlarında karşılaşılan en önemli sorun ise, bu yapıt gereçlerinin termodinamik kararsızlıkları nedeniyle korozyona uğrama eğilimidir. Özellikle kapalı devre çalışan sistemlerde korozyon, inhibitör olarak adlandırılan maddelerle önlenmeye çalışılmaktadır. Metal korozyonuna etkiyen etmenler çok çeşitli olduğundan inhibitör uygulamalarında başarı sağlayabilmek için bazı ilkelere dikkat edilmesi gerekir. Bunlar metalin türü, ortamın bileşimi, çözeltinin pH'ı, çözeltinin havalandırılıp havalandırılmaması, ortamda bulunması olası mikroorganizmalar, çözelti sıcaklığı, dizayn v.b. dir (12). İnhibitör az miktarda kullanıldığı zaman ekonomik olmaktadır. Bu nedenle inhibitör seçiminden uygulamaya kadar en uygun koşulların saptanması gerekmektedir. İnhibitörler korozyondan sorumlu tepkimenin kinetiğini değiştirdiğinden, etkinliğin ve etki mekanizmasının sağlıklı olarak belirlenmesi için inhibitörsüz korozyon tepkimesinin kinetik mekanizmasının sağlıklı olarak bilinmesi ve inhibitörlü koşullarda inhibitör etkinliklerinin moleküler mekanizmasının belirlenmesi gerekmektedir (6).

Asitli ortamlarda tiyoüre ve türevlerinin demirli malzemelerin korozyonunu önlemede inhibitör olarak kullanımı üzerinde araştırmacılar değişik çalışmalar yapmışlardır. 1N HCl çözeltisinde tiyoürenin 4-40 mM derişimlerinin demirli malzemelere etkisini araştırmıştır (11). Elde edilen bulgulara göre, tiyoürenin inhibitör ya da korozyonu hızlandırıcı olarak rol oynaması tiyoüre derişimine bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada, 4mM tiyoüre içeren ortamlarda maksimum inhibisyon sağlandığı, 40 mM tiyoürede ise demirin korozyon hızının artmakta olduğu belirtilmektedir. 1N $H_2SO_4$ içinde 0,66 ve 0,86 mM tiyoüre ve türevlerinin paslanmaz çelik üzerindeki korozif etkisini incelemiştir (1). Bir önceki çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da tiyoüre ve türevlerinin derişimi arttıkça demirin korozyonunun hızlandığı ileri sürülmektedir. Tiyoüre ve türevlerinde en etkin inhibisyon n-phenylthiourea türevinde belirlenmiştir. 1N $H_2SO_4$ içinde değişik derişimlerde (0, $10^{-4}$, $10^{-3}$, $10^{-2}$, $3.10^{-2}$, $5.10^{-2}$ M) tiyoürenin çeliğin korozyonuna etkilerini değişik sıcaklıklarda araştırmışlardır (3). Sıcaklık artışı ile yüzeyin korozyondan korunduğu saptanırken, tiyoürenin düşük ve yüksek derişimlerinde yeterli inhibisyonun gerçekleşmediği belirtilmektedir. Çeliğin korozyonu kritik bir tiyoüre derişiminde (~$10^{-2}$ M) önlendiği ileri sürülmektedir.

S-alkylisothiouronim iyotun 0,5N $H_2SO_4$ içinde demirli malzemelerde korozyonu azaltan bir inhibitör olduğu belirtilmektedir (2). 40°C de 1N $H_2SO_4$ çözeltisinde tiyoüre derişimi arttıkça (>$1.10^{-2}$ mol/L) inhibitör etkisinin azaldığını ileriye sürmektedir (14).

Literatür çalışmalarında görüldüğü gibi tiyoüre ve türevlerinin demirli malzemelere etkisi kuvvetli asidik (pH~0,5) ortamlarda gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, tiyoüre ve türevlerinin inhibitör etkisinin koşullara bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmada ise, demirin zayıf asidik (pH=5), nötür (pH=7) ve zayıf bazik (pH=9) ortamlarda ve değişik derişimlerde (0,5,15,50 mM) tiyoüre içeren 0,1M $Na_2SO_4$ elektrolitindeki korozyon davranışları araştırılmış, metal yüzeyindeki zayıf hidroksit tabakası ile koordineli etkisinin belirlenmesi planlanmıştır. Bu amaçla belirli sürelerde (1-6 gün) demirin korozyon hızları belirlenmiş, korozyon potansiyelleri (Ecor) ölçülmüş ve akım-potansiyel eğrileri yardımıyla polarizasyon dirençleri (Rp) saptanmıştır.

## 2. DENEYLER

Deneyler ortam pH larının 5,7 ve 9 olduğu aşağıda verilen elektrolitlerde yapılmıştır.

Elektrolitin cinsi

1. 0,1M $Na_2SO_4$
2. 0,1M $Na_2SO_4$ + 5 mM tiyoüre
3. 0,1M $Na_2SO_4$ + 15 mM tiyoüre
4. 0,1M $Na_2SO_4$ + 50 mM tiyoüre

Bu çözeltilerin pH ları $H_2SO_4$ ve NaOH kullanılarak ayarlanmış, deneyler oda koşullarında ve atmosfere açık olarak gerçekleştirilmiştir.

Kütle kaybı yöntemiyle korozyon hızını belirlemede deney elektrodu olarak, 0,1x2x5 cm boyutlarında demir plakalar kullanılmıştır. Bu metal plakaların yüzeyleri kimyasal işlemlerle temizlenmiş ve etüvde sabit tartıma getirilerek kütleleri belirlenmiştir. Plakalar, yukarıda verilen değişik derişim ve pH lardaki elektrolitlere daldırılmıştır. Belirli zamanlardaki (1-6 gün) kütle kayıpları saptanarak korozyon hızları aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$\text{Korozyon hızı (mdd)} = \frac{\text{Kütle kaybı (mg)}}{\text{Metalin yüzey alanı (dm}^2\text{).Zaman (gün)}} \qquad (1)$$

Elektrokimyasal yöntem olarak ise üç elektrot tekniği kullanılmıştır. Bu yöntemde çalışma elektrodu olarak kullanılan demir, 1cm çapında ve 4,5 cm boyunda alınmış ve elektrolit etkisine bırakılacak alan dışındaki yüzeyleri polyester ile kalıba alınmıştır. Elektrottan açık kalan yüzey, her deneyden önce metal parlatıcılarda 800-1000 numaralı zımpara kağıdı ile parlatılmıştır. 400 ml hacımlı deney hücresinde çalışma elektrodu

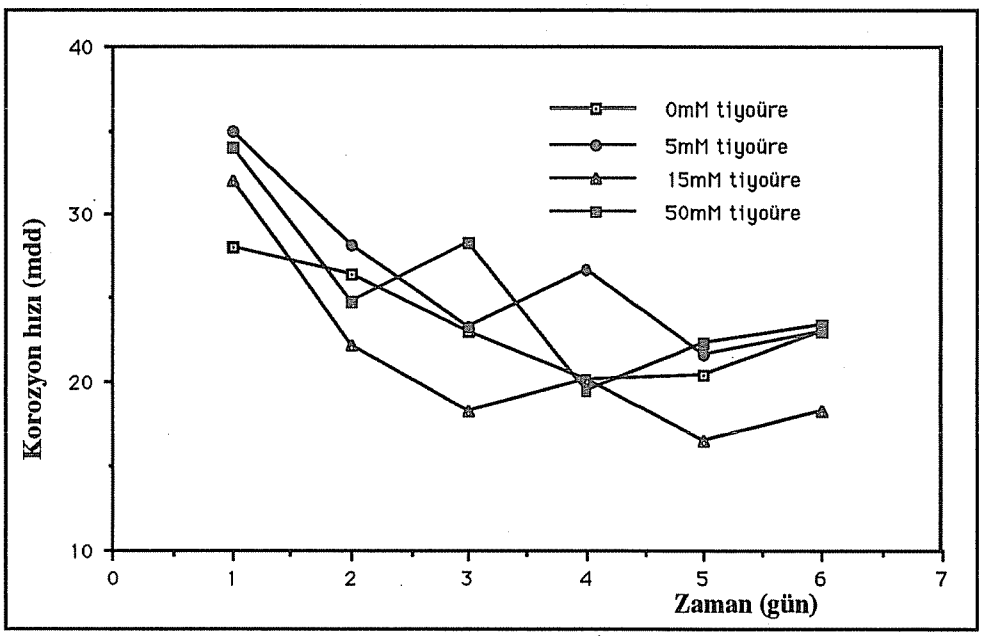
olarak demir, yardımcı elektrot platin ve karşılaştırma elektrodu olarak kalomel elektrot kullanılmıştır. Akım-potansiyel değerleri "Corrovit" aygıtıyla ölçülmüş, hücredeki çözelti sabit hızla sürekli olarak manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Belirli bir süre sonra (~2 saat) kararlı korozyon potansiyeline (Ecor) ulaşılmıştır. Korozyon potansiyeli üzerine anodik ve katodik yönde ayrı ayrı 1,25 , 2,5 , 5,0 ve 12,5 mV değerlerinde potansiyeller uygulanmış ve bu potansiyellerde geçen akım değerleri belirlenmiştir. Bu işlemler, kütle kayıplarının belirlendiği aynı zamanlarda (1-6 gün) tekrarlanmıştır. Elde edilen akım ve potansiyel değerleri grafiğe geçirilerek polarizasyon dirençleri ($Rp=\Delta E/\Delta i$) belirlenmiştir.

## 3. DENEY SONUÇLARI

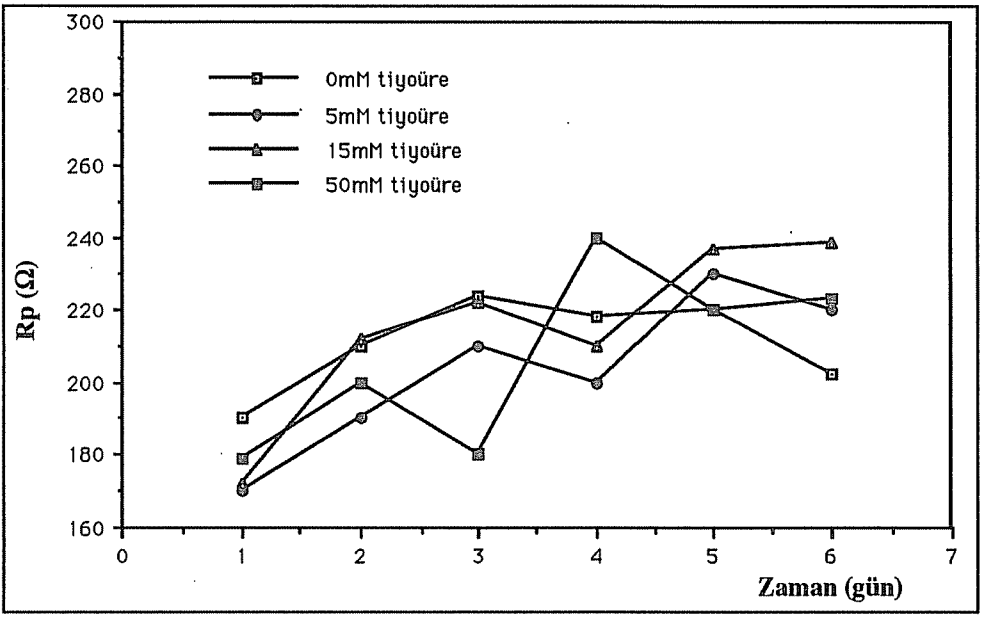
Farklı pH ve derişimlerde tiyoüre içeren 0,1M $Na_2SO_4$ çözeltilerindeki demirin korozyon davranışları Şekil 1-9 da verilmiştir.

pH ın 5 olduğu koşullarda elde edilen deneysel bulgular Şekil 1-3 de gösterilmiştir. Şekil 1 de görüldüğü gibi, tiyoüre içeren ve içermeyen tüm ortamlardaki korozyon hızı başlangıçta yüksek olurken, zamanla salınımlı olarak azalmaktadır. Korozyon hızı, tiyoüre derişimi 15 mM olan çözeltilerde (Δ işaretli) zamanla en fazla azalmıştır. Örneğin en son ölçümlerin alındığı 6. günde korozyon hızı 0, 5 ve 50 mM tiyoüre içeren ortamlarda yaklaşık aynı değerlerdeyken (~23 mdd), bu derişimlere göre 15 mM tiyoüre içeren ortamlarda demirin korozyon hızı 1,27 kat azalmıştır (Şekil 1). Şekil 2 de zamanla değişimi verilen polarizasyon direnci (Rp) değerleri de, korozyon hızının değişme yönünü göstermektedir. Başlangıçta tüm elektrolitlerde Rp değerleri birbirine yakın değerlerdeyken, zamanla salınımlı değişerek artmaktadır. Şekil 2 de görüldüğü gibi Rp değerlerinin en fazla arttığı elektrolit 15 mM tiyoüre içeren ortamlardır (Δ işaretli). Şekil 3 de görüldüğü gibi başlangıçta (1.gün) tiyoüre derişimi arttıkça korozyon potansiyeli (Ecor) daha soy potansiyellere kaymaktadır. Zamanla Ecor değerleri tiyoüre derişimine bağlı olmaksızın, birbirine yakın soy potansiyellerde ölçülmüştür (Şekil 3).

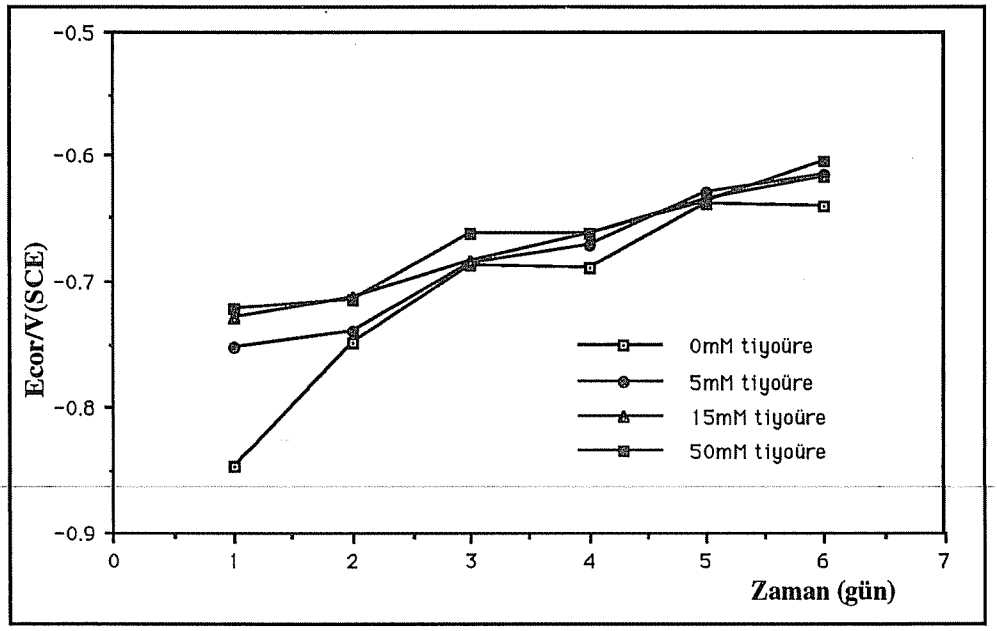
Şekil 4-6 da pH ın 7 olduğu ortamlarta demirin korozyon davranışları verilmiştir. Şekil 4 de görüldüğü gibi tüm ortamlarda korozyon hızları zamanla azalmaktadır. Demirin korozyon hızı, bu pH da tiyoüre içeren ortamlara göre, içermeyen çözeltide daha az olmaktadır (Şekil 4). Örneğin 6. günde tiyoüre içeren ortamlara göre korozyon hızı, tiyoüre içermeyen çözeltide ~1,12 kat azalmaktadır. Şekil 5 de görüldüğü gibi polarizasyon dirençleri zamanla tüm elektrolitlerde artmaktadır. Tiyoüre içeren ortamlara göre, içermeyen ortamlardaki Rp değerleri daha büyük olmaktadır (Şekil 5). Şekil 6 da görüldüğü gibi korozyon potansiyelleri, zamanla soy değerlere



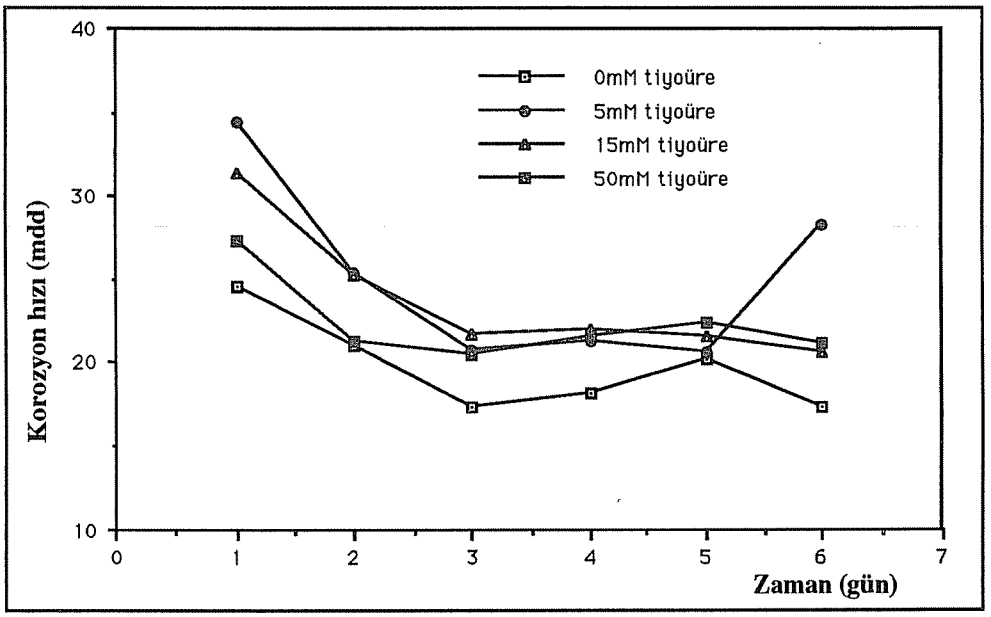

**Şekil 1.** Demirin, 0,1M $Na_2SO_4$ + XmM Tiyoüre İçeren (pH=5) Çözeltilerdeki Korozyon Hızlarının Zamanla Değişimleri (X= 0,5,15,50mM).



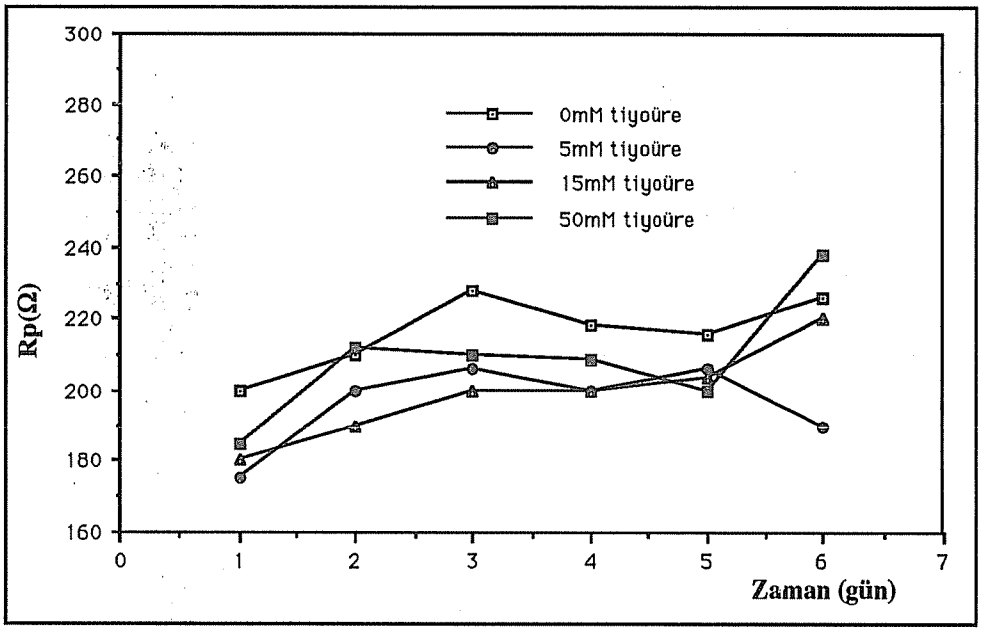

**Şekil 2.** Demirin, 0,1M $Na_2SO_4$ + XmM Tiyoüre İçeren (pH=5) Çözeltilerdeki Polarizasyon Dirençlerinin (Rp) Zamanla Değişimleri (X= 0,5,15,50mM).



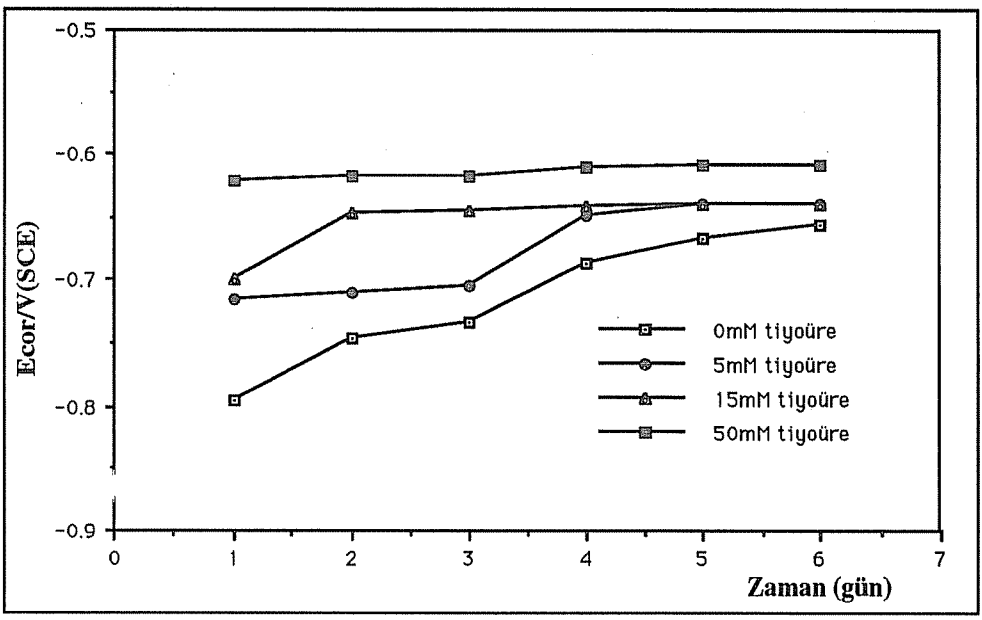

**Şekil 3.** Demirin, 0,1M $Na_2SO_4$ + XmM Tiyoüre İçeren (pH=5) Çözeltilerdeki Korozyon Potansiyellerinin Zamanla Değişimleri (X= 0,5,15,50mM).




**Şekil 4.** Demirin, 0,1M $Na_2SO_4$ + XmM Tiyoüre İçeren (pH=7) Çözeltilerdeki Korozyon Hızlarının Zamanla Değişimleri (X= 0,5,15,50 mM).



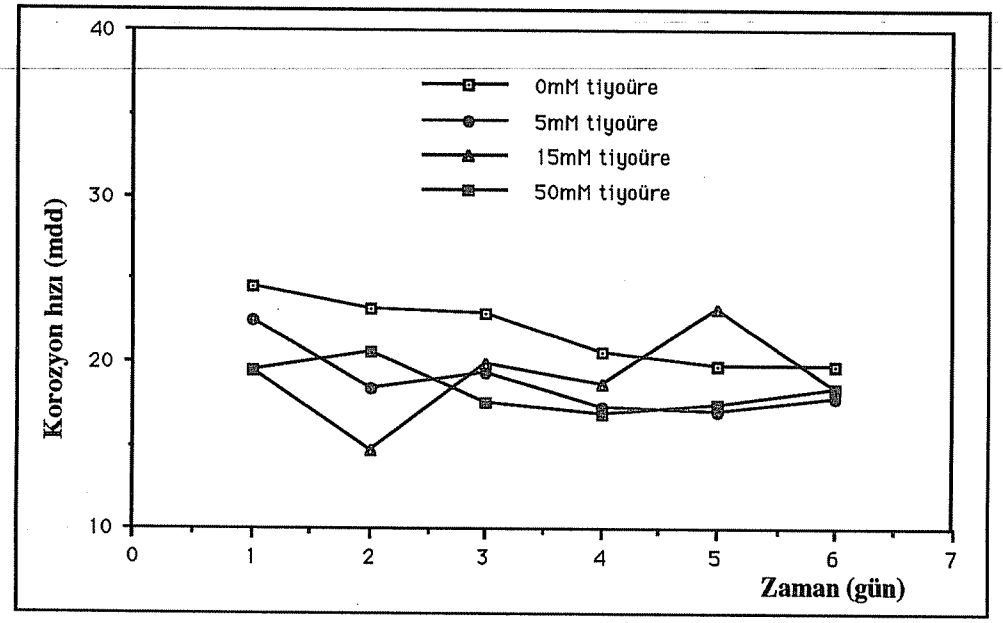

**Şekil 5.** Demirin, 0,1M $Na_2SO_4$ + XmM Tiyoüre İçeren (pH=7) Çözeltilerdeki Polarizasyon Dirençlerinin (Rp) Zamanla Değişimleri (X= 0,5,15,50mM).




**Şekil 6.** Demirin, 0,1M $Na_2SO_4$ + XmM Tiyoüre İçeren (pH=7) Çözeltilerdeki Korozyon Potansiyellerinin (Ecor) Zamanla Değişimleri (X= 0,5,15,50mM).

kaymaktadır (50 mM tiyoüre içeren ortam hariç). Ölçüm alınan tüm sürelerde tiyoüre içermeyen ortamdaki Ecor değerleri, tiyoüre içerenlere göre daha negatif potansiyellerde belirlenmiştir.

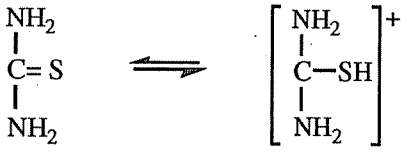
pH' ın 9 olduğu çözeltilerdeki demirin korozyon davranışları Şekil 7-9' da verilmiştir. Şekil 7' de görüldüğü gibi demirin korozyon hızı tiyoüre içermeyen ortamlara göre, tiyoüre içeren ortamlarda zamanla salınımlı olarak azalmaktadır. Bu azalma tiyoüre derişimine fazla bağlı olmamaktadır. Polarizasyon dirençleri, tüm ölçümlerin alındığı sürelerde tiyoüre içeren ortamlarda daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 8). Rp değerlerinin 3-6 gün arasında 50mM tiyoüre içeren elektrolitlerde en büyük olduğu belirlenmiştir. Şekil 9' da görüldüğü gibi Ecor değerleri zamanla fazla değişmemiş ve 15 ile 50 mM tiyoüre içeren ortamlarda daha soy potansiyellerde ölçülmüştür.




**Şekil 7.** Demirin, 0,1M $Na_2SO_4$ + XmM Tiyoüre İçeren (pH=9) Çözeltilerdeki Korozyon Hızlarının Zamanla Değişimleri (X= 0,5,15,50mM).

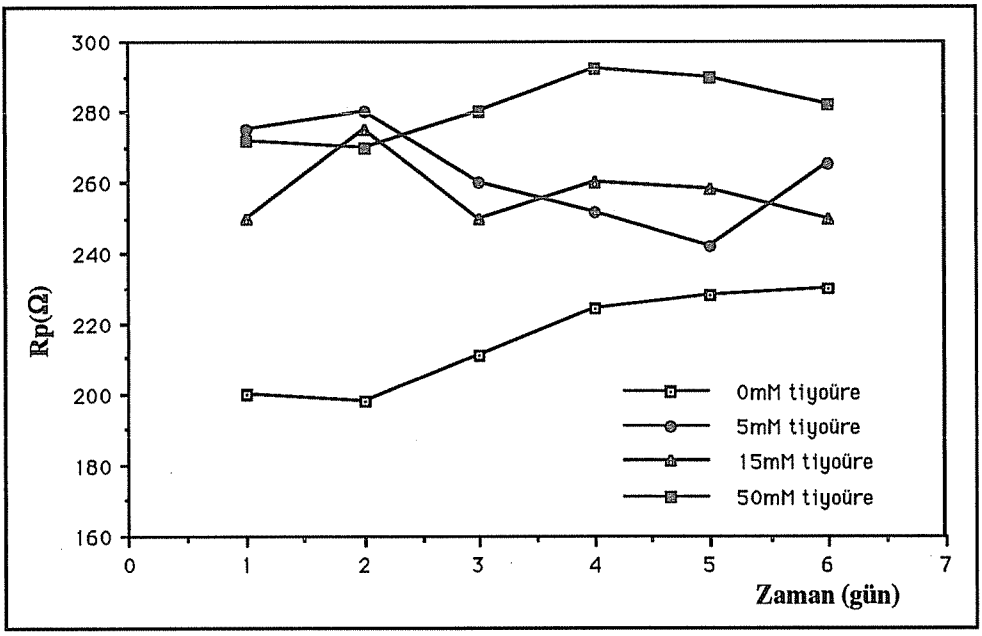
## 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tiyoüre asitli ortamlarda aşağıdaki denge uyarınca proton bağlayabilir (3):

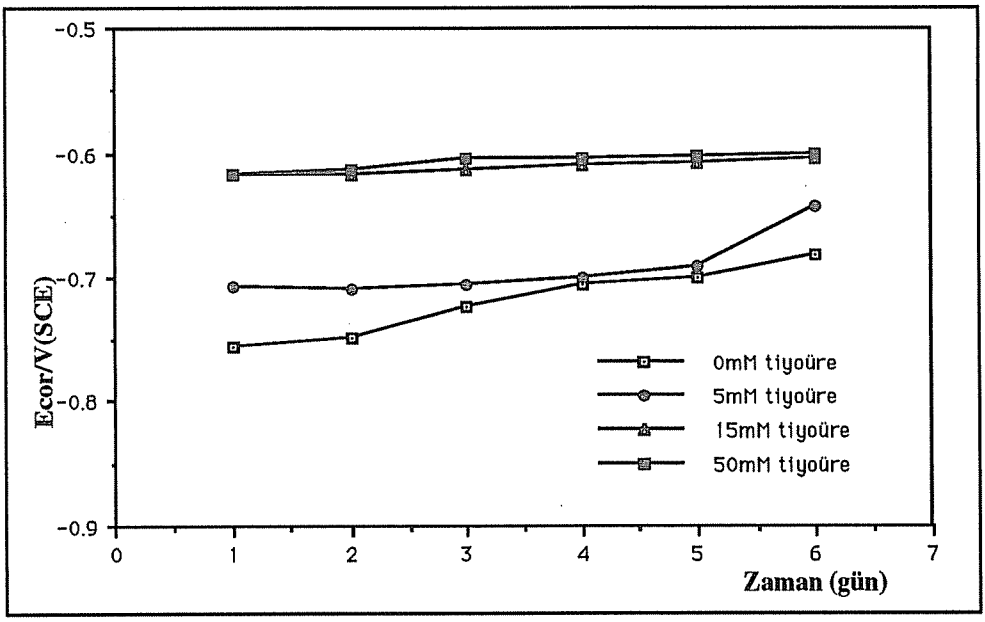


(2)

Moleküler Tiyoüre (MT) Protonlanmış Tiyoüre (PT)




**Şekil 8.** Demirin, 0,1M $Na_2SO_4$ + XmM Tiyoüre İçeren (pH=9) Çözeltilerdeki Polarizasyon Dirençlerinin (Rp) Zamanla Değişimleri (X= 0,5,15,50mM).




**Şekil 9.** Demirin, 0,1M $Na_2SO_4$ + XmM Tiyoüre İçeren (pH=9) Çözeltilerdeki Korozyon Potansiyellerinin (Ecor) Zamanla Değişimleri (X=0,5,15,50mM).

Bu dengeye ilişkin denge sabiti K=0,1 dir. 2 eşitliğinde görüldüğü gibi tiyoüre derişiminin (MT) artması ve pH ın küçülmesi, protonlanmış tiyoüre (PT) derişimini artırmaktadır. Literatürlerde asitli ortamlarda yapılan çalışmalarda, moleküler tiyoürenin protonlanmış tiyoüreden daha hızlı ve geniş demir yüzeyine adsorbe olarak inhibisyon yaptığı belirtilmektedir (11,1). Aynı zamanda tiyoüre derişimi arttıkça PT derişiminin artması, demirin korozyonunu hızlandırdığı ileri sürülmektedir. Çalışmamızdaki ortam pH larına bağlı olarak [PT]/[MT] oranları sırasıyla pH=5 de $10^{-6}$, pH=7 de $10^{-8}$ ve pH=9 da $10^{-10}$ olmaktadır. Bu değerlerden görüldüğü gibi çalışılan pH larda (5, 7 ve 9) ortamlardaki protonlanmış tiyoüre derişimi ihmal edilecek değerlerdedir.

Sülfat içinde, 0<pH<6 aralığında, demirin anodik davranışları literatürde şöyle sıralanmaktadır (8, 4, 9):

$$Fe + H_2O \rightleftharpoons Fe(H_2O)_{ads} \quad (3)$$

$$Fe(H_2O)_{ads} \rightleftharpoons Fe(OH^-)_{ads} \quad (4)$$

$$Fe(OH^-)_{ads} \rightleftharpoons (FeOH)_{ads} + e \quad (5)$$

$$(FeOH)_{ads} \longrightarrow FeOH^+ + e \quad (6)$$

$$FeOH^+ + H^+ \rightleftharpoons Fe^{+2}(aq) \quad (7)$$

$$(FeOH)_{ads} + H_2O \rightleftharpoons Fe(OH)_{2ads} + H^+ + e \quad (8)$$

3-7 tepkimeleri demirin, Fe+2 iyonları halinde çözeltiye geçtiğini ve 8 tepkimesi yüzeyin örtülmeğe başladığını göstermektedir. Bu nedenle 0,1M $Na_2SO_4$ çözeltilerinde (pH= 5, 7 ve 9) başlangıçta (1.gün) korozyon hızlarının yüksek, polarizasyon dirençlerinin düşük ve korozyon potansiyellerinin aktif değerlerde olması 3-7 tepkimelerinden ileri gelmektedir (Şekil 1-9). Zamanla (2-6 gün) 8 tepkimesi oluşmaya başladığından tüm ortamlarda korozyon hızları azalırken, polarizasyon dirençleri artmakta ve korozyon potansiyelleri soy değerlere kaymaktadır (Şekil 1-9). pH değerleri arttıkça 7 tepkimesinin oluşma olasılığı azaldığından, demirin korozyon hızları azalmakta (Şekil 1,4,7) ve polarizasyon dirençleri artmaktadır (Şekil 2, 5, 8).

0,1M $Na_2SO_4$ çözeltisine değişik pH ve derişimlerde tiyoüre ilave edildiğinde demir yüzeyi $H_2O$ ile birlikte tiyoüreyi adsorbladığından dolayı korozyon potansiyelleri soy değerlere kaymaktadır (Şekil 3,6,9). Şekil 1-3 de görüldüğü gibi pH ın 5 olduğu çözeltilerde demirin korozyonu, 5 ve 50 mM tiyoüre içeren ortamlarda artarken 15 mM tiyoürede azalmaktadır. Tiyoürenin düşük derişimi korozyonu yavaşlatmak için yeterli olamazken, bu pH da derişimin artması PT derişimini artırması olasıdır. Şekil 4-6 da görüldüğü gibi pH ın 7 olduğu koşullarda tüm derişimlerde tiyoüre demirin korozyonunu hızlandırmaktadır. Bu pH da tiyoüre içermeyen ortamlarda (7) tepkimesi oluşmamaktadır. Buna karşın tiyoüre içeren ortamlarda, C=S yapısı demirin

çözünmesini (7) tepkimesine benzer bir şekilde hızlandırıyor olmalıdır. Şekil 7-9 da görüldüğü gibi ortam pH ının 9 olduğu koşullarda tiyoüre içeren ortamlarda demirin korozyon hızı azalmaktadır. Bu pH da demir yüzeyi $Fe(OH)_2$, Fek|$Fe(OH)_3$| oksit fazı, $Fe_2O_3$ ve $Fe_3O_4$ yapılarıyla kapanır. Tiyoüre bu oksitlerin yüzeyine girerek inhibisyonu artırıyor olmalıdır.

**Sonuç olarak,**

1.Zayıf asidik koşullarda (pH=5) demirin korozyonu 15 mM tiyoüre içeren ortamlarda önlenmektedir.

2.Nötür ortamlarda (pH=7) demirin korozyonu tiyoüre içeren ortamlarda artmaktadır.

3.Tiyoüre bazik koşullarda (pH=9) bir oksit fazı inhibitörü olmakta ve demirin korozyonunu önlemede inhibitör olarak kullanılabilir bir madde özelliği göstermektedir.

## 5. KAYNAKLAR


1. *Agrawal,R., Naamboodhiri, K.,T.,G., The Inhibition of Sulphuric Acid Corrosion of 410 Stainless Steel BY Thioureas, Corr. Sci., 30, 1, 37-52, 1990.*

2. *Arab, S.,T., Noor,E.,A., Inhibition of Acid Corrosion of Steel by Some S-Alkylisothiouronium Iodides, Corrosion, 49,2,122-129,1993.*

3. *Ateya,B.,G., El-Anoduili,B.,E., El-Nizamy,F.,M., The Effect of Thiourea onther Corrosion Kinetics of Mild Steel in H2SO4, Corr. Sci., 24, 6, 497-507, 1984.*

4. *Bessone,J.,Karakaya,L.,Lorbeer,P.,Lorenz,W.,J., The Kinetics of Iron Dissolution and Passivation, Electrochim. Acta, 22,1147-1154,1977.*

5. *Champion,F.,A., Corrosion Testing Procedures, Chapman and Hall, London, 1952.*

6. *Erbil,M., Korozyon İnhibitörleri ve İnhibitör Etkinliklerinin Saptanması, Segem, 1984.*

7. *Fontana,G.,M., Corrosion Engineering, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1987.*

8. *Geana,D., ElMiligy,A.,A., Lorenz,W.,J., Electrochemical Behaviour of Iron Alkaline Sulphate Solutions, Journal of Applied Electrochemistry, 4,337-345,1974.*

9. *Lorbeer,P.,Lorenz,W.,J., The Kinetics of Iron Dissolution and Passivation in Solutions Containing Oxygen, Electrochim. Acta, 25,375-381,1980.*

10. *Madayag,A.,F., Metal Fatique: Theory and Design, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1969.*

11. *Pillar,K.,C., Anodic Dissolution of Mild Steel in HCl Solutions Containing Thio - Ureas, Corr.Sci., 23,2, 151-166,1983.*

12. *Rozenfeld,I.,L., Corrosion Inhibitors, McGraw Hill, Inc., New York, 1981.*

13. *Scully,J.,C., The Fundamentals of Corrosion, Pergamon Press, Oxford,1966.*

14. *Singh,I., Inhibition of Steel Corrosion by Thiourea Derivatives, Corrosion, 49, 6, 473 - 478,1993.*

ISSN 1019-1011
Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ Haziran/Aralık 1995 Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH.
CİLT 10 SAYI 1-2 June/December VOL.10 NO.1-2

# SAĞKAYA (ADANA) ALANININ STRATİGRAFİSİ

**Müzeyyen ŞEVKİN**
*İller Bankası, 8. Bölge Müdürlüğü, Adana/Türkiye*
**Cengiz YETİŞ**
*Ç.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*

**ÖZET** : *İnceleme alanı Adana ilinin 30-35 km. kadar kuzey doğusunda bulunur. Bu çalışmada Sağkaya (Adana) dolayının ayrıntılı stratigrafik incelemesi yapılmıştır. Bölgedeki en yaşlı kaya birimi sığ denizel karakterli Üst Paleosen - Alt Eosen yaşlı Kaleboynu formasyonudur. Bunun üzerine sığ denizel Handere formasyonu gelmekte olup bu birim Üst Miyosen - Pliyosen evresinde çökelmiştir. Kuvaterner ise taraça, kaliçi ve alüvyonla temsil edilmektedir.*

## STRATIGRAPHY OF THE SAGKAYA (ADANA) AREA

**ABSTRACT** : *The study area is located 35 km northeastern part of the Adana. In this study, detailed stratigraphic investigation have been done around Sagkaya (Adana) area. Shallow marine charecters of Upper Paleocene - Lower Eocene aged Kaleboynu formation is found at the base of the succesion. Shallow marine characters of upper Miocene - Pliocene aged Handare formation overlain by Quaternary aged terrace, caliche and alluvium.*

## 1. GİRİŞ

İnceleme alanı Adana ilinin 30 - 35 km kadar kuzey doğusunda yer almaktadır (Şekil 1). Bu incelemede yaklaşık 135 kilometre kare alanın litostratigrafisi ile ayırtlanan birimlerin bazı hidrojeolojik nitelikleri araştırılmıştır. Bölgesel ölçekte ilk ekip çalışması Mobil jeologları tarafından başlatılmış olup Schmidt (2) bir stratigrafik nomenklatür yayınlamıştır. Adana havzası günümüze kadar stratigrafik, paleontolojik, ekonomik amaçlı bir çok araştırmalara konu olmuştur. Bölgedeki ilk araştırmalar Ternek (1) ile başlayıp, Schmidt (2), Abdüsselamoğlu (3), Özer ve diğ. (4), İlker (5), Metin ve diğ. (6), Yalçın ve Görür (7), Yetiş ve Demirkol (8), Yetiş ve Demirkol (9), Gürbüz (10), Ayhan (11), Yetiş (12), Şevkin (13) ile devam etmiştir. İnceleme alanı, Tersiyer yaşlı Adana baseni'nin güneydoğu kesiminde yer almaktadır. Bu alanda Paleosen - Alt Eosen yaşlı Kaleboynu formasyonu ile üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Handere formasyonu çökelmiştir. Kuvaterner'de ise taraça, kaliçi ve alüvyon yüzeylemektedir.

## 2. STRATİGRAFİ

### 2.1. Senozoyik

#### 2.1.1. Kaleboynu Formasyonu (Tk)

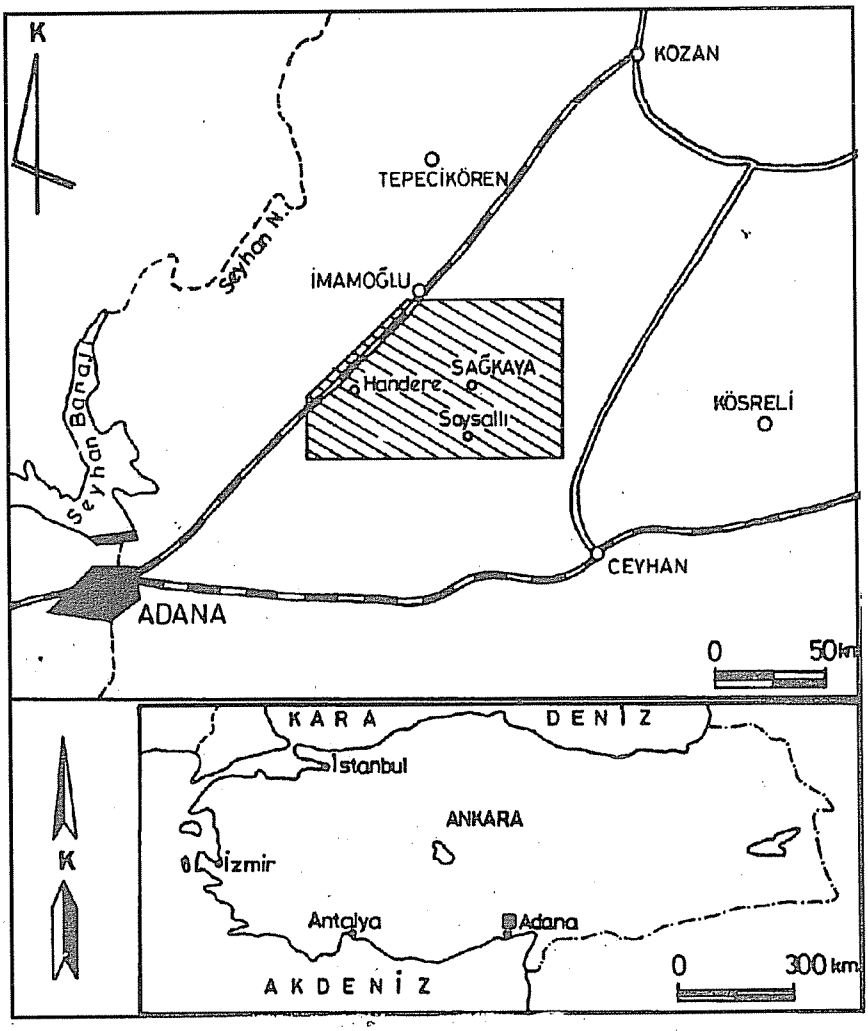
Birim inceleme alanında Tumlu köyü batısındaki Tumlukale tepede yüzeylemektedir (Şekil 2). 1/500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritasında Jurasik yaşlı kireçtaşı olarak gösterilen birime bu çalışmada Çamardı (Niğde) alanında yüzeyleyen başlıca karbonat yapılışlı Kaleboynu formasyonu ile olan litostratigrafik ve kronostratigrafik açıdan benzerliği nedeni ile eşitli ad uygulanmıştır (Yetiş 14).

Kaleboynu formasyonu tabanda karbonat elemanlı çakıltaşı ile başlayıp üst kesimleri başlıca kireçtaşından oluşmaktadır. Çakıltaşını oluşturan ve maximum 7-8 cm boya erişen, oldukça yuvarlak taneler başlıca Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı kireçtaşı, az miktarda kuvarsit, radyolarit vb. kırıntılarıdır. Sert, sağlam, keskin köşeli kırıklı, kalın-çok kalın katmanlı, tane destekli taban çakıltaşı düzeyi eşitli bileşenli, karbonat matriks ile sıkı tutturulmuştur. Taneleri kesen, iki yönde hakim, erime ile genişletilmiş kırıklar kaba sparikalsit ile doldurulmuştur. İstifin üst kesimi; ayrışma yüzeyi açık kahverengi-gri, taze kırık yüzeyi gri renkli kireçtaşı yapılışlıdır. Kalın-çok kalın katmanlı, görünür fosilsiz, sert, keskin köşeli kırıklı, erime boşluklu olan kireçtaşı düzeyi yer yer çört yumruları içermektedir.

İnceleme alanında Kaleboynu formasyonunun taban dokanağı gözlenememiştir. Üzerinde ise Kuvaterner yaşlı genç alüvyon gelmektedir.

Kaleboynu formasyonundan derlenen nokta numuneleri ince kesitlerinden:

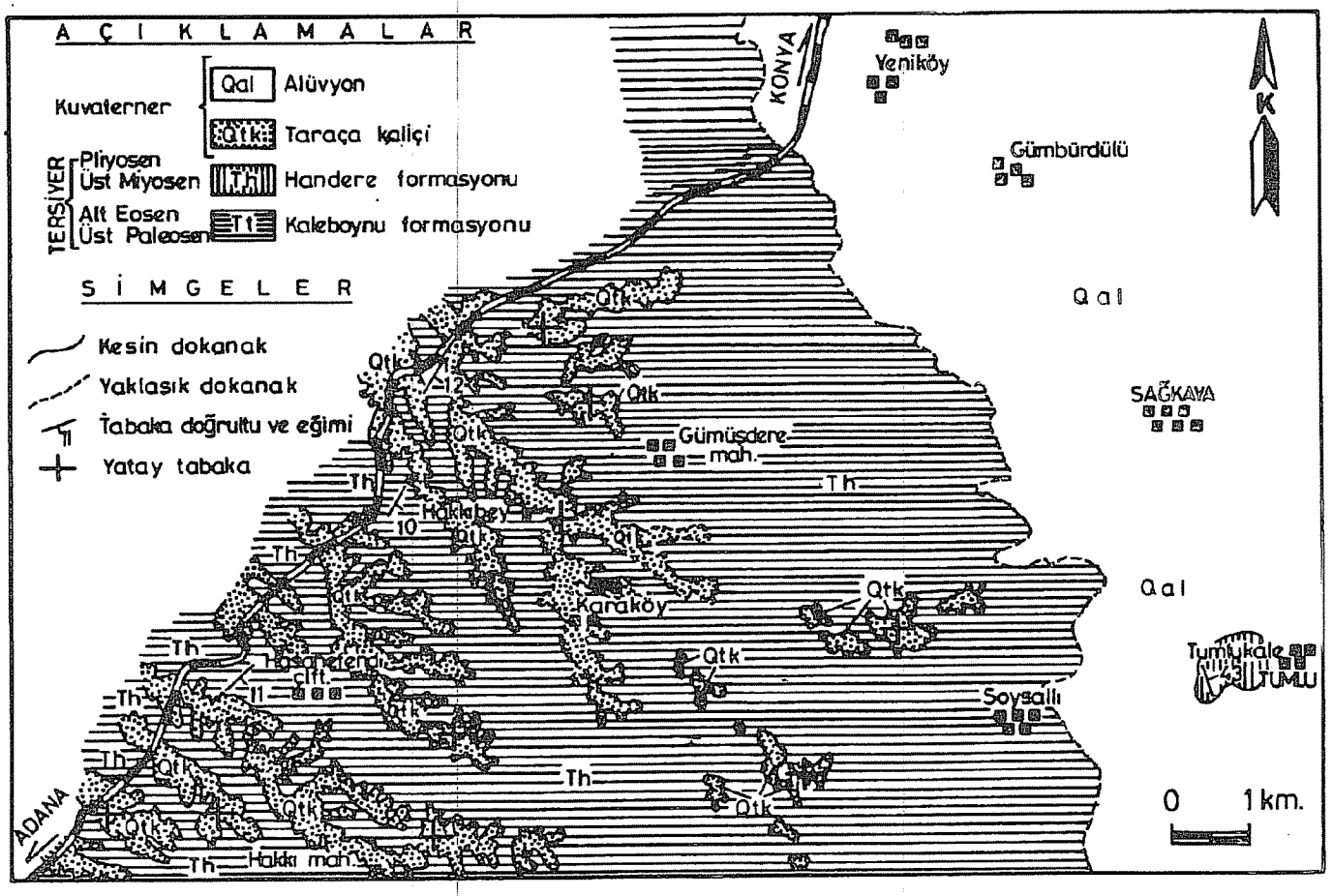
*Miscellanea miscella* d'ARCHIAC ve HAIME
*Discocyclina sp.*
*Globigerina sp.*
*Rotalia sp.*




**Şekil 1.** Çalışma alanının yer bulduru haritası

*Textularidae*
*Miliolidae*
*Algae*
*Mercan* tanıtılmıştır (Doç. Dr. N. AVŞAR).

Tanımı yapılan fosil topluluğuna göre Kaleboynu formasyonu Üst Paleosen-Alt Eosen evresinde çökelmiş olmalıdır. Birim; mikritik yapılışlı olması ve içermiş olduğu bentik fosil topluluğuna göre sığ deniz ortamında çökelmiş olmalıdır.




**Şekil 2.** Sağkaya (Adana) Alanının Jeoloji Haritası.

### 2.1.2. Handere Formasyonu (Th)

Schmidt (2) tarafından adlandırılan birim boz renkli çakıltaşı, çakıllı kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı ardalanmalı olup yer yer alçıtaşı mercekleri içermektedir. Birim, çalışma alanı güneydoğusunda Soysallı, kuzeyindeki Gümüşdere mahallesi, Mehmet İnce çiftliği ile Gümürdülü çiftliği civarında yüzeylemektedir (Şekil 2).

Handere formasyonu inceleme alanı dışında Bıcılganlı dolayında tabanda çakıltaşı ile başlamaktadır. Yaklaşık 20-25 cm 'ye varan Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı kuvarsit, kireçtaşı, radyolarit ve ofiyolit kökenli elemanlardan oluşan çakıltaşı, kötü boylanmalı, karbonat matrix ile gevşek tutturulmuş, kalın teknemsi çapraz katmanlanmalıdır. Birim yukarıya doğru tane boyu incelerek kumtaşına geçer. Kumtaşları, silttaşı- kiltaşı ara katmanlıdır. Üst kesimlerde yeralan açık gri renkli paralel laminalanmalı silttaşı düzeyleri daha üst kesimlere doğru tane boyu incelerek kiltaşı-çamurtaşına geçer.

Birim, tabanda inceleme alanı dışında Güvenç ve Kuzgun formasyonlarını açısal uyumsuzlukla örtmektedir. Üstte ise Kuvaterner'e ait taraça, kaliçi ve alüvyonla örtülmektedir. Formasyonun kalınlığı önceki araştırmacılar tarafından 120-700 m olarak bildirilmiştir.

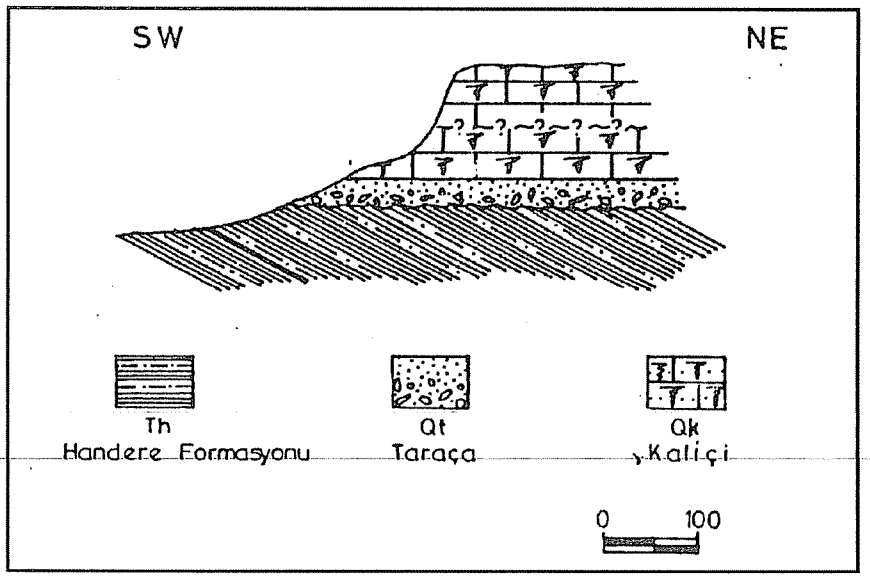
İlker (5), Yetiş ve Demirkol (8), Gürbüz (10) yaptığı çalışmalar ile birimin Üst Miyosen - Pliyosen evresinde çökeldiğini bildirmişlerdir. Handere formasyonu bölgesel ölçekte tabandan tavana doğru sığ deniz, akarsu ve göl ortamlarını karakterize eden istifler sunmaktadır.

### 2.1.3. Taraça - Kaliçi (Qtk)

Taraça ve kaliçi inceleme alanının batısı ile kuzey batısında geniş yayılım sunmaktadır. Taraça-kaliçi yer yer ardalanmalıdır. Güney-güney batıya doğru kalınlaşan birim kuzeye doğru sıfırlanmaktadır. Tabanda kaba elemanlı merceksel yapılışlı taraça üste doğru tane boyu incelerek daha ince tane boylu kırıntılılara geçmektedir. Bu kesimlerde yeraltı suyunun sıcak dönemlerde kılcal çekim ile yüzeye doğru yükselmesi ve yüzeye yakın kesimlerde suyun buharlaşması sonucu yerinde karbonat çökelmesi olarak meydana gelen kaliçi oluşumları oldukça yaygındır. Schmidt (2), Nehir taraçalarının 50 m kalınlığa eriştiğini bildirmiştir. Bölgedeki çalışmalara göre nehir taraçaları 30 m kalınlığa sahip olmalıdır (Yetiş, 12 ). Taraça - kaliçi birimi havzanın kuzey kesimlerinde sıfırlanırken güneye doğru kalınlığı artmaktadır. Bu taraçalar Handare formasyonu üzerinde belirgin bir aşınma yüzeyi ile bulunmaktadır (Şekil 3). Üzerine eski ve yeni alüvyon gelmektedir.

### 2.1.4 Alüvyon (Qal)

İnceleme alanı doğusunda ova kesimini oluşturan eski alüvyon ile dere yataklarında güncel alüvyon yüzeylemektedir. Eski alüvyon genellikle bitkisel toprakla örtülü bulunmaktadır. Güncel alüvyon ise dere yataklarında kötü boylanmalı, konsolide olmamış çakıl, kum, silt ve mil boyu malzemeden ibarettir.




**Şekil 3.** Yoğun kaliçi oluşumlu taraçanın açısal uyumsuzlukla Handere Formasyonu üzerine gelişini gösterir taslak kesit

## 3. SONUÇLAR

Adana ilinin yaklaşık 30-35 km kuzey doğusunda yeralan 135 kilometre karelik bir alanda yapılan bu çalışma ile;

Sağkaya (Adana) dolayının 1/25.000 ölçekli litostratigrafik ayırda dayalı ayrıntılı jeoloji haritası hazırlanarak bölgede Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı Kaleboynu formasyonu ilk kez ayırtlanmıştır.

## 4. KATKI BELİRTME

Bu çalışma Ç.Ü. Araştırma Fonu desteğinde (FBE 90-3) Yüksek Lisans Tezi olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma için gerekli desteği sağlayan Ç.Ü. Araştırma Fonu Başkanlığı ile bentik foraminifer tayinlerini yapan Doç.Dr. Niyazi Avşar'a teşekkür ederiz.

## 5. KAYNAKLAR

1. *Ternek Z., 1957, Adana Havzasının Alt Miyosen (Burdigaliyen) formasyonları ve bunların diğer formasyonlarla olan münasebetleri ve petrol imkanları. MTA. Dergisi, 48-66.*

2. *Schmidt G.C., 1961, Stratigraphic Nomenclature for the Adana Region Petroleum District 7. Petroleum Administration Bull, 47-63.*

**3.** *Abdüsselamoğlu,Ş., 1958, Yukarı Seyhan Bölgesinde Doğu Torosların Jeolojisi. M.T.A. Rap.No:2668, 33 s.*

**4.** *Özer B., Duval B., Courier H., Letouzey J., 1974, Antalya-Mut-Adana Neojen havzalarının jeolojisi. Türkiye 2. Petrol kongresi Türkiye Petrol Jeologları dergisi, 57-84.*

**5.** *İlker S., 1975, Adana Baseni Kuzey batısının Jeolojisi ve petrol olanakları. TPAO Arşiv No:973, 63 s.*

**6.** *Metin S., Ayhan A., Papak i., 1975, Doğu Torosların batı kesiminin jeolojisi ve petrol olanakları. TPAO Arşiv NO:973, 63 s.*

**7.** *Yalçın N.M., Görür N., 1984, Sedimentological evolution of the Adana Basin. Int. Symp. on the geology of the Taurus Belt, 165-172.*

**8.** *Yetiş C., Demirkol C., 1984, Adana Baseni kuzey-kuzey batı kesiminin temel stratigrafisine ilişkin bazı gözlemler. Türkiye Jeo. Kur. 38. Bilimsel ve teknik Kurultayı Bildiri özleri, 59-61.*

**9.** *Yetiş C., Demirkol C., 1986, Adana Baseni batı kesiminin detay jeoloji etüdü. MTA Gen. Md. Rap. No: 8037, 187 s.*

**10.** *Gürbüz K., 1985, Karaömerli - Akkuyu - Balcalı Bölgesi (N.Adana) Tersiyer istifinin sedimanter jeolojik incelemesi, Ç.Ü. Fen. Bil. Ens. Yüksek lisans Tezi, 77 s.*

**11.** *Ayhan, A., 1988, Kozan-Elmadağ (Adana) Arasının Jeolojisi. İ.Ü. Müh. Fak. Yer Bilimleri Derg., 6(1-2), 37-56.*

**12.** *Yetiş C., 1988, Reorganisation of the Tertiary stratigraphy in the Adana Basin, southern Turkey. Newsl. stratigr., 20 (1), 43-58.*

**13.** *Şevkin, M., 1991, Sağkaya (Adana) Alanının Stratigrafisi ve Yeraltı Suyu Niteliklerinin Araştırılması. Ç.Ü. Fen Bil. Enst., Yük. Lis. Tezi, 76s., Adana.*

**14.** *Yetiş, C., 1978, Geology of the Çamardı (Niğde) Region and the Characteristics of the Ecemiş Fault zone between Maden Boğazı and Kamışlı. Istanbul Üniv., Fen. Fak. Mec. B., 43, 41-61, İstanbul.*

ISSN 1019-1011

| Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ | | Haziran/Aralık | | Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH. | |
|---|---|---|---|---|---|
| *CİLT 10* | *SAYI 1-2* | June/December | 1995 | *VOL.10* | *NO.1-2* |


# SONDAJ KUYULARINDA FORMASYON VE SONDAJ AKIŞKANLARINA BAĞLI GÖRÜLEN KUYU SORUNLARI, YAPILMASI GEREKEN İŞLEMLER VE YÖNTEM SEÇİMİ

**Mesut TONÇER**
*Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana / Türkiye*
**Mesut ANIL**
*Ç.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*

**ÖZET :** *Bu araştırma, sondaj kuyularında formasyon ve sondaj akışkanlarına bağlı görülen kuyu sorunlarının tanımlanması ve çözüm önerileri amacıyla yapılmıştır. Farklı sondaj problemleri üzerinde oluşum koşulları esas alınarak sınıflandırmalar yapılmış ve problemin gelişimine bağlı olarak uygulanabilecek yöntemler üzerinde durulmuştur. Sondaj sıvısına değişik biçimde giren kirleticiler kimyasal davranışlı kirleticiler ve delinmiş katılar olarak sınıflandırılmıştır. NaCl, Ca, Mg, $H_2S$, çözülebilir karbonatlar ve bakteriler kimyasal davranışlı bileşikler olarak saptanırken, şeyller ise yüksek katı konsantrasyonlarından dolayı delinmiş kirleticiler olarak adlandırılmıştır. Takım sıkışmalarının en genel sebebinin hidrostatik basınç ve formasyon basıncı arasındaki fark olduğu, çamur kaçaklarına aşırı kuyu dibi basınçlarının sebebiyet verdiği ve korozyon probleminin asıl kaynağının oksijen, karbondioksit, hidrojen sülfür ve çözülebilir tuzlar olduğu saptanmıştır.*

# PROBLEMS TO BE MET AT DRILLING WELL DEPENDING ON THE FORMATION AND DRILLING MUD AND TOWARDS THE SELECT OF SOLUTION THE THESE PROBLEMS

**ABSTRACT :** *This study has been performed to define the problems occured by formation and drilling fluids in drilling wells and to give some outlines on solutions of them.*

*In this study, different drilling problems are classified according to occuring conditions and some applications methods related to development of problems are considered.*

*Contaminants that mix drilling mud in different ways are classified as chemical contaminants and drilled particules. NaCl, Ca, Mg, $H_2S$ soluble carbonates and bacteries are grouped into the chemically behavioured components, however sheyls are specified as drilled contaminants because of their high solid concentrations, it is stated that the most common reason for stuck pipe is the difference between hydrostatic and formation pressure and excessive well bottom pressure causes loss circulation's and the main reasons for corrosion problem are $O_2$, $CO_2$, $H_2S$ and soluable salts.*

## 1. GİRİŞ

Araştırmanın konusunu oluşturan "Sondaj Kuyularında Formasyon ve Sondaj Akışkanlarına Bağlı Görülen Kuyu Sorunları, Yapılması Gereken İşlemler ve Yöntemler", ülkemizde petrol arama ve çıkarma sektörünün yeterli gelişmeyi göstermeyişinden dolayı yabancı şirketlerin kendilerine özgü çalışmaları doğ ltusunda olmaktadır.

Ülkemizin petrol arama ve çıkarma işinde teknolojinin gerisinde kalmasına ve yabancı şirketlerin çalışmalarına ihtiyaç duyulmasına rağmen, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (T.P.A.O) ve bünyesindeki Türk mühendislerinin gösterdikleri özveri ve becerileri ile başarılı çalışmalar yapılmaktadır.

Ülkemizin bir çok alanda olduğu gibi Petrol ve diğer kaynakların bulunması ve çıkarılması alanında da modern çalışmalara yönelmek zorunluluğu vardır. Bunun sonucunda istekli ve becerikli mühendislerimizle daha iyi neticelerin alınması mümkün görülmektedir. Bu nedenle iyi ve verimli çalışmalar için modern makina ve ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Petrol sektöründe dışa bağımlılıktan kurtulmak için planlı ve ciddi çalışmalara ihtiyaç vardır. Petrolün aranması ve çıkarılması alanlarında alınacak iyi sonuçlar, milli gelirimizi ve dışa bağımlılığımızı ortadan kaldırmada önemli bir etken olacaktır.

Ülkemizde petrol, su ve diğer amaçlı kuyularda sondaj akışkanlarına ve formasyonlara bağlı problemleri ve bu sorunları doğurucu sebepleri tanımlayabilmede gerekli verilerin elde edilip, doğru müdahalelerin yapılabilmesi için bu konuda bilgi birikimine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu çalışmada, sondaj sıvılarının özelliklerine, kuyu problemlerinin oluşum koşullarına, sonuçlarına ve çözümlerine yönelik çaba sarfedilmiştir.

## 2. MATERYAL ve METOD

### 2.1. Materyal

1993 yılından itibaren yürütülen bu araştırmada, materyal olarak Üniversite kütüphanelerindeki (Çukurova, ODTÜ, Dokuz Eylül ve İ.T.Ü.) sondajcılıkla ilgili dergi

ve kitaplar ile ülkemizde petrol sondajcılığında söz sahibi olan şirketler (Shell, Schlumberger ve T.P.A.O.) ve bu şirketlerle çalışan sondaj sıvıları üreten firmalara (IDF, Magcobar, NL.Baroid, M-I, Karakaya) ait özel yayınlar kullanılmıştır.

Sondaj problemleri içerisinde, ciddi sorunlar yaratan kirleticiler, takım sıkışmaları, basınç kontrolu ve tepme olayları, çamur kaçakları ve korozyon olayları araştırılmıştır. Her bir problemin ayrı ayrı oluşum koşulları, gelişimi, sonuçları ve çözüm önerileri esas alınarak problemler tanımlanmaya ve sınıflandırılmaya çalışılmıştır.

Kirleticilerin oluşturduğu problemlerin, formasyonların delinmesiyle oluşan kesintilerden ve kimyasal davranışlı bileşiklerden kaynaklandığı esas alınmış ve bunların herbiri için ayrı ayrı literatür taraması yapılmıştır. Takım sıkışmalarında esas olarak oluşum koşulları esas alınmış ve buna bağlı tanımlamalar ile yaygın biçimde kullanılan yöntemlerin yorumlanmasına çalışılmıştır. Sondaj kuyularında formasyonların geçilmesi sırasında karşılaşılan düşük ve yüksek basınçlı formasyonlarda görülen basınç kontrolü problemleri ve fışkırmaya (blowout) neden olan tepmeler üzerinde durulmuştur. Çamur kaçaklarının görülebileceği formasyonlar ve kaçak tipleri sınıflandırılmış ve bu kaçak zonların kapatılması için kullanılan malzemelerin ve yöntemlerin tanımlamaları yapılmıştır. Ayrıca sondaj borularındaki korozyonun oluşum şekilleri ve alınması gereken önlemlere yönelik literatür taraması da yapılmıştır.

## 2.2. Metod

Bu çalışma; saha çalışmaları, laboratuvar çalışması ve literatür taraması şeklinde 3 safhada yürütülmüştür. Laboratuvar çalışmaları, T.P.A.O Batman Bölge Müdürlüğü Çamur Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar esnasında sondaj çamurları ile ilgili bütün testler, çalışma sahalarındaki koşullar göz önüne alınarak yapılmıştır.

Saha çalışmaları, T.P.A.O. Batman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Batı-Hazro I ve Batı-Raman I sondaj kuyularının sondajı esnasında yapılmıştır. Çalışma sahalarında uzun süreler kalmak suretiyle, gerekli çamur testleri yapılmış ve problem yaratabilecek formasyonların geçilmesi sırasında alınan önlemler üzerinde çalışılmıştır.

Literatür taraması çalışmaları, konuyla ilgili kaynakların gözden geçirilmesi ve yorumlanmasını içermektedir. Sondaj kuyularında basınç kontrolu ile alakalı olan tepmelerin oluşum için genel faktör; formasyon gözenek basıncının hidrostatik basınçtan büyük olmasıdır. Buna faktör ise manevra gazının varlığına, çıkışlarda kuyunun gerekenden az çamur almasına, çamur ağırlığının yetersizliğine, swabbing olaylarına, çamur kaçaklarına ve inişlerde "surge basınç"lara bağlıdır.

Sondaj borularında görülen korozyon olayları sondaj masrafları içinde önemli bir gider teşkil etmektedir. Elektrokimyasal bir olay olan korozyon, sondajda en çok

görülen şekli, gerilme korozyonu ve galvanik korozyondur. Sondaj borularında görülen korozif kirleticiler çözülebilir tuzlar, oksijen karbondioksit ve hidrojen sülfürdür. Bunların her biri için ayrı ayrı korozyon kontrol teknikleri mevcuttur. Bununla birlikte, sondaj borusu yüzeyindeki korozyon miktarı boru bağlantı yerlerine çelik halkalar yerleştirip, belli zamanlarda ağırlıkların ölçülmesi ile belirlenmektedir.

## 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 3.1. Kirleticiler

Bir sondaj sıvısı içerisine girdiğinde zararlı bir etkiye sebep olan ve istenmeyen maddelere kirleticiler adı verilmektedir. Gerçekten hem istenmeyen hem de zararlı bir madde, kirletici olarak sondaj sıvısının özelliklerini değiştirerek problem oluşturabilmektedir. Kirleticilerle sondaj çalışmasının her safhasında karşılaşmak mümkündür. Kirleticiler delinen formasyonlar içerisinde, kaynak sularda, sondaj sıvısı özelliklerinin muhafaza edilmesi ve formülize edilmesinde kullanılan malzemeler içerisinde mevcuttur.

Sondaj sıvısı kontrolü ile ilgili problemlerin büyük çoğunluğu direkt olarak bazı tip kirleticilerin zararlı etkileri ile açıklanmaktadır. Bu problemleri azaltmak için mevcut kirleticilerin erken fark edilmesi ve doğru müdahalelerin hızla uygulanması son derece önemlidir.

Kirlenmenin ilk işareti sondaj sıvısı özelliklerinde genel bir dengesizliktir. Bu dengesizlik su kaybı, alkalmitik ve jeolojik kontrol içinde bir sorun ile kendini belli etmektedir. Genel dönemler içerisinde, sondaj çamuru özelliklerinin kontrolü ile ilgili bir problemde görünen bir neden olmadığında kirleticilerin bazı şekillerinden şüphelenilmektedir.

Kirleticilerin varlığını belirlemede en güvenilir metod sondaj sıvısının hem fiziksel hem de kimyasal özelliklerinin analiz hesapları ve düzenliliğidir. Genelde mevcut potansiyel kirleticiler alakalı bir çok faktöre bağlıdır. Kirleticilerin sınıflandırılmasında, özellikle şeylli formasyonların delinmesi sırasında oluşan katılar (delinmiş katıları) ve bazı asidik gazlar ile çözünür tuzların (çimento da dahil) oluşturduğu kimyasal davranışlı kirleticiler esas alınmaktadır.

Şeyller, katılardan dolayı kirlenmelere en güzel örnektir ve birçok kaynak şeylleri katılardan dolayı kirlenmeler ile eşanlamlı tutmaktadır. Şeyllerin delinmesi sırasında, sondaj sıvısındaki katı madde miktarında belirgin bir artış gözlenmektedir. Yüksek katı maddeli sondaj sıvıları ile yapılan sondajlarda delme hızı düşmekte ve eşit sirkülasyon ağırlığı artmakta ve böylece çamur kaçakları oluşmaktadır.

Delinmiş katıların kontrolü aşağıdaki başlıca; çökeltme, incltme, mekanik ve kimyasal ayırma yöntemlerinden biriyle yapılmaktadır. Kimyasal davranışlı kirleticiler ise; NaCl, Ca, Mg, çözülebilir karbonatlar, hidrojen sülfür ve bakteriler olarak bilinmektedir.

### 3.2. Takım Sıkışması

Sondaj çalışması sırasında bazen sondaj dizisi yukarı ve aşağı doğru hareket ettirilememekte ve dönmesi sağlanamamaktadır. Sondaj çalışmasının devamlılığı için bu problemin giderilmesi şarttır. Takım sıkışması problemleri büyük çoğunlukla basınç farkından doğan (diferansiyel) sıkışmalardan oluşmaktadır. Diferansiyel basınç sıkışmaları hidrostatik basınç ve formasyon basıncı arasındaki farktan dolayı kuyu cidarlarına boruların sıkışma kuvveti olarak tanımlanmaktadır. Diferansiyel basınç sıkışmalarının oluşması için belli kriterler gerekmektedir. Bunlar; hidrostatik basınç, formasyon basıncını geçmelidir, kalın filtre kekinin üzerinde depolandığı geçirgen bir bölgenin mutlaka olması gerekir, boru ve filtre keki arasında mutlaka bir temas olmalıdır (1).

Kuyu cidarına yaslanma şeklinde gelişen diferansiyel basınç sıkışmasının ilk göstergeleri oldukça belirgin olmaktadır. Yani normal pompa basınçları muhafaza ediliyorken ve tam dolaşım varken, tijler hareketsiz kalmakta ve sonradan dönmeyerek sıkışma meydana gelmektedir. Genel olarak bu durumlar manevralar süresince ve bağlantı yapılıyorken oluşmaktadır (2).

Diferansiyel basınçtan kaynaklanan takım sıkışmaları dışında her biri kendine has karakterler gösteren başka nedenlerden dolayı oluşan takım sıkışmaları da vardır. Key-seat (anahtar deliği) veya dog legs (köpek bacağı), kuyu yıkılması veya köprüleme ve kıyı çapındaki daralmalar bunlardandır. Fakat, takım sıkışmalarının en genel tipi diferansiyel basınç sıkışmalarıdır.

Bir key-seat veya dog legs sıkışması takımı kuyudan çekme veya indirmede ve bağlantı yapma sırasında meydana gelmektedir. Sıkışma durumunda dolaşım nadiren zor olmaktadır ve dönmenin mümkün olmasına rağmen sıkışma bölgesinde çekme mümkün olamamaktadır. Sıkışma durumunda, sondaj dizisini çekmek takımın daha fazla sıkışmasına neden olmaktadır. Sondaj debisi içerisindeki sıkışma dizindeki en büyük çapa sahip parçada meydana gelmektedir. Bu da ağırlık borularıdır (3).

Sondaj kuyusunun herhangi bir noktasının döküntüler ile tıkanmasına köprüleme adı verilmektedir. Köprüleme ve kuyu yıkılması genel olarak kuyu deliğinde yetersiz hidrolik basıncın ve bu basıncın meydana getirdiği formasyonlardaki koparmalar ile birleştirilmektedir.

Kuyu çapında daralma, önceden kullanılan matkabın açmış olduğu çaptaki kuyunun çapında küçülme olması olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, 8 1/4'lük matkapla açılmakta olan kuyuda derinlere inildikçe daha yukarıda kalan bölgelerde kuyu çapı 8 1/4'ten küçük olması durumudur.

### 3.3. Çamur Kaçakları

Çamur kaçağı sondaj akışkanlarının formasyona verdiği kısmi veya toplam kayıplar

olarak tanımlanmaktadır. Bu olay, sadece doğal veya yapay formasyon aralıklarının çamurun geçebileceği kadar geniş olmasına ve çamur basıncının formasyon aralığındaki basınçtan büyük olması ile açığa çıkmaktadır.

Çamur kaçağının olabilmesi için en azından aşağıdaki durumlardan birisinin olması şarttır.

Yüksek Porozite ve Permeabilite Zonu

Genel olarak kabul edilen düşünce kaçağın olabilmesi için formasyon gözenek çaplarının partikül çapından üç defa daha büyük olmasıdır (2). Ortalama çamur partikül çapı 70 mikrondur. Böylece, formasyon gözenek çapı 210 mikronun geçirgenliği 320 Darcy olursa, kaçak meydana gelmektedir (4).

Genel olarak 3 tipe ayrılan bu formasyonlar şunlardır:

* Konsolide olmamış veya çok geçirgen formasyonlar,
* Mağara tipi boşluklar ihtiva eden formasyonlar,
* Doğal olarak oluşmuş çatlaklı veya faylı formasyonlar.

Yanlış Casing Derinliği ve Zayıf Çimento

Casing zayıf zonları muhafaza edecek derinliğine indirilemez ise daha sonraki sondajda çamur ağırlığı arttırıldığında bu zayıf zonlara kaçak olacaktır. Gene casing arkasında çimento iyi değil ise çamur ağırlığı arttırıldığında mevcut zayıf çimento kırılacak ve çamur casingler arkasından kaçacaktır.

Yapay Kırıklar veya Mekanik Çatlakların Oluşumu

Genel olarak geri dönüş çamurun aniden ve tamamen kaybı yapay kırıklara gösterge olabilmektedir. Yapay kırıklar bütün kayaçlarda oluşmakta, fakat normalde zayıf temelli düzlemler ihtiva eden formasyonlarda görülmektedir. Uyumlu ve uyumsuz formasyonlarda açığa çıkmaktadır (3). Genellikle ani basınç değişiklikleri ardından oluşmaktadır (2).

Çamur kaçağını önleyici malzemeler (L.C.M.) aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.

* Fiber Malzemeler,
* Lameller ve Flake Malzemeler,
* Taneli Malzemeler,
* Yukarıdakilerin Karışımı,
* Takviye Tıkaçlar ve Çimento.

### 3.4. Kuyularda Basınç Kontrolu ve Tepme Olayları

Bir sondaj sıvısının ana görevlerinden birisi de kuyu dibi basınçlarını kontrol etmek, kuyu deliği içerisine formasyon sıvılarının girmesini önlemektir. Formasyon sıvıları

su, gaz, petrol veya bunların kombinasyonu olabilmektedir. Çamur ağırlığı boruların kuyudan çekilmesi sırasında dengeyi sağlamak için yeterince ağır olmalıdır. Bununla birlikte, delme hızını yavaşlatacak veya çamur kaçaklarına neden olacak kadar da ağır olmamalıdır (2).

Kuyu dibi basınçlarının kontrolu, birincil olarak sondaj sıvısı kolonu tarafından uygulanan basınca bağlıdır. Bu basınç hidrostatik basınç olarak adlandırılmaktadır. Formasyon gözenek basıncı ve hidrostatik basınç arasındaki ilişki son derece önemlidir. Eğer hidrostatik basınç çok düşük ise formasyon sıvıları bir tepme (kick)'nin sonucu olarak kuyu içine akabilir. Diğer taraftan, eğer hidrostatik basınç çok büyük ise, formasyon yıkılması ve çamur kaçağı problemleri oluşmaktadır (1).

Yüksek basınçlı formasyonlara girildiğinde veya normal basınçlı formasyonlarda kuyu dibi basıncı düştüğünde (pompaların durması veya çıkış sırasında swab etkisi ile) formasyonlardaki akışkanlar kuyuya girip anülüste yükselmeye başlarlar. Bu olaya "Tepme" (Kick) denilir. Önlem alınmazsa yeryüzüne kadar çıkararak fışkırmaya neden olurlar. Fışkırmanın önlenebilmesi için kuyuya akışkan girmeye başladığının saptanması gerekir (5).

Anormal basınçlı formasyonlara rastlanıldığını gösteren bir çok durum mevcuttur.

Bunlar;

* Litoloji/Log Korelasyonu,
* Delme Hızındaki Artış,
* Şeyl Yoğunluğunun Düşük Olması,
* Gaz Okumaları,
* Şeyl Litoloji Değişimleri,
* Klorid Artışları,
* Dönme Momenti, Ağırlık Alma ve Yıkıntı,
* Tepmelerdir.

Tepmeler sirkülasyon, delme ve manevra esnasında meydana gelmektedir. Tepmeler geri dönen akışkan oranında bir değişiklik ve aktif tank seviyesinde bir artış ile tanımlanabilmektedir.

Tepmeler başlıca aşağıdaki nedenlerden kaynaklanmaktadır.

* Sıvabbing,
* Çıkış manevrası sırasında kuyunun gerektiğinden az çamur olması,
* Manevra gazının varlığı,
* Çamur ağırlığının yetersizliği,
* Kuyuda iniş sırasında tij demetinin hızlı inişinin neden olduğu "Surge" basıncı.
* Her durumda genel bir faktör vardır.

### 3.5. Korozyon

Sondaj endüstrisinde korozyon etkisinden dolayı problemler yılık giderlerde önemli bir miktarı oluşturmaktadır. Korozyon sondaj borusu problemlerinin asıl nedeni olarak bilinmektedir.

Korozyon, çözülebilir metalik tuzların oluşturduğu bir maddeden dolayı metallerde çürüme yaratacağı için çok geniş konudur. Çoğu metaller, kendi doğal hallerinde oksitler veya tuzlar halinde bulunurlar ve onları istenen hale çevirmek veya rafine etmek için büyük miktarlarda enerji harcamak gerekir. Bütün metaller kendi doğal hallerine dönmeye doğru eğilim gösterirler. Bu doğal hale dönme sürecine korozyon denilmektedir.

Araştırmalar korozyonun her zaman borunun iç yüzeyinde ve özellikle çentik ve çatlakların olduğu yerden başladığını ortaya koymuştur. Korozyon problemi esasını teşkil eden gerçek yorulma kırılmaları dış yüzeyden başlar. Bunun nedeni ise, dış yüzeyin iç yüzeyden daha fazla basınç ve bükülme kuvvetinin etkisi altında kalmasındandır.

Boru yüzeylerinde korozyon her zaman girintiler oluşturmakta ve bunlar zamanla derinleşerek boruyu delmektedir. Sondaj borusu yüzeyindeki korozyon miktarı, boru bağlantı yerlerine çelik halkalar yerleştirip, belli zamanlarda ağırlıkların ölçülmesiyle belirlenmektedir.

Korozyon ya ıslak ya da kuru olarak tanımlanabilmektedir. Sondaj endüstrisi için esas olan ıslak korozyondur. Korozyon tipleri içerisinde sondaj boruları için en önemli korozyon tipleri Galvanik Korozyonu ve Gerilme Korozyonudur.

Korozyon temel olarak elektrokimyasal bir işlemdir. Korozyonu oluşturmak için bir elektrik devresi meydana getirilir. Bu devre 4 parçadan oluşur. Bunlar, anot, katot, elektrolit ve iletkendir.

Katı durumlarda bütün metaller kutupsal kristal yapıya sahiptirler. Kristaller bir anot ve bir katota sahip bir minyatür pilde olduğu gibi davranırlar. Böylece, sondaj sıvısı veya su gibi elektrolit ihtiyacı olan milyonlarca elektrik pilinden oluşan sondaj borusu devreyi tamamlar ve korozyon işlemine başlar. Delmede, sondaj borusu anot, katot ve iletken olur. Bundan dolayı pilin 3 parçası tek başına bir sondaj dizisi içerisinde mevcuttur. Sondaj sıvısı hareketleri elektrolitlerde olduğu gibi gerekli 4.parçayı oluşturur ve devre tamamlanır (1).

Sondaj sıvısı içerisindeki korozif kirleticiler ise, çözülebilir tuzlu, oksijen, $CO_2$, $H_2S$ ve bakterilerdir.

## 4. SONUÇLAR

1. Sondaj problemleri içerisinde, sondaj sıvısının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişmesine neden olan kirleticiler, delinen formasyonların sondaj sırasında oluşan kesintilerinden ve sondaj sıvısına çeşitli yollarla karışan kimyasal davranışlı

bileşiklerden ($CO_2$,$H_2S$, Ca,Mg v.b) kaynaklanmaktadır.

Delinen formasyonların kesintilerinden oluşan kirlenmeler, özellikle şeylli formasyonların geçilmesinde görülmektedir. Bu problemin oluşumunu önlemek için katı ayırma donanımları kullanılmaktadır. Problemin oluşması durumunda ise çökeltme, inceltme mekanik ayırma ve kimyasal ayırma yöntemleri kullanılmaktadır. Kimyasal davranışlı bileşiklerden kaynaklanan kirlenmelerde ise, problemi oluşturan probleme göre ayrı ayrı yöntemler ve malzemeler kullanılmaktadır.

**2.** Takım sıkışması probleminin asıl nedeni basınç farkından kaynaklanan takım sıkışmasıdır. Hidrostatik basıncın yüksek olması, geçirgen bir bölgeye karşılık gelen kalın bir filtre keki ve boru ile filtre keki arasında bir temas olması durumları bu problemin oluşmasının temel üç koşuludur. Bununlu birlikte herbiri kendine özel durumlar içeren bir çok takım sıkışması da söz konusudur. Key-seat'ler veya dog legs, taneciklerden kaynaklanan sıkışmalara paralel yıkıntı ve köprülemeler, kuyu çapında daralma bunlar arasında sayılabilmektedir.

**3.** Çamur kaçağı problemleri bütün sondaj çalışmalarında görülen esas problemler içerisinde yer almaktadır. Kaçan çamurun miktarına bağlı olarak sınıflandırılan kaçakların nedenleri formasyonlara ve sondaj çalışmasına bağlı olarak gerekli bazı ağır çamurların yapay olarak formasyonları çatlatması gösterilmektedir. Kaçakları kapatmak için geliştirilen fiber, flake, taneli ve bunların harmanlanması sonucu oluşan malzemeler kullanılmaktadır. Asıl olarak kaçaklar için geliştirilen bir çok yöntem bulunmaktadır. Bunların içerisinde Dizel-Jel tıkaç ve Attabulgit sıkıştırma en çok kullanılan yöntemlerdir.

**4.** Geçilen formasyonlara bağlı olarak sondaj kuyularında basınç kontrolu problemleri oluşmaktadır. Sedimanter basenlerde anormal basınç formasyonlarının oluşumu kil kompaksiyonu teorisi ile açıklanmaktadır. Formasyon basınçları normal, düşük ve yüksek olarak sınıflandırılmaktadır. Normal basınç gradyeni, genel olarak ilgili formasyon derinliğine bağlı yüksek ve eşit, %10 tuzlu su kolonunun ağırlığına dayandırılmaktadır.

## 5. KAYNAKLAR

**1.** *IDF, International of Drilling Fluid. Technical Manual For Drilling, Completion and Workover Fluids, 1988.*

**2.** *Magcobar, Drilling Fluid Engineering Manual, 1977.*

**3.** *Baroid,N.L., Manual of Drilling Fluids Technology, 1979.*

**4.** *Ulaş,T., Sirkülasyon Sıvıları Tekniği T.P.A.O., 1978.*

**5.** *Göktekin,A., Sondaj Tekniği İ.T.Ü., İstanbul, 1983.*

ISSN 1019-1011

| Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ | | Haziran/Aralık | 1995 | Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH. | |
|---|---|---|---|---|---|
| *CİLT 10* | *SAYI 1-2* | June/December | | *VOL.10* | *NO.1-2* |


# MADENCİLİKTE AYDINLATMANIN İŞ GÜVENLİĞİ, İŞÇİ SAĞLIĞI VE ÜRETKENLİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

**M.Semih YÜKSEK**
*Ç.Ü., Maden Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*
**Gündüz ÖKTEN**
*İ.T.Ü., Maden Fakültesi , İstanbul/Türkiye*

**ÖZET:** *Bu çalışmada, ışık-insan ilişkileri, görmenin fizyolojisi ve maden aydınlatmasının iş kazaları, işçi sağlığı ve üretkenlik üzerindeki etkileri literatürdeki araştırmalar göz önüne alınarak yorumlanmıştır.*

# THE EFFECTS OF MINE LIGHTING ON SAFETY, HEALTH AND PRODUCTIVITY

**ABSTRACT:** *In this study, the relationship between light and human, physiology of seeing and the effects of the mine lighting on accidents, health and production are considered by a literature review and contour-relationship between them are commended.*

## 1.GİRİŞ

Madenlerde aydınlatmanın temel amacı, özellikle yeraltı ocaklarında ve açık ocaklardaki gece çalışmalarında yeterli bir görme alanı oluşturmak; böylece çalışanların tehlikeleri önceden fark ederek önlem almasını sağlamaktır (1).

Diğer iş kollarında olduğu gibi, madencilik çalışmalarında da işçi sağlığı ve iş güvenliği açısından yeterli aydınlatma şartlarının sağlanması zorunludur. Ayrıca iyi bir aydınlatma ile iş veriminin önemli ölçüde arttığı çeşitli araştırmalarla saptanmıştır.

Günümüzde, genel bir yaklaşımla sadece gerekli aydınlatma seviyesini belirlemek, gözle yönetilen bir işin başarı ile yapılması için her zaman yeterli olmamaktadır. Ayrıca, ışık kaynaklarının zararlı ve rahatsız edici etkiler yaratmaması için, özenle seçilmeleri ve uygun şekilde yerleştirilmeleri gerekir (2).

## 2. IŞIK VE GÖRME OLAYI

Işık, göz retinasına düştüğünde duyuma yol açan elektromanyetik bir ışınım olup fiziksel aletlerle ölçülemez. Fizikçilerin ölçtükleri ışığın kendisi değil, ışık için dürtü oluşturan fiziksel enerjidir. 4.000 ile 7.000 angström'lük dalga boyu olan enerji göze geldiğinde, ışığın görüntü halinde ortaya çıkmasına neden olur. Işığın hissedilmesi algılanan tüm görüş sahasında yayılan enerji sayesinde gerçekleşir (3).

İnsan çevresiyle duyu organları yardımıyla ilişki kurar. Fiziksel ve kimyasal etkiler, ancak duyu organlarında uyarımlar meydana getirirse duyum olarak algılanırlar. Duyu organlarının en önemlilerinden biri olan görme organı; iki göz, görme sinirleri ve beyindeki görme merkezinden oluşur. Görme olayı ışığın göze gelmesiyle başlar. Gözün ağ tabakasında yutulan ışınlar impulslar meydana getirir ve görme merkezine iletilir. Görme merkezinde bir araya getirilen impulslar yorumlanıp bir karara varıldıktan sonra, psikolojik bir olay olan algı oluşur ve görme olayı tamamlanır (4).

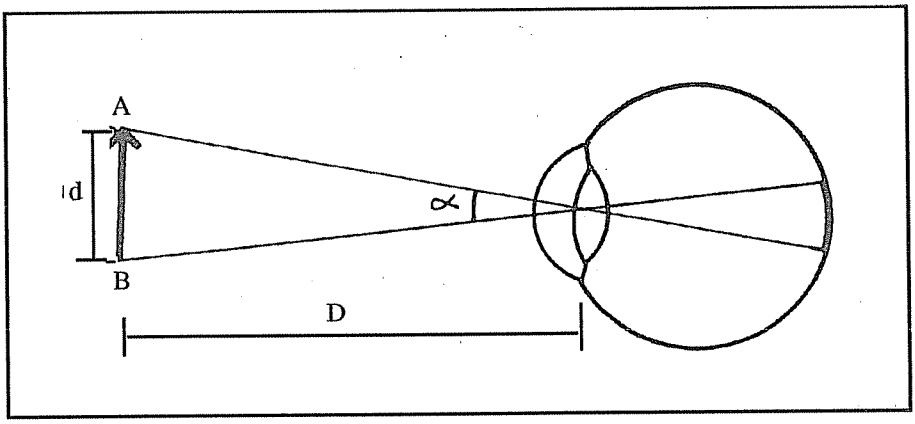
Göz insanın en önemli bilgilendirme organıdır, birim zaman içinde kulağın onlarca katından fazla bilgi iletebilir. Ancak bu üstünlük çevre koşullarını görmenin fizyolojik ve optik kurallarına uygun uyum sağlamasıyla mümkündür. Bu nedenle görme ve aydınlatma ayrılmaz bir bütünlük oluştururlar. Ayrıca aydınlatma planlarında görme kuralları ve görsel verimlilik sınırlarının iyi bilinmesi ve bu konulara dikkat edilmesi gerekir (5).

### 2.1.Işığın Görme Fonksiyonları Üzerindeki Etkisi

Bir cismin görülmesinde rol oynayan başlıca dört etken vardır. Bunlar cismin görünüm açısı, kontrast, zeminin yansıtma derecesi ve bakma süresidir. Ayrıca renk ve gölge de etki eden faktörlerdir.

### 2.1.1.Görünüm Açısı

Gözün baktığı cismin en uzak iki noktasını gözün optik merkezine birleştiren doğruların arasında kalan açıya görünüm açısı denir (Şekil.1).




**Şekil 1.** Görünüm Açısı (2)

α: Görünüm açısı
d : Cismin boyu
D: Cisim ile göz arasındaki uzaklık

Bakılan cismin görülebilmesi için bu açının en az 1' olması gerekir. Görünüm açısını büyütmek için Şekil 1'de görüldüğü gibi, cismi göze yaklaştırmak veya cismin boyutlarını büyütmek gerekir.

### 2.1.2. Cisim ile Zemin Arasındaki Kontrast

Bu etken cisim ile zemin arasındaki renk ve yapı değişikliği dolayısıyla oluşan yansıtma farkıdır.

Görme uyarımının oluşması için, önemli olan detaylar ve detayların çevreleri minimum bir kontrastla gösterilmelidir. Bu ya parıltı kontrastı ya renk kontrastı ya da her ikisi ile oluşturulmalıdır (5).

Parıltı kontrastı, cisim ile zeminin değişik yansıtma gücüne sahip olması nedeniyle doğar. Kontrast aşağıdaki bağıntı ile belirlenebilir.

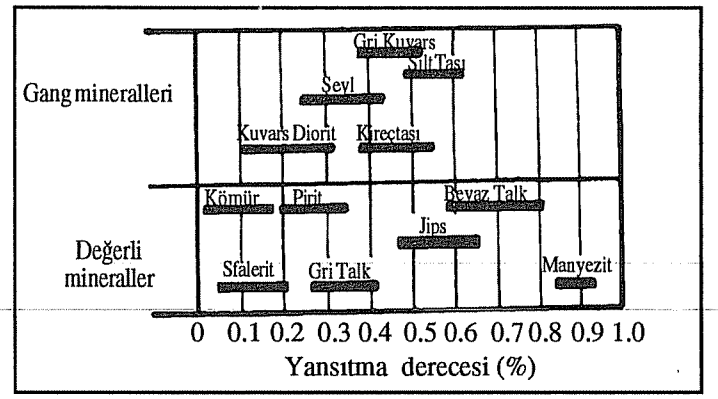
$$\frac{K_o - K_z}{K_z} > 1$$

$K_o$: Cismin yansıtma katsayısı
$K_z$: Zeminin yansıtma katsayısı

İyi bir görüş için yukarıdaki bağıntının 1'den büyük olması gerekir. Kontrastın az olduğu durumlarda iyi görmeyi sağlayabilmek için aydınlatma seviyesi yükseltilmelidir (2).

### 2.1.3. Zeminin Yansıtma Derecesi

İyi görmeyi etkileyen faktörler içinde en önemlisidir. Zeminin (veya yan duvarların) parıltısı büyük ölçüde aydınlatma seviyesine bağlıdır. Ancak bunun yanında, yansıtma derecesiyle de yakından ilgilidir. Değişik minerallerin yüzey yansıtma dereceleri Şekil 2' de verilmiştir.




**Şekil.2.** Değişik minerallerin yüzey yansıtma dereceleri (6).

Çevrenin parıltısı yüksek ise, kamaşma parıltısı da yüksek olur. Kamaşma gözü yorar, görme yeteneğini düşürür ve aydınlık düzeyi düşükmüş gibi etki gösterir. Bu olumsuz etkiler, lambaların pozisyonlarının uygun tespit edilmesi, yüksek ışık yoğunluğunun kalkan ve siper kullanarak tehlikesiz seviyeye indirilmesiyle azaltılabilir (7).

Yeraltı şartlarında duvarların yansıtma faktörleri çok düşüktür ve görme alanı boyunca da önemli bir oranda değişmez. Bu nedenle kamaşmanın sınırlandırılması özel bir anlam taşır. Sorun, galeri duvarlarını belli aralıklarla badana yaparak hafifletilebilir (8).

### 2.1.4. Bakma Süresi

Gözün bir cismi görebilmesi ve görüş alanındaki aydınlık şiddetine uyum sağlayabilmesi için belirli bir süre bakması gerekir. Görme süresi, zeminin (fonun) parıltısı, kontrast ve bakılan cismin boyutlarıyla ilgilidir.

### 2.1.5. Renk

Renk, görülebilirliği etkileyen faktörlerdendir. Uygun bir renk kontrastı görmeyi kolaylaştırır.

Görüş alanındaki aydınlık yogunluğu 0,003 cd/$m^2$ ' nin altında olduğu zaman bütün renkler oluşmaz ve hepsi beyaz, gri ve siyah olarak görülürler. Renkleri ayırd edebilmek için aydınlık yogunluğunun minimum 3 cd/$m^2$ olması gerekir. En yüksek

renk ayrım duyarlılığına ve en iyi renk tanıma gücüne ancak 50 cd/$m^2$'den sonra ulaşılabilir (5).

### 2.1.6. Gölge

Işık kaynağı ile aydınlatılan yüzeyin arasında bir veya bir kaç engel bulunursa o zaman aydınlatılan yüzeyde gölgeler meydana gelir. Bu şekilde kararmış alanlara gölgeli bölgeler denir. Tam karanlık bölgelere koyu gölge veya çekirdek gölge, tam karanlık olmayan gölgelere de yarı gölge veya açık gölge denir (9).

## 3. AYDINLATMANIN İŞ GÜVENLİĞİ, İŞÇİ SAĞLIĞI VE ÜRETKENLİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

### 3.1. Aydınlatmanın İş Güvenliği Üzerindeki Etkileri

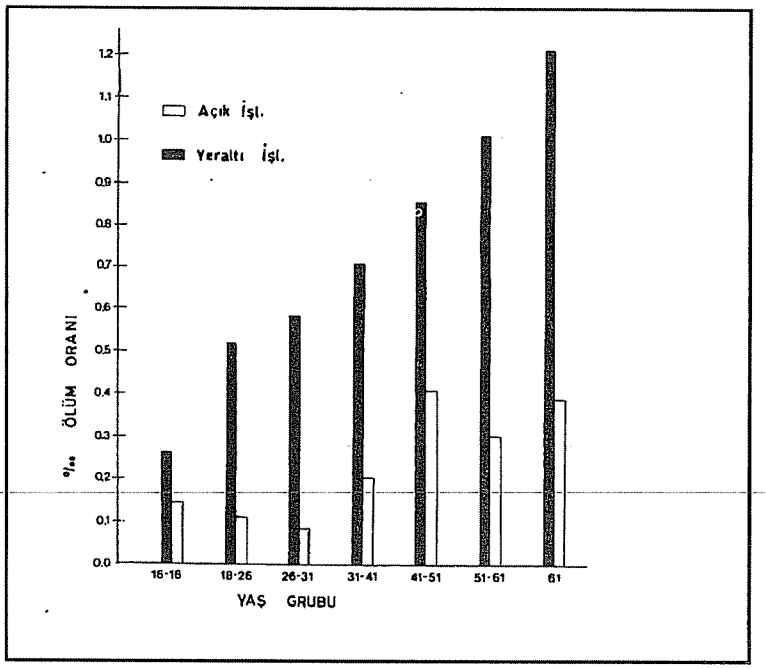
Çalışanların tehlikeli durumları farkedebilmesi ve hemen önlem alması aydınlatma sistemi ile yakından ilgilidir (10).

Yapılan araştırmalarda, madenlerdeki aydınlatma koşulları iyileştirildiğinde kazaların şiddeti ve frekansının azaldığı gözlenmiştir. Fakat aydınlatma, üretim ve iş güvenliği üzerinde etkili olan bir çok değişkenden sadece bir tanesi olduğu için, etki oranını doğrudan ölçmek oldukça zordur. Çalışmanın sürdüğü bir ocakta, sadece aydınlatmanın etkisini belirlemek için,diğer tüm değişkenlerin sabit tutulması mümkün değildir (11).

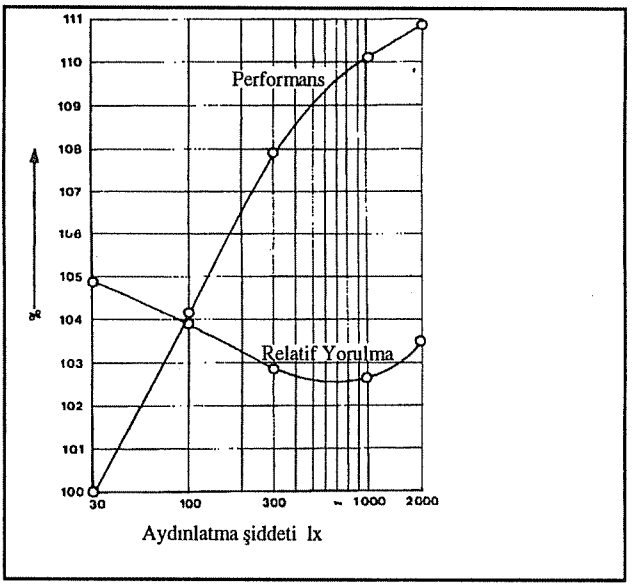
Aydınlatmanın iş kazaları üzerindeki dolaylı etkileri, çeşitli araştırmalarda incelenmiştir.Bu araştırmalarda , yeraltında ve açık ocaklarda çalışan değişik yaş gruplarındaki işçilere ait ölüm oranları kullanılmıştır. İlerleyen yaşla birlikte işçilerde görmede bir azalma olmakta, bu da ölüm oranlarının yükselmesi sonucunu doğurmaktadır(Şekil 3) (10).

Aydınlatmanın kazalar üzerindeki dolaylı etkilerinden birisi de, yorgunluk ve performans üzerindeki etkisidir (Şekil.4). Aydınlatma şiddetinin artması ile işçinin performansı da artmakta ve 1000 lx'te yorgunluk minimum olmaktadır. Bu aydınlatma düzeyinde yapılan hatalar da en alt seviyeye inmektedir (12).

İyi bir aydınlatma, iş güvenliğini arttırır, tehlikeli durumlarda daha iyi görüş sağlar. Ayrıca iyi bir aydınlatmadan dolayı yükselmiş aktivite sayesinde insanın dikkat etme yeteneği artar (13).




**Şekil 3.** İngiltere kömür madenlerinde aydınlatmadan (direkt ve endirekt) dolayı yaşlara göre ölüm oranları (10).




**Şekil 4.** Aydınlatma şiddetinin yorgunluk ve performans üzerindeki etkisi (12)

Bütün iş kollarında olumsuz görüş koşullarından kaynaklanan yorgunluk üretim düsüşüne ve iş kazalarının artmasına neden olur. Birleşmiş Milletler Güvenlik Konseyi' nin bir raporuna göre, yetersiz aydınlatma tüm endüstriyel kazaların %5'inin tek sorumlusu olup, %20'sinde de belli bir rol oynamaktadır. Madencilik sektöründe bu yüzdelerin biraz daha yüksek olması beklenmelidir (11).

Macaristan'daki bir linyit ocağında yapılan araştırmada, ocağın bir bölümünde genel aydınlatma uygulanırken, diğer bölüm sadece işçilerin baret lambalarıyla aydınlatılmıştır. Kazaların, genel aydınlatma uygulanan bölgede %60 oranında azaldığı görülmüştür. Aynı çalışmada 20 lx değeri istatistik baz alındığında, aydınlatma şiddeti ile kaza sayıları arasındaki ilişki incelenmiş ve bulgular Tablo 1' de verilmiştir.

**Tablo 1:** Aydınlatma Şiddeti (lx) ve kaza sayıları (%) ilişkisi (11).

| Aydınlatma Şiddeti (lx) | Kaza Sayısı (%) |
|---|---|
| 20 | 100 |
| 200 | 68 |
| 250 | 58 |

Buna benzer bir çalışma, A.B.D'de Batı Virginia'daki bir kömür ocağında yapılmıştır. Klasik oda-topuk yöntemi uygulanan ocakta, belirlenen altı bölge 24 ay boyunca izlenmiştir. Araştırma gereği sadece D bölgesine bir aydınlatma sistemi kurulmuştur. Tablo 2'den görüldüğü üzere diğer bölgelerde iş kazaları saptanırken, D bölgesinde kaza meydana gelmemiştir (11).

Hindistan'da yapılan araştırmalarda kazaların %35 'inin yetersiz aydınlatmadan kaynaklandığı bildirilmiştir (14).

**Tablo 2:** Batı Virginia'da bir kömür ocağının 6 üretim bölgesi için 24 aylık kaza kayıtları (11).

| Bölge | Kaza Sayısı |
|---|---|
| A | 1 |
| B | 1 |
| C | 2 |
| D | 0 |
| E | 1 |
| F | 5 |

### 3.2. Aydınlatmanın İşçi Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Işık, insan hayatı için sürekli bir anlam taşır. Çünkü gözden çıkan sinirler sadece beyindeki görme merkezi ile bağlantılı olmayıp , aynı zamanda hipofiz vasıtasıyla vucudun hormon dengesini düzenleyen kozalaksı bez ile ilintilidir. Işığın direkt madde değişimi, kan dolaşımı ve enzim oluşumu üzerinde etkileri bulunur (15).

Ayrıca, kızılötesi ve morötesi ışınların insan derisi üzerinde olumsuz etkileri vardır. Kızılötesi ışınlar ve kırmızı ışık ısı duyumuna, kısa dalgalı ışık ve mor ötesi ışınlar fotokimyasal reaksiyonlara neden olmaktadır (16).

Aydınlatma düzeyinin yetersiz olması durumunda, görsel yorgunluk,göz kapaklarının kızarması ve tahriş olması, çift görme, baş ağrısı, uyum zorluğu vb. olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır (2).

Bazı araştırmalara göre, yetersiz aydınlatma, psikolojik depresyona ya da moral bozulmasına neden olabilmektedir (11).

Yeraltı maden ocaklarında uzun süre çalışanlarda, görme bozukluğu, baş dönmesi, güvensizlik duygusu, akomodasyon bozukluğu görülmekte ve bu belirtiler mesleki olarak mevzuatta yer almaktadır (17).

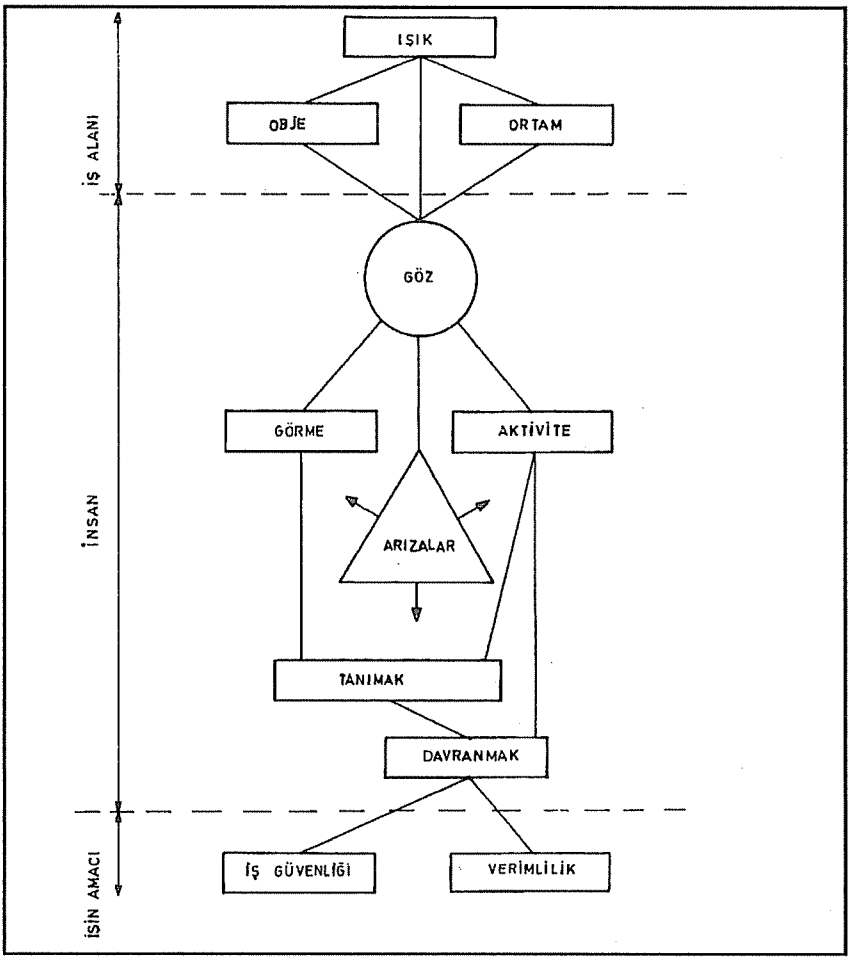
Maden işçileri arasında yaygın bir şekilde, homojen olmayan düşük aydınlatma seviyesinden dolayı Nystagmus hastalığı görülür. Nystagmus'un, göz bebeğinin dengesini kaybetmesi, baş ağrısı, baş dönmesi ve gece görmelerinin kaybolması gibi belirtileri vardır (4).

Madenlerde kullanılan aydınlatma armatürleri değişik renkte ışık yayarlar. Sıcak ve soğuk renkli ışınlar insanın psikolojik yapısı ile endokrin sistemini etkilemektedir. Kırmızı renk heyecanı , kalp atışlarını ve kan basıncını arttırır. Mavi ve yeşil renkli ışıklar sakinleştirici, rahatlatıcı etki gösterir. Sarı ışığın tahrik edici , uyarıcı özellikleri vardır. Mor ışık saldırganlığı körükler, huzursuzluk yaratır ve cesareti kırar. Bu veriler madencilik çalışmaları dikkate alınarak değerlendirildiğinde, sarı renk ışık veren alçak basınçlı sodyum buharlı lambaların genel amaçları için uygun olduğu söylenebilir. Civa buharlı lambaların mavimsi rengi rahatlatıcı etki yapar. Bu tür lambalar kömür ocaklarında elle ayıklama işinde büyük kolaylık sağlar (9,11).

### 3.3. Aydınlatmanın Üretkenlik Üzerindeki Etkileri

Çalışanlarda optimum çalışma performansını oluşturabilmek için sadece onların çalıştıkları alanın aydınlatılması yeterli degildir; aynı zamanda bu alanın çevresinin de aydınlatılması gerekir. Aydınlatmanın iyileştirilmesi ile iş güvenliği artarken,aynı zamanda üretim seviyesi ve üretilen mal kalitesi de yükseltilmiş olur (18) (Şekil 5).

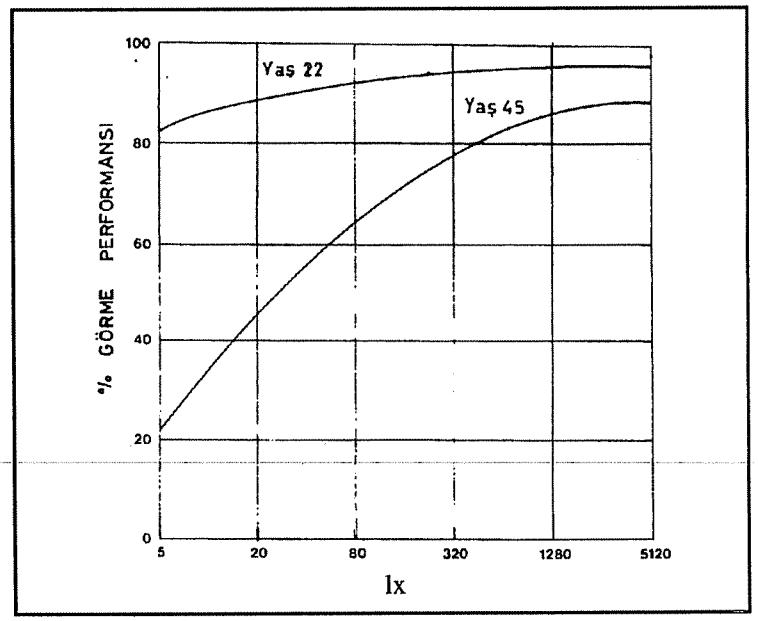
Yapılacak işlerin zorluğu, inceliği ve dikkat gereksinimi arttıkça buna paralel olarak aydınlatma ihtiyacı da artmaktadır . Düşük aydınlatma seviyelerinde, çalışanların




**Şekil 5.** Işığın iş akışı üzerindeki etkileri (18)

görme performansının düştüğü kanıtlanmıştır.Bu durum zor ve ince işlerde daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Aydınlatmanın görme performansı üzerindeki etkileri, genç ve yaşlı işçilerden oluşturulan gruplar üzerinde laboratuvar şartlarında araştırılmış,bulgular Şekil 6'da verilmiştir.

Değişik maden işletmelerindeki araştırmalar, baret lambalarıyla yapılan aydınlatmadan genel aydınlatmaya geçildiğinde, iki ay içinde kişi başına üretimin %5 civarında arttığını ortaya koymuştur. Aynı araştırmalar daha uzun süreli olarak yapıldığında kişi başına üretim artışının %26' ya kadar yükseldiği gözlenmiştir (14).




**Şekil 6.** Görüş performansının iki yaş grubu arasındaki karşılaştırılması (11)

Maden Güvenlik Araçları Enstitüsü tarafından Kuzey Amerika'daki maden ocaklarında yapılan benzer bir çalışmada, aydınlatmanın iyileştirilmesi ile vardiyada işçi başına düşen üretim miktarının ton bazında %17 arttığı görülmüştür (11).

## 5. SONUÇLAR

İnsanlar bütün faaliyetlerinde ışığa bağlıdırlar.Işığın dolayısıyla aydınlatmanın işçi sağlığı , iş güvenliği,iş verimi, üzerinde doğrudan ve dolaylı etkilerinin bulunduğu belirlenmiştir.Yetersiz aydınlatma şartları çalışanların beden ve ruh sağlığını olumsuz yönde etkiler, iş kazalarının sayı ve şiddetinin artmasına neden olur ve üretkenliği düşürür.

Tüm bu olumsuz etkiler iyi bir aydınlatma sistemi ile ortadan kaldırılabilir. İyi bir aydınlatma sisteminin temel ilkeleri ise şu şekilde özetlenebilir:

*Aydınlatma seviyesi yeterli olmalıdır,

*Işığın nitelikleri uygun olmalıdır,

*Homojen bir aydınlatma sağlanmalıdır,

*Aydınlatma kaynağı sabit olmalıdır (Işık kaynağı titreşme yapmamalıdır.),

*Aydınlatma göz kamaşmasına neden olmamalıdır,

*Çalışma alanında gölge oluşması önlenmelidir (Işık kaynakları, çalışılan yüzeye gölge düşmeyecek şekilde yerleştirilmelidir.),

*Gözün kontrast duyarlılığını arttırmaya yönelik önlemler alınmalıdır.

## 6. KAYNAKLAR


1.*Yüksek, M.S., Ökten,G., 1994, Yeraltı Madenciliğinde Aydınlatma ve T.K.İ. O.A.L. Çayırhan Müessesesi Genel Aydınlatma Şartları, Yerbilimleri,Sayı:25, Adana.*

2.*İncir,G.,1979, Endüstriyel İş Yerlerinde Çevre Koşullarının Etkileri, MPM yayınları no:227, Ankara.*

3.*Altan, İ.,1989, Aydınlatma ve Aydınlatmada Gölge Etkeni, 2.Ulusal Ergonomi Kongresi, Ankara.*

4.*Yüksek, M.S.,1993. Yeraltı Madenciliğinde Aydınlatma ve T.K.İ O.A.L Çayırhan Müessesesi Aydınlatma Şartlarının Etüdü, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*

5.*Spieser, R., ve Ark., 1975, Handbuch für Beleuchtung, W. Girardet, Essen, Deutschland.*

6.*Trotter,D.A.,1981. Reflectance measurements in mining,Internationel Mine Lighting Conference of CIE.*

7.*Weis,B., 1983 Illumination of Mines, CIE 20 th Sessıon 1983, sh.D 501/1-4*

8. *Ökten,G.,Ayvazoğlu,E,1993. Yeraltı Madenciliğinde Aydınlatma Esasları, İ.T.Ü Maden Fakültesi 40.yıl Sempozyumu Tebliğleri, İstanbul.*

9. *Özkaya,M.,1981. Aydınlatma Tekniği, Bursa Üniversitesi Basım Evi, Bursa.*

10. *Roberts, A., 1958, Undergraund Lighting in Mines, Schafts and Tunnels, London,The Technical Press Ltd.*

11.*Trotter,D.A.,1982. The Lighting of Underground Mines, by trans.Tech. Publication, Clausthal, Germany.*

12. *Schaffer, F., 1961, Lighting and Accidents, Licht und Beleuchtung, Vol.9, No.1, Viyana*

13. *Hartman, E., 1970, Beleuchtung und Sehen am Arbeitsplatz, München.*

14. *Holmos,K.K.1968, Influence of Lighting on Productivity and Safety in Mines, Freiberger Forschungshefte, 439,* 69.

15. *Hollwİch, 1967, Der Einfluss des Augenlichts auf Stoffwechselvorgaenge, Achta Nevrovegetativa, Bd. 30, 201.*

16. *Münch and Steck, 1967, Lichttechnische und Strhlungstechnische Probleme bei Anlagen hoher Beleuchtungsstaerken, Gesundheitsingenieur, 88, 270.*

17. *Ilıcak, Ş., 1987, Çevre-İşyeri Koşulları ve Ergonomik Yaklaşımlar, 1.Ulusal Ergonomi Kongresi, İstanbul.*

18.*Schneider, L., 1963, Optimale Beleuchtungsstaerken für die Arbeit, Lichttecnik, 15.*

ISSN 1019-1011

| Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ | | Haziran/Aralık | 1995 | Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH. | |
|---|---|---|---|---|---|
| *CİLT 10* | *SAYI 1-2* | June/December | | *VOL.10* | *NO.1-2* |


# AFŞİN-ELBİSTAN LİNYİT HAVZASINDAKİ DÖNER KEPÇELİ EKSKAVATÖR - BAND KONVEYÖR - DÖKÜCÜ SİSTEMİNDE YAPILAN İYİLEŞTİRMELER

**Suphi URAL, A.Hakan ONUR, Mesut ANIL**
*Ç.Ü., Maden Mühendisliği Bölümü , Adana/Türkiye*
**A.Hakkı GÜVEN**
*Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana/Türkiye*

**ÖZET :** *Afşin-Elbistan linyit havzasının ilk işletmesi olan Kışlaköy Açık İşletmesinde Döner Kepçeli Ekskavatör (DKE) - Bant Konveyör - Dökücü sistemi uygulanmaktadır. Örtü kazı çalışmalarına başlanıldıktan sonra, maden planlamasına esas olarak alınan bazı parametrelerin planlanan ve gerçekleşen değerlerinin farklı olduğu görülmüştür. Öngörülen ve fiili değerleri arasında farklılıklar görülen bu parametreler sistemin performansını düşürmüştür. Bu çalışmada DKE sisteminin performansını yükseltmek amacı ile yapılan çalışmalar anlatılmaktadır.*

# THE IMPROVEMENT OF THE BUCKET WHEEL EXCAVATOR-BELT CONVEYOR-SPREADER SYSTEM IN AFŞİN-ELBİSTAN LIGNITE BASIN

**ABSTRACT :** *AEL, Kışlaköy Opencast Mine selected as the first mine of the Afşin-Elbistan lignite basin is equipped with Bucket Wheel Excavator - Belt Conveyor Spreader system. Having been started overburden removal, it was realized that values of some parameters taken as a basis for the mine planning were not similar to actual values. Differences between proposed and actual values of these parameters caused low production. This paper relates the solutions to increase performance of BWE system.*

## 1. GİRİŞ

Afşin-Elbistan Havzası 3,4 milyar ton linyit rezervi ile Türkiye'nin bilinen en büyük kömür havzasıdır. Bölgedeki 4x340 MW gücündeki Termik Santralın yakıt ihtiyacı havzanın kuzey-doğusunda yer alan Kışlaköy Açık İşletmesinden karşılanmaktadır.

Afşin-Elbistan (A) projesi olarak da bilinen Kışlaköy Açık İşletmesi, ülkemizdeki ilk Döner Kepçeli Ekskavatör (DKE)+Bant Konveyör+Dökücü uygulaması olup, Türkiye Enerji Üretim-İletim A.Ş.(TEAŞ)'a bağlı Afşin-Elbistan Linyitleri İşletme Müdürlüğü tarafından işletilmektedir.

Bu çalışmada Kışlaköy Açık İşletmesi' nin planlanmasında esas alınan kriterlerden zeminlerin özgül kesme mukavemeti, jeomekanik özellikleri gibi parametrelerin, uygulamada farklı değerler göstermesi nedeni ile DKE sisteminde görülen performans düşüklükleri ve bu kayıpları ortadan kaldırmak için yapılan çalışmalar anlatılmaktadır.

Kışlaköy Açık Ocağı' nın havzada işletmeye alınan ilk maden olması ve proje aşamasında, örtü tabakasını oluşturan zeminlerin sadece sondaj karotları ile temsil edilebilmesi nedeni ile, döner kepçe tahrik gücünün hesaplanmasında, kova ve uc dizaynının tespitinde çelik yapı hesaplamalarında hep laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlara göre hareket edilmiştir.

DKE sistemi devreye alındıktan sonra, zeminlerin özgül kesme mukavemetlerinin gerçek değerlerinin, önceden tahmin edilen değerlere oranla daha yüksek çıktığı ve yine örtü tabakasını oluşturan bu zeminlerin büyük bir kısmının çok yapışkan olduğu tespit edilmiştir.

Bu nedenle sistemde sık sık ve uzun süreli duruşlara neden olan arızalar görülmüş ve DKE'lerin kazı kapasitelerinde beklenilen verimlere ulaşılamamıştır. Bunun üzerine yeniden bir değerlendirme yapılarak, güncelleştirilmiş verilere göre, DKE'lerde, bant yollarında ve dökücülerde bir dizi değişiklikler yapılmıştır. Sistemin çalışma süresini ve effektif kapasitesini arttırmak amacı ile yapılan iyileştirme çalışmalarının sonucunda kapasite veriminde % 30, zaman veriminde % 51,8 ve toplam verimde de % 96,5'a varan artışlar sağlanmıştır.

Bu çalışmanın amacı; bir madenin projelendirme aşamasında esas olarak alınan parametrelerdeki olası değişikliklerin, işletmecilik aşamasında yarattığı sorunları açıklamak ve Afşin-Elbistan Havzası' na yeni ocaklar açılabileceği düşünülerek, bölgede edinilen madencilik deneyimlerini aktarmaktır.

## 2. PLANLAMA KRİTERLERİ

Kışlaköy açık işletmesi 30 yıl boyunca 20 milyon ton/yıl üretimi gerçekleştirebilecek ve havzada açılabilecek diğer ocakların faaliyetlerine zarar vermeyecek şekilde planlanmıştır.

İşletmenin planlanmasında dikkate alınan önemli kriterler aşağıda verilmiştir.

## 2.1. Kömür ve Örtü Tabakasının Özellikleri

Neojen formasyonlarının üst seviyelerinde teşekkül eden linyit, gidya formasyonunun hemen altında ve 10-80 metre kalınlığındadır. Kalınlığı doğudan batıya ve kuzeyden güneye doğru artmaktadır. Kömür tabakası serisi çok sayıda tali kömür tabakalarından ve killi, siltli, marnlı kumlu bazen de gidyadan meydana gelen ara tabakalardan oluşmaktadır.

Sahanın kuzey doğusunda 20-30 metre olan örtü tabakasının kalınlığı güneybatıya doğru artarak 100-120 metreye ulaşmaktadır.

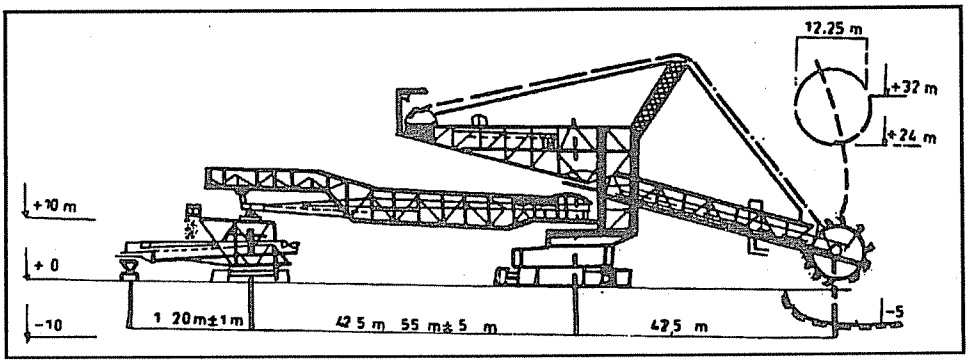
İşletmenin batısında ve güneyinde yer alan gidya serisi kömürün üzerinde bulunur. Gidya bol gastrapot fosilleri,bitki artıkları ve humuslu oluşu ile karekterize edilir. Kalınlığı 40-50 metreye kadar ulaşmakta olup, sahanın kuzey ve kuzey-doğusuna doğru incelerek kaybolur.

Gidya formasyonunun üzerinde killi sedimentler yer alır. İşletme sahasının güney ve güney-doğusunda bir kaç metre kalınlığında tatlı su kalker horizonları bulunmaktadır. Yer yer sertleşmiş görülen tatlı su kalkerlerinin üzerinde daha genç killi ve siltli, kısmen de kumlu ve çakıllı oluşuklar bulunmaktadır.

Eski dere yatakları çökelleri $CaCO_3$'ün tabii çimento haline dönüşmesi ile sertleşmiş konglomera ve kumtaşı haline dönüşmüşlerdir. İşletme sırasında DKE' lerin verimlerini önemli ölçüde etkileyen bu sert formasyonların toplam örtü tabakası içerisindeki oranı %2 kadardır.

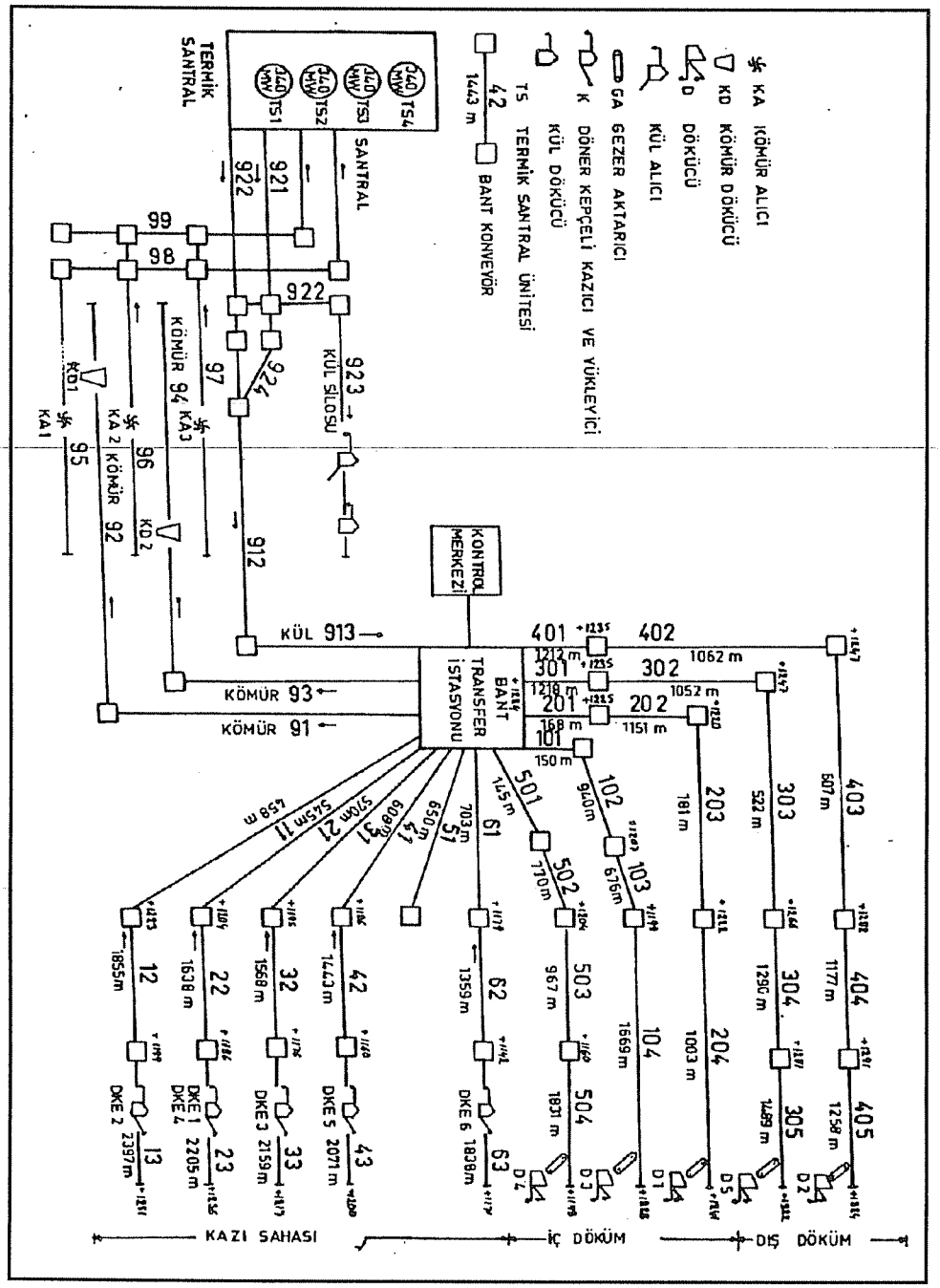
## 2.2. Makina Parkı ve Kapasiteleri

İşletme ömrü 30 yıl olan madenin, makina parkı ve kapasiteleri yılda 20 milyon ton linyit üretilebilecek şekilde seçilmiştir. Bu nedenle işletmede örtü kazı ve kömür üretim işlerini gerçekleştirmek amacıyla 6 adet 3000m$^3$ (yerinde) saat kapasiteli DKE (Şekil 1), 55 km. uzunluğunda bant konveyör sistemi (Şekil 2) ve 5 adet 5600m$^3$(gevşek)/saat kapasiteli dökücü kullanılmaktadır (Şekil 3).

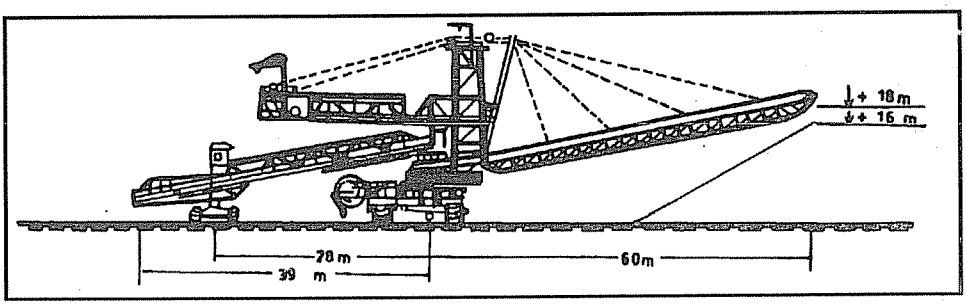



**Şekil 1.** Döner kepçeli kazıcı.

DKE' lerin yılda 5000 saat çalıştırılacakları kabul edilerek toplam kazı kapasitesi;
3000m$^3$(yerinde)/saat x5000 saat x 6 adet DKE
=90.000.000 m$^3$ (yerinde)/yıl'dır.




**Şekil 2.** Bant konveyör şeması.




**Şekil 3.** Dökücü.

Buna karşın 20 milyon ton/yıl üretimi gerçekleştirmek amacı ile ulaşılması gereken yıllık toplam kazı miktarı ortalama 74,2 milyon $m^3$ (yerinde) olarak hesaplanmıştır. Bu kazı miktarının % 34'lük bir kısmı seçimli (selektif) kazı şeklinde olacaktır.

DKE'lerin planlanan yıllık ortalama kapasiteleri, çalışma süreleri, kazı ve zaman verimleri aşağıda verilmiştir.

| | Seçimli Kazı | Normal Kazı | Toplam |
|---|---|---|---|
| **Kazı miktarı $m^3$(yerinde)x$10^6$** | 25,6 | 48,6 | 74,2 |
| **DKE kapasitesi $m^3$(yerinde)/saat** | 2075 | 2750 | 2473 |
| **Kazı verimi (%)** | 69,2 | 91,7 | 82,4 |
| **Çalışma süresi (saat)** | 2055 | 2945 | 5000 |
| **Zaman verimi (%)** | 23,4 | 33,6 | 57,0 |

Bir DKE'nin ortalama yıllık kazı miktarı;
= 2473$m^3$ (yerinde)/saat x 5000 saat
= 12.365.000$m^3$ (yerinde)/yıl,

Kazı verimi; $\frac{2473\ m^3\ (yerinde)/\ saat}{3000\ m^3\ (yerinde)/saat} \times 100$
= %82,4 ve

Zaman verimi; $\frac{5000\ saat}{8760\ saat} \times 100$
= % 57,0 olarak planlanmıştır.

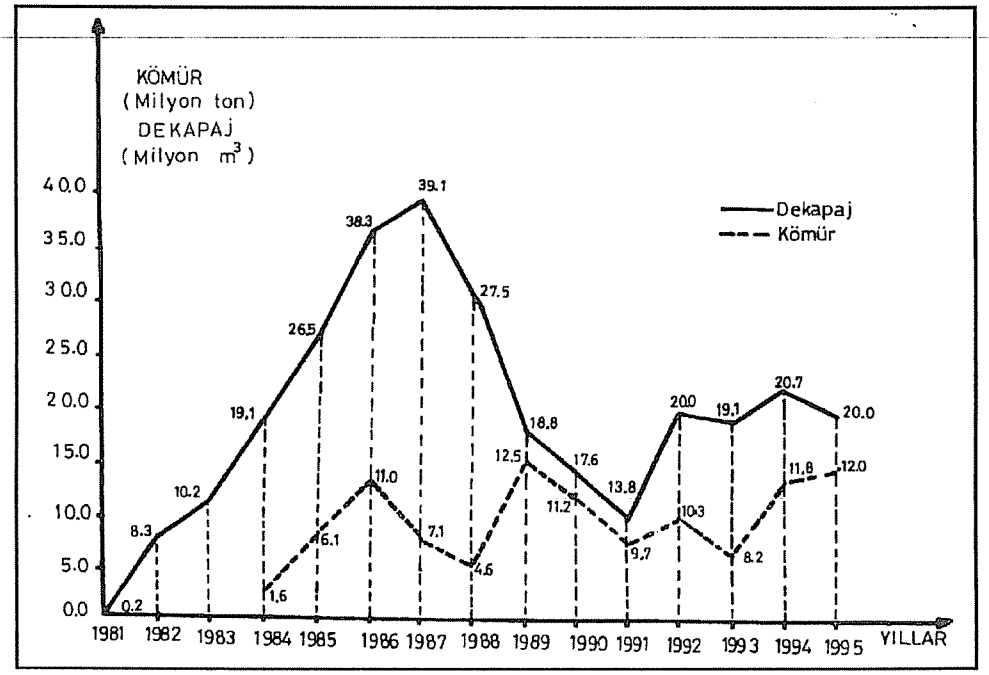
### 2.3. Üretebilir Kömürün Kalitesini Belirleyen Parametreler

-Kalınlığı 50 cm ve daha fazla olan kömür damarları işletilecektir.
-İşletilebilir olarak kabul edilen her damarın alt ve üst kısımlarından 15 cm'si üretim kaybı olarak kabul edilmiştir.

-Kalınlığı 50 cm ve daha fazla olan ara kesmeler seçilerek döküm sahasına gönderilecektir.
-Kuru kül oranı % 50 ve daha az olan kömürler işletilecektir.
-Alt ısıl değeri 750 Kcal/kg ve daha yüksek olan kömürler rezerve dahil edilmiştir.
-Kömürün yerinde yoğunluğu 1,25 ton/$m^3$ ve gevşek yoğunluğu da 0,85 ton/$m^3$ olarak belirlenmiştir.

## 3. DKE UYGULAMALARI

İlk döner kepçeli ekskavatörün devreye alındığı 6 Ekim 1981 tarihinden 31 Aralık 1995 tarihine kadar 298,2 milyon $m^3$ örtü kazı ve 106,9 milyon ton kömür üretimi gerçekleştirilmiştir. Yıllar itibarı ile örtü kazı ve linyit üretim miktarları Şekil 5'te verilmiştir.




**Şekil 4.** Örtü kazı ve kömür üretim miktarları.

Döner Kepçeli Ekskavatör sisteminin, ilk olarak işletmeye alındığı 1981 yılından bugüne kadar,geçirdiği aşamalar üç ayrı dönem halinde incelenebilir.

-1981 ile 1985 yılları arasındaki ilk dönemde bir taraftan maden makinaları devreye alınırken diğer taraftan da sistemin performansını düşüren aksaklıklar belirlenerek 1985 yılında ekipmanlarda bir takım değişiklikler yapılmıştır. Şekil 5'de görüldüğü gibi

I.dönemde, 1981 yılı hariç tutulursa, ortalama kazı verimi % 45,6, zaman verimi % 31,1 gibi planlanan rakamlardan çok düşük düzeylerde gerçekleşmiştir.

I.Dönemdeki planlanan ve gerçekleşen ortalama makina verimleri aşağıda verilmiştir.

| | Planlama | Gerçekleşme |
|---|---|---|
| **Kazı verimi (%)** | 82,4 | 45,6 |
| **Zaman verimi (%)** | 57,0 | 31,1 |

Sistemin performansını düşüren etkenler genel olarak üç grupta toplanabilir.

a) Örtü tabakasını oluşturan zeminlerin kazılabilirlik değerlerinin küçük tahmin edilmesi sonucunda görülen aksaklıklar ile seçilen kova ve uç dizaynının kazılan zeminlere uygun olmaması nedeni ile görülen çok düşük kazı verimleri,

b) Yine örtü tabakasının % 90 oranında kohezyonu yüksek zeminlerden oluşması nedeniyle görülen yapışma problemleri,

c) Diğer dizayn eksiklikleri

1981 ile 1984 yılları arasında, yukarıdaki etkenler nedeniyle, sistemde görülen aksaklıkları şu şekilde sıralayabiliriz:

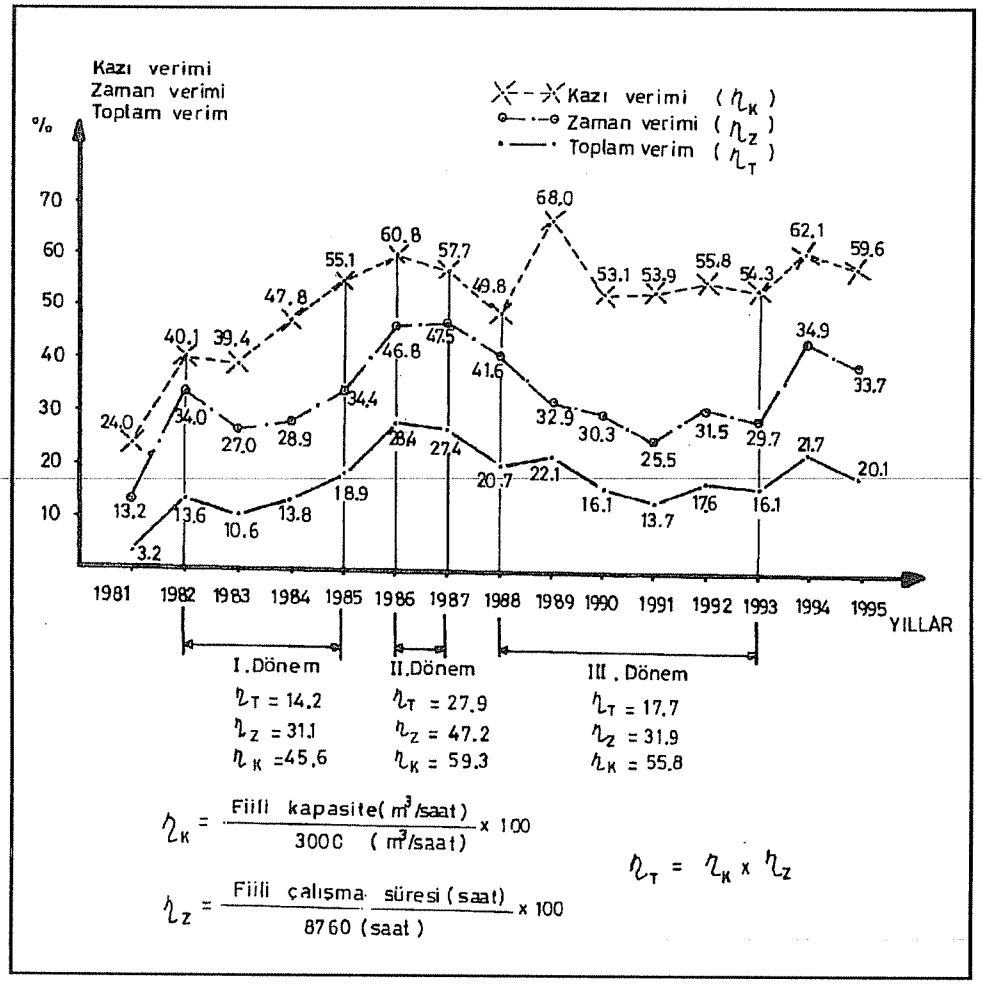
- Döner kepçe dişli kutusu arızaları ve döner kepçe ringinde görülen hasarlar,
- Bant konveyör transfer noktalarında görülen tıkanıklıklar,
- DKE' nin I.ve III.bantlarında sık sık görülen bant kaymaları,
- Bant temizlik sistemlerinde görülen aksaklıklar,
- DKE'lerin ve dökücülerin yürüyüş takımlarında meydana gelen hasarlar.

1986 ve 1987 yıllarını kapsayan ikinci dönemde yukarıda sayılan aksaklıkların büyük bir kısmı yapılan proje değişiklikleri ile aşılarak kazı verimi % 59,3 ve zaman verimi de % 42,2' ye yükseltilmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1.** I. ve II. Dönemin karşılaştırılması.

| | I.DÖNEM | II.DÖNEM | Artış (%) |
|---|---|---|---|
| **Kazı verimi (%)** | 45,6 | 59,3 | 30,0 |
| **Zaman verimi (%)** | 31,1 | 47,2 | 51,8 |
| **Toplam verim (%)** | 14,2 | 27,9 | 96,5 |

1988 ile 1995 yılları arasındaki III.Dönemde ise; gerek Termik Santralin düşük kömür talepleri gerekse madende 20 milyon ton civarında üzeri açık ve üretime hazır kömür bulunması nedeni ile 1988 ve 1989 yıllarında örtü kazı miktarı, maden planlamasını gereği olarak düşünülmüştür. Ondan sonraki yıllarda da işletmenin bant ve eklem malzemesi gibi acil ihtiyaçlarını düzenli olarak karşılamaması nedeni ile bu dönemdeki kazı verimi ortalaması % 55,8 olarak gerçekleşirken zaman verimi % 31,9' a düşmüştür (Tablo 2).




**Şekil 5.** DKE sisteminin kazı, zaman ve toplam verimleri.

**Tablo 2.** II. ve III. Dönemlerin karşılaştırılması.

| | II.DÖNEM | III.DÖNEM | Düşüş (%) |
|---|---|---|---|
| **Kazı verimi (%)** | 59,3 | 55,8 | 5,9 |
| **Zaman verimi (%)** | 47,2 | 31,9 | 32,4 |
| **Toplam verim (%)** | 27,9 | 17,7 | 36,6 |

Görüldüğü gibi kazı veriminde önemli bir düşüş olmamakla birlikte aşırı kömür stoğu, bant eksikliği vs. gibi nedenlerle III.dönemde zaman verimi % 32,4 oranında düşmüştür.

## 4. DKE + BANT KONVEYÖR + DÖKÜCÜ SİSTEMİNDE YAPILAN İYİLEŞTİRMELER

Bu bölümde sistemde performans düşüklüklerine neden olan aksaklıkların ortadan kaldırılması için yapılan çalışmalar anlatılacaktır.

### 4.1. Kova ve Uç Dizaynında Yapılan İyileştirmeler

DKE'ler ilk devreye alındığında simetrik, altı kapalı ve köşe yarıçapları 390 mm olan kovalar kullanılmış ve bunların üzerlerine de fil kulağı diye adlandırılan kesici uçlar takılmıştı. (Şekil 6.a). 1982 ve 1983 yıllarında kullanılan bu kova ve uçlar büyük sorunlar yaratmıştır.

Kazı veriminin düşük olmasının nedenleri şunlardır:

-Kovaların kapalı ve köşe yarıçaplarının da 390 mm olması nedeni ile kazılan malzemenin bir kısmı kovanın iç kısmına yapışarak kazı verimini büyük ölçüde düşürmüştür.

-Yine kovanın köşe yarıçapının büyük ve fil kulağı tipindeki ucların uzun bir kesme yüzeyine sahip olması, döner kepçe tahrik gücünün daha büyük bir kısmının sürtünme kayıpları olarak sarfedilmesine neden olmuştur (Şekil 7).

-Kova üzerine gelen sürtünme kuvvetlerinin çok yüksek olması nedeni ile, kesici ucun bağlı olduğu kemer, yükleri taşıyamaz hale gelerek çatlama ve kırılmalarla karşılaşılmıştır.

-Kovaların simetrik olması sağ ve sol kesici uçların çok farklı şekilde aşınmalarına neden olmuştur.

Kova ve uç dizaynında görülen bu dezavantajların giderilebilmesi amacıyla, önce 1984 yılında sadece kesici uç dizaynı değiştirilerek sivri uçlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu uygulama ile kazı verimi % 48'e kadar çıkarılmasına rağmen, yapışma, kırılma ve kesici uçların farklı aşınması gibi problemlere çözüm getirilememiştir.

Yukarıda bahsedilen problemlerin aşılarak kazı veriminin arttırılabilmesi için şekil 6.b'de görülen asimetrik, altı zincirli ve kemer kalınlığı 50 mm olan yeni bir dizayn geliştirilmiştir. Bu yeni kova ve kesici tasarımı ile aşağıdaki avantajlar sağlanmıştır.

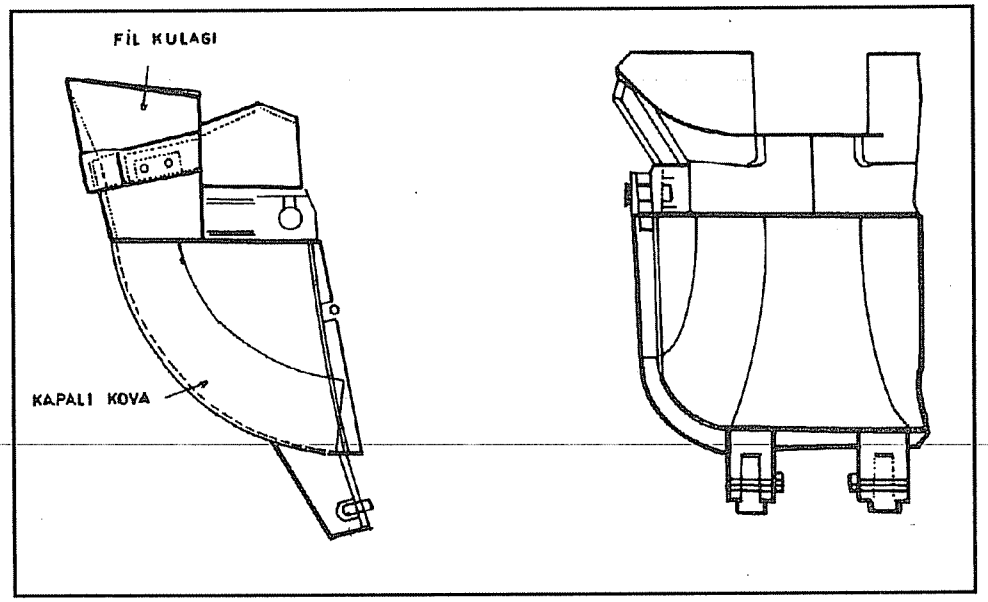
**a)** Asimetrik kovalarda sağ ve sol kesici uçlar eşit olarak aşınmaktadırlar.

**b)** Kovanın altı açılarak zincir takıldığı ve köşe yarıçapı 63 mm'ye düşürüldüğü için yapışma problemi büyük ölçüde çözülmüştür.

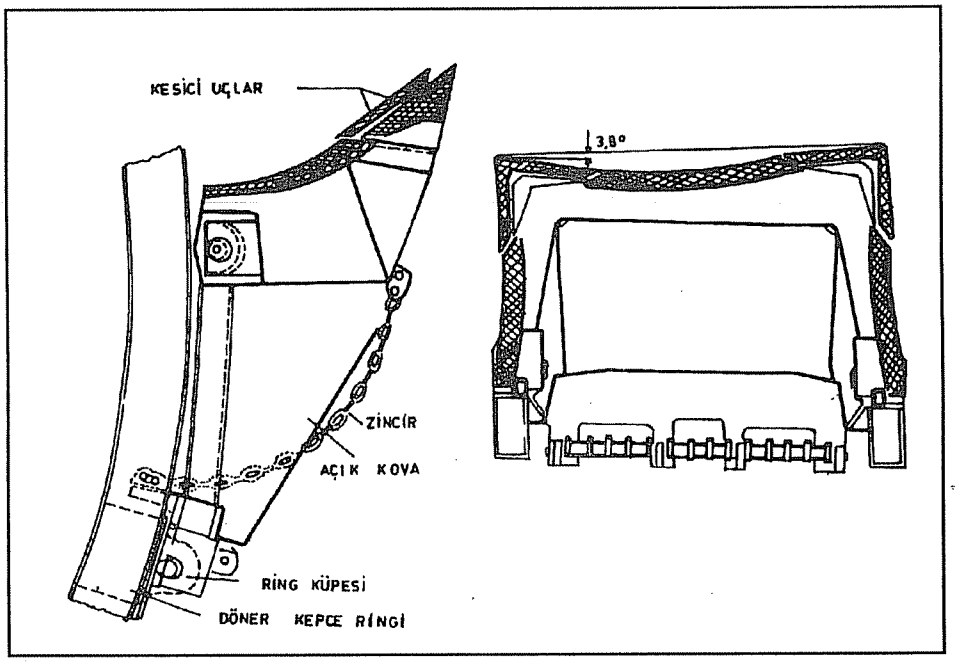
**c)** Kova yarıçapı 63 mm.'ye düşürülerek makinanın özgül kazı kuvveti 83 KN/m' ye çıkarılmıştır.

**d)** Kova kemerlerinin kalınlığı 30 mm.den 50. mm.ye çıkarılarak kırılmalar önlenmiştir.

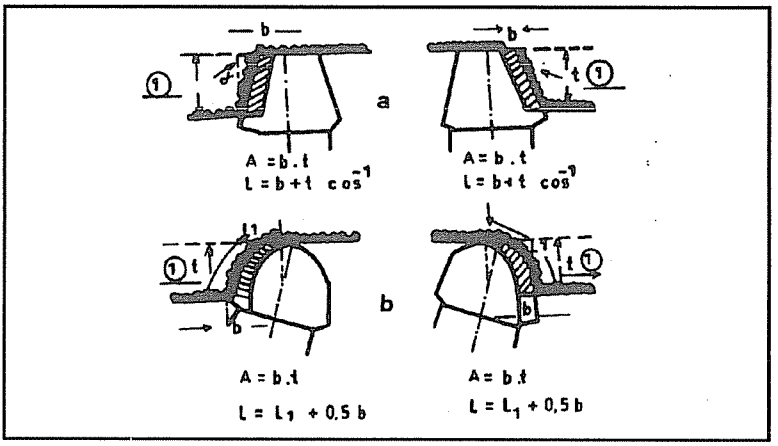
1985 yılında yapılan bu değişiklikten sonra, 1986 yılından itibaren kazı verimi % 55,8'e çıkarılmıştır. Ancak yapılan bütün bu iyileştirmelerden sonra yine de projede öngörülen % 82,4'lük kazı verimine ulaşılamamıştır.



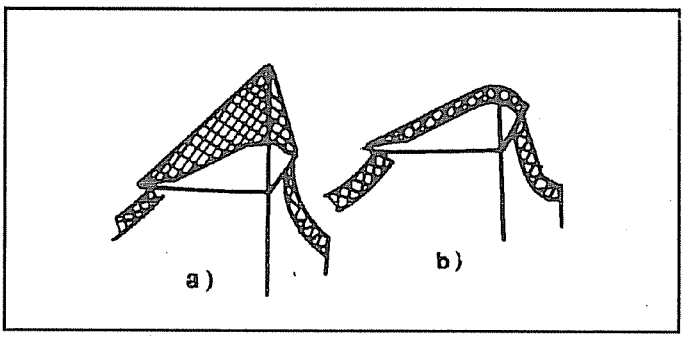

**Şekil 6. a)** Simetrik kova ve fil kulağı uçlar.




**Şekil 6. b)** Asimetrik kova ve kesici uçlar.




**Şekil 7. a)** Trapez kova, **b)** Dairesel kova.



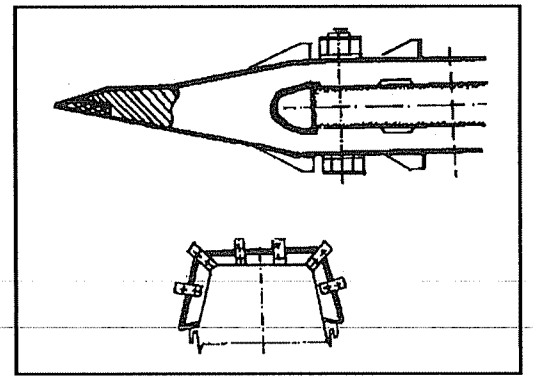

**Şekil 8.a)** Yeni bir kesici uç, **b)** Aşınmış bir kesici uç.

Kazı veriminin projede öngörülen hedeflere yaklaştırılabilmesi amacı ile yapılan araştırmalarda (Ural, 1994) uç uzunluklarının kazıcının kapasitesini önemli ölçüde etkilediği tesbit edilmiştir. Yapılan arazi deneylerinde kova uçları 40 cm iken ilk 90 saat içerisinde kazı kapasitesi 2822 $m^3$/saat ve kazı verimi % 94 olarak gerçekleştirilirken uçların boyları minimum değerlerine ulaştıklarında (12 cm), kazı kapasitesinin 1842 $m^3$ (yerinde)/saat ve kazı veriminin % 61 olduğu görülmüştür. Bu amaçla yapılan diğer ölçme deneylerinden de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Şekil 8.a' da da görüldüğü gibi uçlar yeni iken kesici ucun sivri bir forma sahip olması nedeniyle döner kepçe tahrik gücü daha verimli kullanılarak kazı verimi % 94 gibi gayet yüksek rakamlara çıkmaktadır. Uçların aşınarak daha büyük kesme yüzeyleri oluşturulması, sürtünme mukavemetini arttırarak, kazı veriminin % 50 oranında

düşmesine neden olmaktadır. (Şekil 8.b)

Kazı veriminin 2800-2900 $m^3$/saat'e çıkarılabilmesi için mevcut uç dizaynının terk edilerek kovalara tırnak tipi (ripping teeth) uçların (Şekil 9) takılması yönündeki araştırmalar devam etmektedir.



**Şekil 9.** Tırnak şeklindeki uçlar.

### 4.2. Döner Kepçe Dişli Kutusunda Yapılan İyileştirmeler

DKE'lerin devreye alınmasıyla birlikte ilk 50-100 saatlik işletme sürelerinde, 920 KW'lik döner kepçe dişli kutularında aşağıda verilen arızalarla karşılaşılmıştır.

**a)** Birinci kademe konik dişli gruplarında dişli kırılmaları,

**b)** 1. ve 2. kademe dişli gruplarında kabarma (pitting) hasarları

**c)** Kamalı geçmelerde boşluklar ve kama çiğnemesi

**d)** Bilye yataklarında ve bağlantı noktalarında kayma ve çözülmeler.

İmalat kusurlarından doğan bu hasarlar, uzun süreli duruşlara neden olmuştur. Bu hasarların redüktörlerin düşük kazı kuvvetlerine göre dizayn edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim 1988 ve 1989 yıllarında yapılan kapsamlı tadilatlar bu düşüncemizi desteklemektedir.

### 4.3. Döner Kepçe Ringinde Yapılan İyileştirmeler

1983 yılından itibaren önce 2. basamakta ve sonra da diğer basamaklarda bulunan makinaların döner kepçe ringlerinde (Şekil 10.a) enine bağlantı kirişlerinin kaynak birleştirme noktaları ile ön kesici küpe bağlantılarını taban birleştirme yerlerinde sık sık kaynak çatlakları görülmüştür. Bu durumda döner kepçenin dizaynı yapılırken aşağıdaki üç hususun yeterince değerlendirilmediği sonucuna varılmıştır. Bunlar;

**a)** Zeminlerin özgül kesme mukavemetinin küçük tahmin edilmesi nedeni ile taşıyıcı ring kutu profilinin kesiti ve malzeme boyutları küçük tutulmuştur,

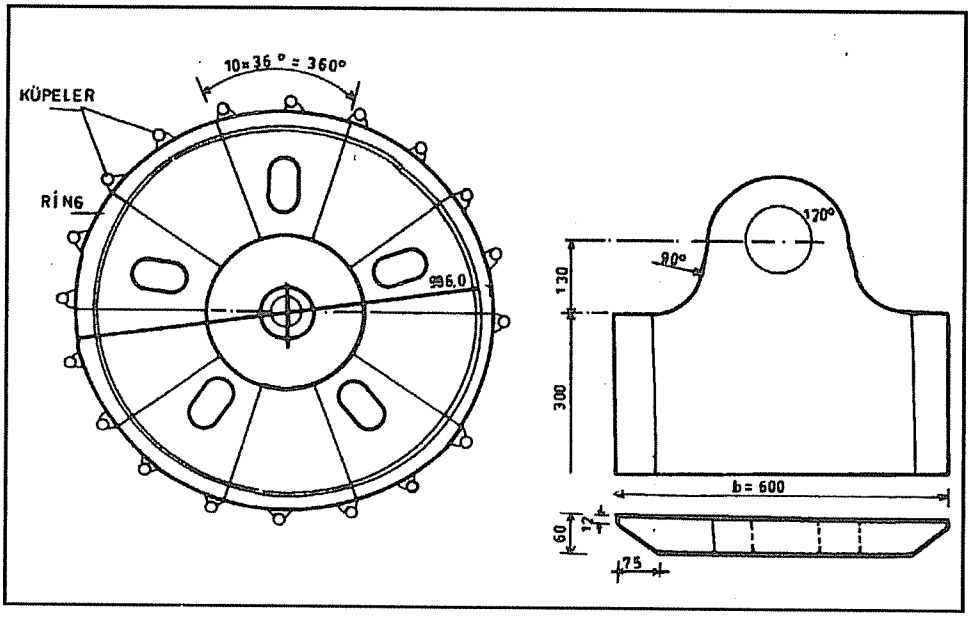
**b)** Dönerkepçe gövdesinin enine bağlantı kirişlerindeki birleşme noktalarında keskin köşeler bırakılmış ve kaynak geçişleri yuvarlatılmamıştır.

c) Kova ve önkesici küpe bağlantı ayaklarının kutu profilin içine yerleştirilmiş olması nedeni ile, bu bölgelerde yapılabilecek değişiklikleri neredeyse olanaksız kılmıştır.

Döner kepçedeki bu aksaklıkları gidermek amacı ile aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır.

a) 1986 ve 1987 yıllarında keskin köşeli kaynak geçişleri yuvarlatılmış ve yeni bağlantılar eklenmiştir.

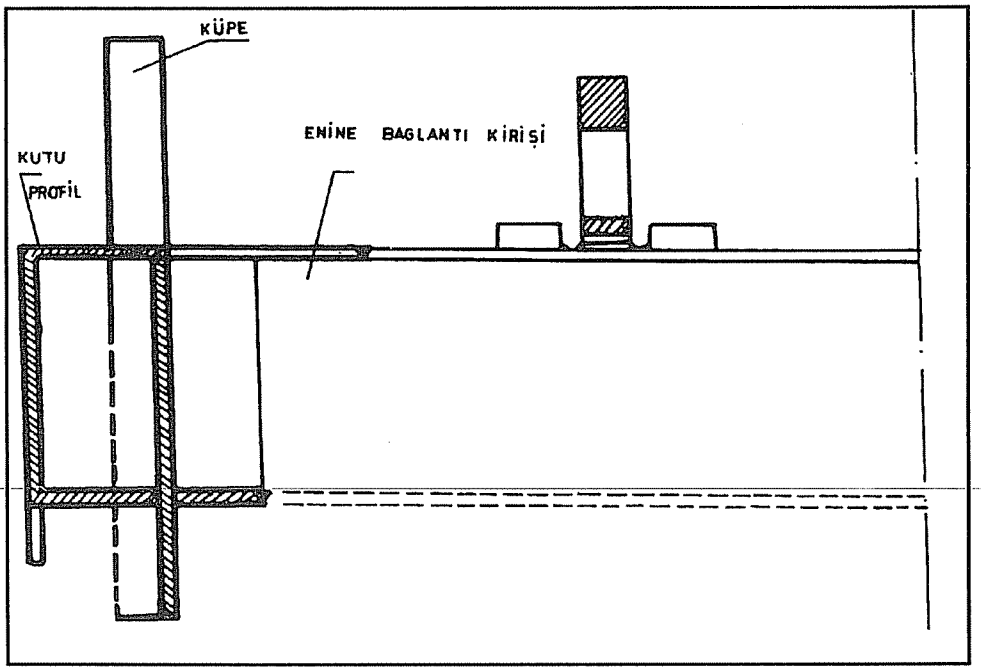
b) Döner kepçe ringinde görülen çatlaklar, önceleri kaynak tekniği ile yeniden birleştirildi ise de bir müddet sonra bu kısımlar kaynakla birleştirilmeyecek hale gelmiştir. Yapılan proje değişikleri ile (Lindner,1991) kova küpelerinin genişliği %50 oranında artırılmış (Şekil 10.b) ve küpe bağlantısının üst sacı 12mm'den 25m'ye çıkarılmıştır. Ayrıca kutu profili meydana getiren diğer saçların kalınlığı da 12mm den 15 mm'ye çıkartılmıştır (Şekil 11). Böylece kritik noktalarında hesaplanan gerilmeler %34 civarında küçültülmüştür.




**Şekil 10. a)** Döner kepçe. **b)** Ring küpesi.

**4.4. DKE'lerin ve Dökücülerin Yürüyüş Takımlarında Yapılan Değişiklikler**

Döner Kepçeli Ekskavatörler ikişerli guruplar halindeki 3 palet gurubu üzerinde hareket ederler. Her palet gurubu 52 parçadan meydana gelmiştir. Bu paletlerin göbeğindeki taşıyıcı gövdenin (Schacke) kısa sürede deforme olması sisteminde uzun süreli duruşlara neden olmaktaydı. Yapılan proje değişiklikleri ile taşıyıcı gövdeler % 40 oranında kuvvetlendirilerek bu sorun çözülmüştür.




**Şekil 11.** Döner kepçe ringi.

### 4.5. Bant Konveyör Sisteminde Yapılan Değişiklikler

Kömür stok sahası ve termik santralın külünü nakleden bant konveyörlerle birlikte, işletmedeki toplam konveyör uzunluğu 55km civarındadır.

1981 ile 1985 yılları arasında zaman veriminin çok düşük düzeylerde gerçekleştirilmesinin en önemli nedeni, bant konveyör sisteminden kaynaklanan uzun süreli duruşlardır. Bu dönemde bant konveyör sisteminde görülen aksaklıkları şu şekilde sıralayabiliriz:

**a)** Transfer noktalarında tıkanıklıklar,

**b)** Bant kaymaları ve hasarları,

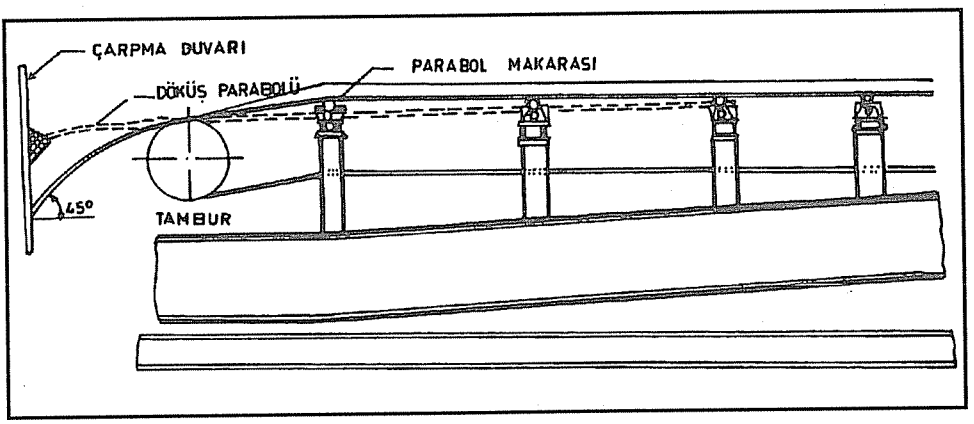
**c)** Temizlik problemleri.

Özellikle örtü tabakasının yapışkan olmasından kaynaklanan bu problemlerin ortadan kaldırılması amacı ile sistemde yapılan iyileştirmeler aşağıda anlatılmıştır.

#### 4.5.1. Transfer Noktalarında Yapılan İyileştirmeler

Transfer noktasındaki döküş parabolunun kısa olması nedeni ile çarpma duvarına gelen yapışkan malzeme burada önce bir koni oluşturmakta ve sonra da bu koni büyüyerek boğazı tıkamaktaydı. Yapılan hesaplarda, yapışkan özellikler gösteren zeminlerin döküş parabol açısının 45° olması gerektiği görülmüştür (Rodgers,1984).

Döküş parabol uzunluğunun arttırılarak açısının 45° ye getirilebilmesi için bir taraftan çarpma duvarı mümkün olduğu kadar geriye çekilirken, diğer taraftan da parabolu oluşturan makara grublarının konumları değiştirilmiştir(Şekil 12).



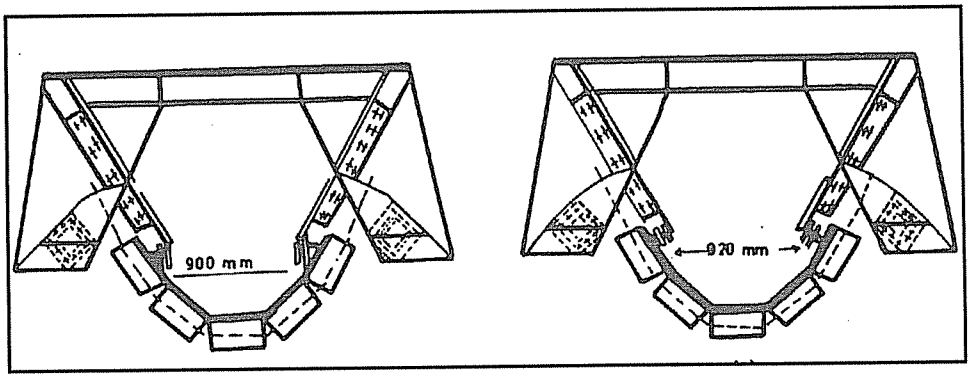

**Şekil 12.** Bant konveyör aktarma noktası.

Aktarma noktalarındaki tıkanıklıkları gidermek amacı ile yapılan diğer dizayn değişiklikleri aşağıda sıralanmıştır.

**a)** Bant teknesinin genişliği arttırılmıştır (Şekil 13.a ve b).

**b)** Bant teknelerinin yan duvarları özel plastik levhalarla kapatılarak yüzeylere malzeme yapışması kısmen önlenmiştir.

**c)** Bant teknelerindeki yan koruyucu lastik dizaynı (Şekil 13.a) değiştirilerek, daha iyi sızdırmazlık sağlayan yeni bir sistem geliştirilmiştir.(Şekil 13.b).




**Şekil 13.a)** Eski döküş teknesi. **b)** Değiştirilmiş döküş teknesi.

### 4.5.2. Bant Silgi Sisteminde Yapılan Değişiklikler

Etkili bir temizlik düzeni olmayan bant konveyörlerden yüksek verim sağlanması

olanaksızdır. Silgileri etkili olmayan bir konveyörde bantın üzerine yapışan ve boşaltma noktasından sonra da onunla birlikte dönen malzemeler bantın altına dökülebilir veya daha da kötüsü makaralara ve tamburlara sarılarak bantın kaymasına ve hasarlanmasına neden olabilir.

Bantın üzerine yapışarak büyük sorunlar yaratan bu pasaların, miktarını azaltmanın veya önüne geçmenin belki de tek yolu kafa istasyonlarındaki tamburlara yerleştirilecek, doğru dizayn edilmiş ve bakımlı, silgi sistemleridir(Stahura,1992).

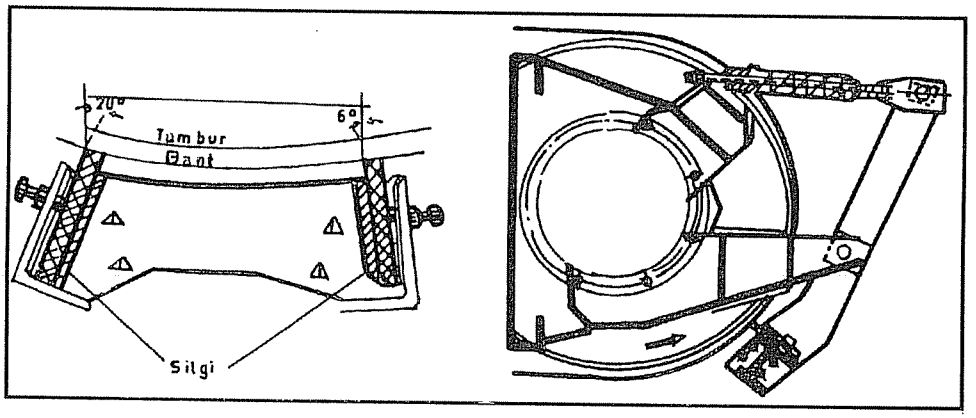
Etkili bir silgi sisteminden beklenilen özellikler şunlardır:

1- Bant yüzeyinde tam bir temizlik sağlamalıdır,

2- Bant yüzeyindeki girinti ve çıkıntılar uyum göstermelidir,

3- Uzun ömürlü olmalıdır.

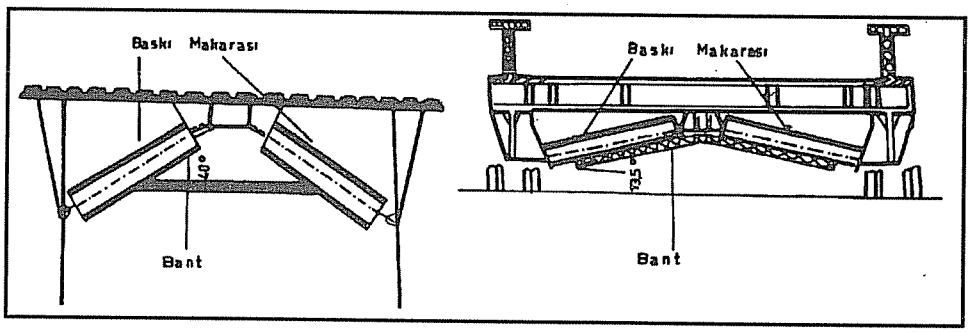
Bant konveyör sistemi devreye alındıktan sonra, tahrik tamburlarındaki silgi sisteminin (Şekil 14.a) etkisiz kaldığı görülmüştür. Bunun üzerine değişik tipte silgi sistemleri denenmiştir. Araştırmalar genel olarak baskı sistemi, silgi sıyırma açısı ve bağlantı şekilleri üzerinde yoğunlaşmış ve sonuç olarak denenen sistemler içerisinde yay baskılı silgi sistemi (Şekil 14.b) tercih edilmiştir.




**Şekil 14.a)** Eski bant silgisi. **b)** Değiştirilmiş bant silgisi.

### 4.5.3. Baskı Makaralarında Yapılan Değişiklikler

Bant kaymalarını engelleyerek, sürekli bir çalışma ortamının oluşturulması amacı ile; bant konveyörlerin kuyruk istasyonlarında, DKE' lerin I. ve III.bantlarında ve dökücülerin döküş bantlarındaki baskı makara gurublarının yatayla yaptığı açılar 40 dereceden 12-15 dereceye düşürülmüştür(Şekil 15). Böylece baskı makaralarının banta tam olarak hakim olması sağlanarak, bant kaymaları bir ölçüde önlenebilmiştir.




**Şekil 15.a)** Eski baskı makarası. **b)** Değiştirilmiş baskı makarası.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Zeminleri kazılabilirlik özelliklerini belirlemek amacıyla pek çok yöntem kullanılmasına rağmen, en güvenilir sonuçların arazide, döner kepçe üzerinde yapılan ölçmelerden elde edildiği görülmüştür. Kazılabilirlik tayininde yapılabilecek yanlışlıklar, işletmecilik aşamasında büyük problemlere neden olacağından, projelendirme aşamasında konuya gereken önem verilmelidir. Özellikle büyük yatırımlar gerektiren geniş çaplı maden projelerinde, karot numuneleri değerlendirilirken, bunların kazılabilirlik değerlerinde ayrı bir parametre olarak hesaplamalara dahil edilmeli ve zeminler kazılabilirlik değerlerine göre sınıflandırılmalıdır. Böylece döner kepçeli kazıcıların performansları, zeminlerin kazılabilirlik özelliklerine göre, ayrı ayrı değerlendirilerek daha gerçekçi bir maden planlaması yapılabilir.

Döner kepçeli ekskavatör sisteminin kazı ve zaman verimlerinin arttırılabilmesi için aşağıdaki çalışmaların yapılması gerekmektedir:

- Döner kepçenin kova ve uçları, örtü tabakasını oluşturan zeminlerin özellikleri dikkate alınarak yeniden dizayn edilmelidir,
- Konglomera, kumtaşı ve kalker gibi sert zeminlerin bulunduğu bölgelerde delme ve patlatma çalışmaları yapılmalıdır,
- Bant konveyör sistemindeki aksaklıkların kaynakları araştırılarak uzun süreli duruşlara neden olan arızaların sebepleri tespit edilmelidir.
- Kalite kontroluna gereken önem verilerek kömür satış miktarları arttırılabilir.

Kışlaköy açık işletmesi havzanın ilk ocağı olması nedeni ile projelendirme aşamasında öngörülen değerlere ilk aşamada ulaşılamaması normal görülmelidir. Nitekim Avustralya'nın Latrobe Valley, Yunanistan'ın Kardiya ve İspanya'nın Puentes kömür havzalarında da ilk aşamada benzer sorunlar yaşanmış ancak sistemde yapılan iyileştirmelerle performansı yükseltmek mümkün olmuştur.Bu nedenle Kışlaköy Açık İşletmesi' nde kazanılan deneyimler çok iyi değerlendirilerek havzada açılabilecek yeni ocakların projelendirilmesinde göz önüne alınmalıdır.

## 6. KAYNAKLAR

*Durst,W.Vogt,W., Cutting resistance of the material to be excavated, Bucket Wheel Excavator,Trans Tech Publications, 1988.*

*Lindner, Risse an den Schaufelbefestigungen am Schaufelrad, yayımlanmadı, 1991.*

*Rodgers,H.C.G., Trajectories of discharge from high speed belt conveyors, yayımlanmadı, 1982.*

*Stahura,R.P., Designing,installing and maintaining clean stable and efficient conveyor belt systems, Mining engineering, 1117-1120, 1992.*

*Ural ve arkadaşları, AEL, Kışlaköy Açık İşletmesi' nde delme-patlatma çalışmaları, yayımlanmadı, 1993.*

ISSN 1019-1011

| Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ | | Haziran/Aralık | 1995 | Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH. | |
|---|---|---|---|---|---|
| *CİLT 10* | *SAYI 1-2* | June/December | | *VOL.10* | *NO.1-2* |


# ÇUKUROVA BÖLGESİNDE KULLANILAN İTHAL VE YERLİ KÖMÜRLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

**Suphi URAL**
**Mesut ANIL**
**A.Hakan ONUR**
**M.Semih YÜKSEK**
**Mehmet YILDIRIM**
**Oktay BAYAT**
*Ç.Ü., Maden Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*
**A. Hakkı GÜVEN**
*Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana/Türkiye*

**ÖZET:** *Bu çalışmada, ülkemizdeki mevcut linyit rezervleri ısıl değer, kül, nem ve kükürt içeriklerine göre sınıflandırılarak, hava kalitesinin korunması açısından, Çukurova bölgesinde kullanılan çeşitli yakıtlar ve ithal kömürlerin standartlara uygunluğu araştırılmıştır.*

# ENVIRONMENTAL IMPACTS OF IMPORT AND DOMESTIC COAL AND UTILISATION IN ÇUKUROVA REGION

**ABSTRACT:** *In this study, the lignite reserves of Turkey is classified according to their calorific values, ash, moisture and sulphur contents. The environmental impacts of various fuels together with the import coal used in Çukurova region is investigated.*

## 1.GİRİŞ

Kömür birincil enerji kaynaklarının en önemlisidir. Enerji ise medeniyetin ve endüstrinin temelini oluşturur. Dünya, enerji ihtiyacını değişik kaynaklardan karşılamaktadır. Bunlar:

*-Kömür, petrol ve doğalgazı içine alan fosil enerji kaynakları*
*-Su kaynakları*
*-Nükleer enerji*
*-Biyogaz, odun, güneş, rüzgar, gel-git ve termal enerji gibi yenilenebilir veya alternatif enerji kaynaklarıdır.*

Bu enerji kaynaklarından fosil enerji türleri dünyanın jeolojik evrimi sırasında oluşmuşlar ve yenilenemez enerji kaynaklarıdır. Buna rağmen, günümüzde tüketilen enerjinin büyük bir bülümü bu kaynaklardan sağlanmakta olup, yakın gelecekte bunların diğer enerji kaynakları ile ikame edilmeleri de mümkün görülmemektedir (1).

Dünya fosil enerji potansiyelinin % 69'u kümür, % 18'i petrol ve % 13'ü doğalgazdan oluşmaktadır. Ayrıca Kuzey Amerika, Batı Avrupa, Uzakdoğu ve Avustralya gibi sanayileşmiş ve enerji tüketimi çok olan ülkeler, fosil enerji türlerinden, büyük kömür rezervlerine sahiptirler. Bu nedenle, son zamanlarda, kömür kullanımını arttırmak ve kömürü daha verimli ve çevreye az zararlı olarak kullanabilmek yönünde, yoğun araştırmalar yapılmaktadır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan uzun vadeli üretim planlamalarında, toplam birincil enerji üretiminin, 1994 yılında 29,6 milyon TEP'den (ton eşdeğer petrol=10500 Kcal/kg) 2000 yılında 39,5 milyon TEP'e ve 2010 yılında da 59,9 milyon TEP'e ulaşması öngürülmüştür. (Tablo 1) Toplam birincil enerji içerisinde önemli pay kömür sektörüne aittir.

## 2. TÜRKİYE'NİN LİNYİT ÜRETİM VE KULLANIM HEDEFLERİ

### 2.1 Türkiye'nin Linyit Rezervleri ve Kalitesi

Yurdumuzda bulunan fosil katı yakıtların içinde en büyük payı linyitler oluşturmaktadır. Türkiye'nin toplam linyit rezervi 8,07 milyar ton olup bunun 3,90 milyar tonu işletilebilir rezervdir. Linyitlerimiz kalite ve özellikleri bakımından büyük farklılıklar göstermektedir. Aşağıda linyitlerimiz kül, kükürt, nem ve ısıl değer açısından değerlendirilmiştir.

#### 2.1.1 Linyitlerimizin Kül İçerikleri

Özel ve kamu sektörünün ürettiği tüvenan linyit kömürlerinin içerdikleri kül oranları % 10,31 ile % 54,00 arasında değişmektedir. Linyitlerimizin kül içeriklerine göre sınıflandırılması Tablo 2'de verilmiştir. Görüldüğü gibi linyitlerimizin %96'sının kül oranı % 20'den fazla olup yüksek oranda kül içermektedir.

**Tablo 1.** Birincil Enerji Kaynakları Üretimleri (Orjinal Birimler) (3)

| YIL | TAŞ KÖMÜRÜ (BİNTON) | DİĞER LİNYİT (BİN TON) | SANTRAL LİNYİT (BİN TON) | AFŞİN ELBİSTAN (BİN TON) | TOPLAM LİNYİT (BİN TON) | ASFALTİT (BİNTON) | PETROL (BİNTON) | DOGAL GAZ (MİLY. $M^3$) | HİDROLİK (GWH) | JEOTERMAL | | GÜNEŞ (BİN TEP) | NÜKLER (GWh) | MERKEZİ ISITMA (BİN TEP) | ODUN (BİN M3) | HAYVAN VE BİT.ARTIK. (BİN TON) | TOPLAM (BİN TEP) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | ELEKTR. (GWh) | ISI (BİN TEP) | | | | | | |
| 1994 | 3467 | 17169 | 28546 | 12677 | 58392 | 750 | 3701 | 185 | 31124 | 75 | 80 | 44 | | 0 | 18272 | 10763 | 29569 |
| 1995 | 4402 | 18041 | 30488 | 14730 | 63259 | 750 | 3183 | 183 | 35821 | 90 | 215 | 51 | | 65 | 18374 | 10682 | 31106 |
| 1996 | 4454 | 18958 | 35347 | 24063 | 78368 | 750 | 2811 | 185 | 36313 | 90 | 301 | 58 | | 58 | 18591 | 10519 | 33203 |
| 1997 | 5578 | 19939 | 37454 | 24011 | 81404 | 750 | 2447 | 185 | 37924 | 90 | 422 | 65 | | 110 | 18111 | 10353 | 34537 |
| 1998 | 5578 | 20363 | 39935 | 35816 | 96114 | 750 | 2100 | 185 | 37924 | 90 | 591 | 74 | | 143 | 19034 | 10185 | 36333 |
| 1999 | 5578 | 20679 | 43400 | 35238 | 99317 | 750 | 1809 | 185 | 37924 | 90 | 828 | 83 | | 185 | 19259 | 10013 | 37069 |
| 2000 | 5578 | 21196 | 47148 | 44505 | 112849 | 750 | 1555 | 185 | 41933 | 90 | 1160 | 94 | | 241 | 19487 | 9839 | 39498 |
| 2001 | 5578 | 22539 | 48744 | 53416 | 124699 | 750 | 1339 | 185 | 46979 | 90 | 1372 | 106 | | 274 | 19515 | 9679 | 41636 |
| 2002 | 5578 | 23114 | 48461 | 58039 | 129614 | 750 | 1134 | 185 | 51803 | 90 | 1624 | 120 | | 311 | 19543 | 9220 | 42734 |
| 2003 | 5578 | 23762 | 48312 | 67157 | 139201 | 750 | 951 | 185 | 56626 | 90 | 1921 | 135 | | 353 | 19571 | 9361 | 44448 |
| 2004 | 5578 | 24388 | 49213 | 70827 | 144428 | 750 | 807 | 185 | 63132 | 90 | 2273 | 152 | | 401 | 19599 | 9303 | 46020 |
| 2005 | 5578 | 25051 | 50152 | 71898 | 147101 | 750 | 684 | 185 | 64991 | 90 | 2689 | 172 | 7017 | 456 | 19627 | 9045 | 48847 |
| 2006 | 5578 | 25750 | 49868 | 81331 | 156949 | 750 | 576 | 185 | 66651 | 90 | 3032 | 193 | 7017 | 506 | 19655 | 8887 | 50452 |
| 2007 | 5578 | 26508 | 50814 | 90732 | 168054 | 750 | 494 | 185 | 67752 | 90 | 3418 | 217 | 7017 | 561 | 19683 | 8730 | 52349 |
| 2008 | 5578 | 27231 | 55417 | 90330 | 172978 | 750 | 416 | 185 | 68547 | 90 | 3853 | 244 | 14035 | 623 | 19711 | 8573 | 55720 |
| 2009 | 5578 | 28011 | 60142 | 90826 | 178979 | 750 | 354 | 185 | 73585 | 90 | 434 4 | 274 | 1405 | 691 | 19739 | 8417 | 57917 |
| 2010 | 5578 | 28785 | 63893 | 91293 | 183941 | 750 | 299 | 185 | 77556 | 90 | 4897 | 308 | 14035 | 767 | 19767 | 8260 | 59867 |

**Tablo 2.** Türkiye'deki Linyitlerin Kül İçerikleri (2)

| Kül Aralığı, (%) | Rezervdeki Payı, (%) |
|---|---|
| Kül oranı % 10-15 den az | 1,54 |
| Kül oranı % 15-20 den az | 2,19 |
| Kül oranı % 20-25 den az | 52,37 |
| Kül oranı % 25-30 dan az | 19,03 |
| Kül oranı % 30 dan fazla | 24,87 |

### 2.1.2 Linyitlerimizin Kükürt İçerikleri

Yurdumuzdaki tüvenan linyit kömürlerinin toplam kükürt içerikleri % 0,44 ile % 9,30 arasında değişmektedir. Toplam kükürt içeriklerine göre linyit rezervlerimizin sınıflandırması Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Türkiye'deki Linyitlerin Toplam Kükürt İçerikleri (2)

| Toplam Kükürt Aralığı, (%) | Rezervdeki Payı, (%) |
|---|---|
| Toplam kükürt oranı % 0-1 den az | 3,70 |
| Toplam kükürt oranı % 1-2 den az | 68,29 |
| Toplam kükürt oranı % 2-3 den az | 14,11 |
| Toplam kükürt oranı % 3-4 den az | 5,86 |
| Toplam kükürt oranı % 4 den fazla | 8,04 |

Yukarıda görüldüğü gibi, toplam linyit rezervimizin sadece % 3,70'i % 1'den az toplam kükürt içermektedir.

### 2.1.3 Linyitlerimizin Nem İçerikleri

Tüvenan linyit kümürlerimizin nem oranları % 9 ile % 55 arasında değişmektedir. Linyit rezervimizin nem içeriğine göre sınıflandırılması Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Türkiye'deki Linyitlerin Nem İçerikleri (2)

| Nem Aralığı, (%) | Rezervdeki Pay, (%) |
|---|---|
| Nem oranı % 0-10 dan az | 0,89 |
| Nem oranı % 10-20 dan az | 14,25 |
| Nem oranı % 20-30 dan az | 14,21 |
| Nem oranı % 30-40 dan az | 13,21 |
| Nem oranı % 40 dan fazla | 57,44 |

Linyitlerimizin yarısından fazlası yüksek oranda nem içermektedir. %20'den daha az nem içeren tüvenan linyit kömürleri ise toplam rezervin sadece % 15,14'ünü kapsamaktadır.

### 2.1.4 Linyitlerimizin Isıl Değerleri

Tüvenan linyit kömürlerimizin alt ısıl değerleri 700 kcal/kg ile 5200 kcal/kg arasında değişmektedir. Tablo 5'de linyitlerimiz alt ısıl değerlerine göre sınıflandırılmıştır.

**Tablo 5.** Türkiye'deki Linyitlerin Isıl Değerleri (2)

| Isıl Değer, (kcal/kg) | Rezervdeki Pay, (%) |
|---|---|
| Isıl değeri 0-1000 kcal/kg'dan az | 1,70 |
| Isıl değeri 1000-1500 kcal/kg'dan az | 54,96 |
| Isıl değeri 1500-2000 kcal/kg'dan az | 9,40 |
| Isıl değeri 2000-2500 kcal/kg'dan az | 9,63 |
| Isıl değeri 2500-3000 kcal/kg'dan az | 17,16 |
| Isıl değeri 3000-3500 kcal/kg'dan az | 4,73 |
| Isıl değeri 3500-4000 kcal/kg'dan az | 0,59 |
| Isıl değeri 4000 kcal/kg'dan fazla | 1,83 |

Linyitlerimizin % 56,66'sı 1500 kcal/kg'dan az bir ısıl değere sahiptir. 3000 kcal/kg'ın üstünde ısıl değer verebilen linyitlerimizin, toplam rezerv içerisindeki payı ise sadece % 7,15'dir.

## 2.2. Türkiye'de Linyit Üretimi ve Kullanımı

Türkiye'de üretilen linyitlerin %70'i elektrik enerjisi üretiminde, % 17'si konutların ısıtılmasında ve % 13'ü de Sanayi sektöründe değerlendirilmektedir. Düşük kaliteli linyitler çoğunlukla termik santrallarda kullanılmaktadır. Linyitin kullanıldığı başlıca sanayi kolları, şeker ve çimento fabrikaları, tekstil, tuğla, kiremit ve boya sanayileridir. Son yıllarda TKİ ve özel sektörün ısınma ve sanayiye vermiş oldukları kömür miktarlarında düşüş olmuştur.

Taşkömürü hariç, asfaltit tüketimi dahil olmak üzere 1992 yılında Türkiye'de 51, 7 milyon ton kömür tüketildiği tahmin edilmektedir (Madencilik Özel İhtisal Komisyonu, 1993). Tüketim trendi 1988-1992 yılları arasında % 58 oranında artmıştır. Ancak bu artış trendinde aldatıcı hususlar bulunmaktadır. TKİ ve Özel Sektörün 1988 yılında teshin ve sanayi satışları 17,9 milyon ton iken bu değer 1992 yılında 16,8 milyon ton'a düşmüştür. Bunda özellikle büyük şehirlerde yerli linyitle ısınmanın yarattığı çevre kirliliğinin önlenmesi açısından doğalgaz ve ithal kömürlerin peyderpey devreye

girmiş olmasının önemli payı vardır. Yüksek kül, uçucu madde, nem ve kükürt içeren Türkiye linyitlerinin büyük çoğunluğunun kaliteleri düşüktür. Bu kömürlerin ekonomik ve teknik olarak fizibil olanlarının yıkanarak piyasaya sunulması büyük önem taşımaktadır. Alt bitümlü kömür olarak adlandırılan Soma ve Tunçbilek kömürleri dışında, üretilen diğer kümürlerin tüvenan olarak dünya piyasasında ticari pazarı olamaz. Türkiye'de üretilen liyitlerin önemli bir bölümü yıkanmadan pazara sunulduklarından ithal kömür ile kalite açısından rekabet edebilmeleri ve hava kirliliğini önleme açısından standartlara uyabilmeleri mümkün değildir.

Linyitin ana enerji kaynaklarından biri olması nedeni ile talepte büyük artış olması beklenmektedir. Büyük yerleşim birimlerinde doğalgaz dağıtımındaki gecikme ve güçlükler linyit kömürünü alternatif bir yakıt olarak ortaya çıkarmaktadır. Tablo 6'da Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanlığı ve ilgili kuruluşlarla birlikte hazırlanan orta vadeli kömür tüketim planı görülmektedir.

**Tablo 6.** Türkiye'nin Linyit Kullanım Hedefleri (1000 Ton)

| YILLAR | KONUT | SANAYİ | TERMİK SANTRAL | TOPLAM |
|---|---|---|---|---|
| 1995 | 10.181 | 7.860 | 45.213 | 63.254 |
| 2000 | 12.641 | 8.555 | 91.653 | 112.849 |
| 2005 | 14.480 | 10.571 | 122.050 | 147.101 |
| 2010 | 16.110 | 12.675 | 155.156 | 183.941 |

Kaynak: (3)

2010 Yılında linyit tüketiminin, 1995 yılına oranla, üç kat arttırılması ancak konut ve sanayi sektörlerindeki kullanım oranlarının düşürülmesi planlanmaktadır. Ayrıca artan elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için ithal kömüre dayalı termik santrallarının devreye alınması öngürülmüştür. Önümüzdeki yıllarda yerli kömür pazarının doğal gazın etkisiyle daralacağı ve ancak çok kaliteli ve çevreye en az zarar veren kömürlerin pazarlanabilme imkanı olacağı tahmin edilmektedir.

## 3. KÖMÜR KULLANIMININ ÇEVRESEL ETKİLERİ

Fosil yakıtların çeşitli amaçlarla kullanımı, hava kirliliğinin başlıca nedeni olarak bilinmektedir. Fosil yakıtların yanması sonucu, inorganik kirleticiler olarak sınıflandırılan kükürt oksitleri ($SO_X$), azot oksitleri ($NO_X$),karbon monoksit, organik kirleticiler olarak sınıflandırılan hidrokarbonlar (HC) ve partiküler maddeler olarak adlandırılan toz, duman vb.oluşmaktadır.

### 3.1. Kükürt Oksitleri

En çok üzerinde durulan hava kirleticiler olan $SO_x$'ler; $SO, SO_2, SO_3, SO_4, S_2O_3$ ve $S_2O_7$ olmak üzere 6 farklı kimyasal yapıda olabilmektedir. Bunlar arasında ise $SO_2$ ve $SO_3$ hava kirliliği çalışmalarında en önde gelmektedir. A.B.D.Çevre Koruma Örgütünce belirtildiğine göre, 470 mg/m$^3$ düzeyindeki $SO_2$ kirliliğine 1 saatten fazla maruz kalınan yerlerde ölümler beklenilmektedir.

### 3.2. Azot Oksitleri

Gaz halinde bulunabilen altı azot oksit bileşiği olarak; NO, $NO_2, N2O_3, N2O_4$ ve $N2O_5$ bilinmektedir.Bu altı bileşik arasında,azot monoksit (NO) ve azot dioksit($NO_2$) önemli miktarlarda atmosfere bırakılan kirleticiler olarak tanımlanmaktadır. $NO_2$ havada su buharı ile birleşerek $HNO_3$ ve $HNO_2$ asitlerini oluşturmakta ve yağmur ile yeryüzüne dönmektedir.

Kanda bulunan hemoglobin ile birleşerek, kanın oksijen taşıma kapasitesini etkileyen NO, atmosferde belli oranlarda bulunduğunda insan sağlığına olumsuz etki yapmaktadır. Sınır değer 1,22 mg/m$^3$ olarak verilirken, bu düzeyin altında insan sağlığında olumsuz bir etki beklenmemektedir

### 3.3. Karbon Monoksit

Tam olmayan yanma sonucu oluşan karbon monoksit (CO) kandaki hemoglobin (Hb) ile kompleks (COHb) oluşturmakta, hemoglobinin oksijen taşıma kapasitesini etkileyerek çok ciddi etkiler yapabilmektedir (Tablo 7).

**Tablo 7.** COHb'nin insan sağlığına etkileri

| Kanda COHb düzeyi(%) | Etki |
|---|---|
| < 1,0 | Yok |
| 1,0-2,0dan az | Davranış bozukluğu |
| 2,0-5,0 dan az | Sinir sisteminde bozukluk |
| 5,0-10,0 dan az | Kalp ve akciğer fonksyonlarında anormalik |
| 10,0-80,0 dan az | Baş ağrısı, solunum yetmezliği, ölüm. |

### 3.4 Partiküler Madde

Organik ya da inorganik bileşimleri olabilen partiküler maddeler, çok değişik nedenlerle oluşabilmektedir. Bu kirleticiler insan sağlığını solunum sistemi yoluyla etkilemektedir.

### 3.5. Çevre Açısından Kömürlerimizin Değerlendirilmesi

A.B.D.'de 1970 yılında kabul edilen "Temiz Hava Yasası", havaya verilebilecek en fazla $SO_X$ miktarını 2,16 kg/$10^6$ kcal olarak sınırlandırılmıştır. Bu durumda, ısıl değeri 6900Kcal/kg olan bir kömür esas alındığında, A.B.D.de Çevre Koruma Bürosu (EPA)'nın standartlarının tutturulabilmesi için, kömürdeki yanar kükürt oranının en fazla % 0,84 olması gerekmektedir (4).

EPA koşullarına göre yurdumuzdaki linyit kömürlerinin hiçbirinin doğrudan yakılmaya elverişli olmadığı ve yıkanarak kalitelerinin arttırılmasının zorunlu olduğu ortaya çıkmaktadır.

### 3.6. Yakıtların Kükürt Dioksit Emisyonlarının Karşılaştırılması

Baca gazlarındaki kükürt dioksit derişimleri yakıtların yanar kükürt içerikleri, tipik elementel analizleri ve yakmada kullanılan hava fazlasına dayanılarak hesaplanabilir. Böyle bir analiz sonucu Tablo 8'de verilmiştir.

**Tablo 8.** Baca Gazlarındaki Kükürt Dioksit Değişimi

| Yakıt Türü | Yanar Kükürt Oranı (%) | Baca Gazlarında* $SO_2$ derişimi | | $SO_2$Emisyonu kg$SO_2$/$10^6$kcal |
|---|---|---|---|---|
| | | % | mg/m$^3$ | |
| Linyit (3000) Kcal/kg) | 2,0 | 0,35 | 10.000 | 13,13 |
| Taşkömürü (7000 Kcal/kg) | 2,0 | 0,16 | 9.200 | 5,71 |
| Linyit (6000 Kcal/kg) | 0,5 | 0,05 | 1.400 | 1,67 |
| Fuel-Oil (9500 Kcal/kg) | 3 | 0,19 | 5.400 | 6,32 |
| Özel Kalorifer Yakıtı (10.000 Kcal/kg) | 1,5 | 0,10 | 2.900 | 3,00 |
| Petrokok (8500 Kcal/kg) | 5,0 | 0,50 | 14.000 | 11,76 |

*% 15 hava fazlası kullanıldığı varsayılmıştır.

## 4. ÇUKUROVA BÖLGESİNDE KULLANILAN İTHAL KÖMÜRLERİN ÖZELLİKLERİ

Türkiye'de kömür ve petrokok ithalatı Çevre Bakanlığının iznine tabidir. Türkiye'ye ithal edilecek kömürlerin kükürt içeriğinin en fazla, kuru temelde % 1,1, alt ısıl değerinin ise orijinal temelde en az 5500 Kcal/kg olmasına izin verilmektedir (Tablo 9).

**Tablo 9.** İthal Kömürde Aranan Özellikler (5).

| | |
|---|---|
| Alt ısıl değeri | 6000 Kcal/kg (± 500) |
| Kükürt oranı | %1 (±0,1) |
| Uçucu Madde | %12-22 (±1) kuru temelde |
| Nem oranı | %10 (±1) orijinal numunede |

Güney Afrika, Rusya ve Amerika'dan ithal edilerek Çukurova ve Güneydoğu Andolu Bölgesinde kullanılan kömürler bu kükürt sınırlamasına uygundur. İthal kömürlerin özelliklerine ilişkin bilgiler Tablo 10'da verilmiştir.

**Tablo 10.** Çukurova ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Kullanılan İthal Kömürlerin Analizleri ve Kükürt Dioksit Emisyonları (5).

| Örnek No | Kül (kt,%) | Uçucu Madde (kt,%) | Sabit karbon (kt,%) | Yanar kükürt (kt,%) | Toplam kükürt (kt,%) | Üst ısıl değeri (kcal/kg) | $SO_2$ emisyonu (kg $SO_2/10^6$ Kcal) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 20,21 | 25,04 | 54,75 | 0,32 | 0,32 | 6485 | 0,49 |
| 2 | 16,96 | 25,73 | 57,31 | 0,35 | 0,35 | 6487 | 0,54 |
| 3 | 14,23 | 25,11 | 60,66 | 0,50 | 0,71 | 6692 | 0,75 |
| 4 | 19,72 | 19,50 | 60,78 | 0,48 | 0,91 | 6347 | 1,51 |
| 5 | 19,57 | 19,78 | 60,65 | 0,43 | 0,86 | 6468 | 1,33 |
| 6 | 19,17 | 20,60 | 60,23 | 0,35 | 0,76 | 6496 | 1,08 |
| 7 | 20,41 | 18,83 | 60,76 | 0,46 | 0,99 | 6257 | 1,47 |
| 8 | 20,33 | 21,73 | 57,94 | 0,32 | 0,74 | 6385 | 1,00 |
| 9 | 18,67 | 17,38 | 63,95 | 0,38 | 0,67 | 6514 | 1,17 |
| 10 | 21,67 | 19,11 | 59,22 | 0,42 | 0,88 | 6278 | 1,34 |
| 11 | 19,46 | 20,46 | 60,08 | 0,40 | 0,94 | 6313 | 1,27 |
| 12 | 22,10 | 19,32 | 58,58 | 0,30 | 0,77 | 6164 | 0,97 |
| Ortalama | 19,38 | 21,05 | 59,58 | 0,39 | 0,74 | 6407 | 1,08 |

Görüldüğü gibi ithal edilen kömürlerin kükürt dioksit emisyonu, ortalama olarak, 1,21 kg $SO_2/10^6$ Kcal olmaktadır. Bu emisyon A.B.D. Çevre Koruma Örgütü standartı olan 2,16 kg $SO_2/10^6$ Kcal sınır değerinin altındadır.

Ayrıca Çukurova Bölgesinde satışa sunulan kömür biriketlerinden alınan numuneler üzerinde yapılan kimyasal ve petrografik analizler sonucunda bazı numunelerin kükürt içeriklerinin yüksek olduğu ve bu biriketlerin imalatlarında ithal kömür ile birlikte pekrokok kullanıldığı belirlenmiştir (Tablo 11).

**Tablo 11** . Çukurova Bölgesinde Kullanılan Kömür Biriketlerinin Analizleri ve Kükürt Dioksit Emisyonları (5).

| Örnek No | Kül (kt,%) | Uçucu Madde (kt,%) | Sabit karbon (kt,%) | Yanar kükürt (kt,%) | Toplam kükürt (kt,%) | Üst ısıl değeri (kcal/kg) | $SO_2$ emisyonu (kg $SO_2/10^6$ Kcal) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 22,90 | 21,20 | 55,90 | 0.70 | 1,04 | 5848 | 1,97 |
| 2 | 32,31 | 37,70 | 29,94 | 4,52 | 6,53 | 5028 | 8,99 |
| 3 | 29,89 | 26,89 | 43,22 | 1,11 | 2,19 | 5308 | 2,09 |
| 4 | 10,81 | 19,15 | 70,04 | 3,81 | 5,52 | 7613 | 5,00 |

Çevre Bakanlığının ısınma amaçlı petrokok için verdiği sınır değerlerde kükürt için en fazla, kuru temelde, %1,1, alt sınır değer ise orijinal temelde 7000 Kcal/kg'dır. Ancak bu nitelikteki petrokokun fiyatı, ısınma amacı ile kullanılabilecek yakıt fiyatlarının çok üzerindedir. Çevre Bakanlığının "Çevrenin Korunması Yönünde Kontrol Altında Tutulan Maddelere İlişkin Tebliği"i sanayinin kalsine petrokok ihtiyacının yanısıra, çimento fabrikalarına ve modern teknoloji ile çalışan ve reküperasyonlu kireç fabrikalarına petrokok ithal izni verilmekte ve ithal edilecek petrokokun kükürt içeriğini kuru temelde en fazla % 5,1 ile sınırlandırmıştır.

Devlet İstatistik Enstitüsünden (DİE) 1992-1994 döneminde, petrokok kullanan dört çimento fabrikası ve toplam altı döner fırın için elde edilen verilere göre, söz konusu tesislerin baca gazlarındaki ortalama kükürt dioksit derişimi, 50-70 $mg/m^3$ düzeyindedir. Bu değer, Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'nde yakma tesisleri için belirlenmiş en kısıtlayıcı kükürt dioksit emisyon sınırı olan 400 $mg/m^3$ sınırının çok altındadır. Ayrıca, yine DİE'den elde edilen bilgilere göre yakıt paçalarında petrokok bulunan ve bulunmayan döner fırınların kükürt dioksit emisyonları arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır (6). Çimento fabrikalarının kullanmakta olduğu yakıtların yanmasıyla oluşan kükürt dioksit derişiminin bu yakıtların kükürt içeriklerine bağlı olarak 3.000-10.000 $mg/m^3$ düzeyinde olması beklenirken, çimento tesisleri atık gazlarında ölçülen kükürt dioksit derişiminin 50-70 $mg/m^3$ düzeyinde kalması, çimento üretim sürecinde yanma ile oluşan kükürt dioksitin hemen hemen tümüyle çimento hammaddesinde tutulduğunu göstermektedir.

Çukurova Bölgesinin en büyük kömür stoklama sahasına sahip olan Toros Gübre A.Ş'ye ait liman tesislerinde değişik hava ve çalışma koşullarında havada asılı partikül madde miktarları ölçülmüştür.

Liman sahasında yapılan incelemelerde, çeşitli ülkelerden gemilerle ithal edilen linyit, taşkömürü, metalurjik kok ve petro kok gibi farklı özelliklere sahip kömürlerin kamyonlarla firmalara tahsis edilen kömür stok sahalarına nakledildikleri ve burada

çeşitli eleme ayırma ve paketleme işlemlerinden sonra tüketime sunuldukları görülmüştür. Bu işlemler sırasında çalışma şartlarına bağlı olarak, ortama önemli ölçüde değişik boyutlarda toz ve partiküllerin karıştığı görülmüştür.

AFC-123 ıs kişisel filtreli toz ölçme cihazı ile, değişik hava ve çalışma koşullarında yapılan toz ölçüm sonuçları Tablo 12 ve Tablo 13'de verilmiştir.

**Tablo 12.** Rüzgarsız ve kısmi çalışma koşullarındaki toz ölçüm sonuçları.

| Ölçüm No | İklim Koşulları | Çalışma Şartları | Ölçülen Toz Miktarı ($\mu g/m^3$) |
|---|---|---|---|
| 1 | Hava Açık, Rüzgar Yok | Çalışma Yok | 298 |
| 2 | " | Çalışma Yok | 325 |
| 3 | " | Elekler Çalışıyor | 362 |
| 4 | " | Elekler ve Loder Çalışıyor | 392 |
| 5 | " | Çalışma Yok | 297 |
| 6 | " | Elekler Çalışıyor | 351 |

**Tablo 13 .** Rüzgarlı ve tam kapasite çalışma koşullarındaki toz ölçüm sonuçları.

| Ölçüm No | İklim Koşulları | Çalışma Şartları | Ölçülen Toz Miktarı ($\mu g/m^3$) |
|---|---|---|---|
| 1 | Hava Rüzgarlı | Tam Kapasite | 805 |
| 2 | " | " | 910 |
| 3 | " | " | 942 |
| 4 | " | " | 1058 |
| 5 | " | " | 891 |
| 6 | " | " | 878 |

Yukarıdaki tablolarda verilen ölçüm sonuçları 02.11.1986 tarih ve 19269 sayılı Resmi Gazete de yayınlanan Hava Kalitesini Koruma Yönetmeliğinde belirtilen Uzun Vade Sınır (UVS) değeri olan 200 $\mu g/m^3$ sınırını (işletmenin aldığı kısmi tedbirlere rağmen) geçtiği görülmüştür.

Bu olumsuzlukların giderilebilmesi için, Liman alanındaki stok sahalarında, limite ulaşan toz emisyonuyla start verecek sensörlü otomatik fiskiye sisteminin kurulması, işçilere kişisel toz maskelerinin kullandırılması ve yasaların öngördüğü işe giriş muayeneleri ile 6 aylık periyodik muayenelerin aksatılmaması gerekmektedir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

-İthal kömürler ile kalite açısından sadece Tunçbilek ve Soma kömürleri rekabet edebilmektedir. Türkiye'de üretilen linyitlerin önemli bir bölümü yıkanmadan pazara sunulduklarından, ithal kömür ile, kalite açısından rekabet edebilmeleri ve hava kirliliğini önleme açısından standartlara uyabilmeleri mümkün değildir. Bu kömürlerin ekonomik ve teknik açıdan fizibil olanları yıkanarak piyasaya sunulmaları gerekir.

-Konut ve Sanayi Sektöründeki linyit kömürü kullanımının 2000 yılında 21,1 milyon ton ve 2010 yılında da 28,8 milyon ton'a çıkarılması hedeflendiğine göre; iç dengeleri bozmayacak, yerli kömür madenciliğini öldürmeyecek ve arz-talep açığını kapatmaya yönelik nitelikli kömür ithalatına devam edilmesi zorunludur.

-Yerleşim birimlerinde ısınma amaçlı kullanılan tüm yakıtların kükürt içeriklerine,birim ısıl değer esasına göre kükürt dioksit emisyonlarını da dikkate alarak,sınırlamalar getirilmelidir.

-Çimento hammaddesindeki kirecin kükürt dioksiti büyük ölçüde tutması nedeni ile,yakıt içerisindeki kükürt,çimento sanayi için çevre sorunu değildir. Bu nedenle çimento sanayi için, Hava Kalitesinin Korunması Yönetmenliği'nde yer alan 400 $mg/m^3$ kükürt dioksit emisyon sınırlamasına ek olarak, kullanılan petrokok veya diğer yakıtların kükürt içeriklerine ilişkin kısıtlamalara gerek bulunmamaktadır.

Akdeniz bölgesinin en önemli limanları arasında yer alan Toros Gübre A.Ş. Liman Tesislerindeki Kömür stok sahaları alt yapısı ile birlikte ele alınarak, çevreye zarar vermeyecek şekilde rehabilite edildiği takdirde uzun yıllar boyunca, bölge illerinin yakıt ihtiyacının karşılanması amacıyla ithalatın yapılabileceği en önemli limandır.

## 6. TEŞEKKÜR

Yazarlar; çalışmaya kimyasal analizlerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Adana Çimento Sanayii T.A.Ş. ve özellikle de Genel Müdür Sayın A.Göngör TÜMER ve kendileriyle sıkı işbirliğinde bulunan Adana Çevre İl Müdürlüğü yetkililerine teşekkür etmeyi borç bilirler.

## 7. KAYNAKLAR

1. *Kemal, M., Dünyada kömür kullanım eğilimi ve 2000 yıllarında Kömür, kömür teknolojisi ve kullanımı semineri, Didim, 1993.*

2. *Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Enerji hammaddeleri alt komisyonu kömür-bitümlü şist çalışma gurubu raporu, MTA, Ankara, 1993.*

3. *WASP Modeli ile Uzun Dönem Üretim-Tüketim İncelemesi, TEK, APK, Ankara, 1994.*

4. *Özbayoğlu, G.,Yüksek kül ve kükürt içerikli Türk linyitlerinden bazılarının yıkanabilirlik özelliklerinin saptanması, Doçentlik Tezi, ODTÜ, Ankara, 1982.*

5. *Adana çimento Sanayii TAŞ. Labaratuarları, Adana,1 996.*

6. *Çulfaz, A., Gürüz, G., Özbayoğlu, G., Petrokok ve çevresel etkileri, Araştırma Raporu, ODTÜ, Ankara, 1994.*

## YAZIM KURALLARI

Gönderilecek makaleler, Mühendislik Bilimleriyle ilgili başka bir yerde yayınlanmamış orijinal bir araştırma niteliğinde olmalıdır. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilmez. Yazı dili Türkçe ve İngilizce'dir. Dergi ofset tekniği ile basıldığından makaleler Macintosh veya Macintosh uyumlu bilgisayarla yazılmış, biri orijinal ikisi fotokopisi 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 ifadeli olmalıdır. Başlık büyük harflerle ve sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Makale 1,5 satır aralıkla yazılmalıdır. Alt başlıklarla ilk paragraf ve parağraflar arasında 1,5 aralık bırakılmalıdır. Yazar ad ve soyadları ünvan 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 birlikte en fazla 15 sayfa olmalıdır. Ancak kısaltılması mümkün olmayan makalelerin yayınlanmasında yayın kurulu yetkilidir. Şekil ve grafikler çini mürekkep ile aydınger kağıdına veya beyaz kuşe kağıda çizilmeli, resimler parlak fotoğraf kartına siyah-beyaz ve net basılmış olmalıdır.

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

Başlıklar 1.,2., ve alt başlıklar 1.1., 1.2.,.... v.b. numaralandırılıp alt başlıklar küçük harflerle, fakat kelime başharfleri büyük olarak yazılmalıdır. Metindeki eşitlikler (1), (2),... v.b. 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, ingilizce başlık ve özet, metin, teşekkür (gerekli ise) ve kaynaklar. Özetler en az beş, en fazla 10 satır olmalıdır. Özetten sonra makalenin ingilizce 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. İkiden 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 başharfi, yazarın soyadı, makalenin adı (yalnız ilk kelimenin baş harfi büyük), derginin adı veya varsa kısaltılmış adı, dergi cilt ve sayısı, parantez içinde yılın 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.

Makalesi yayınlanan yazarlara bir adet dergi, 10 adet ayrı baskı gönderilir, ancak telif hakkı ödenmez. Dergiye gönderilen yazılar yayınlansın veya yayınlanmasın iade edilmez. Makaleleri yayınlama yetkisi dergi yayın kuruluna aittir.

Yayınlanması istenen makaleler aşağıdaki adrese gönderilmelidir.

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Dergi Yayın Kurulu Başkanlığı
01330 Balcalı-ADANA
Tel: (322) 338 63 57 Fax:(322) 338 61 26

Dairesel Çubukların Düzlemi İçindeki Serbest Titreşimi
*In Plane Free Vibration of Circular Bars*
Vebil YILDIRIM, Gökhan ELBİR ..... 103

Bilgisayar Destekli İşmili Tasarımı
*Computer Aided Design of Machine Tool Spindle*
Ali ÜNÜVAR ..... 115

Reküperatif Tip Eşanjörlerde Verim Ölçümü
*Measurement of Efficiency in Recuperative Type Heat Exchangers*
R.Tuğrul OĞULATA, Ayşe KÜÇÜK ..... 135

Sürgülü Yön Kontrol Valflerinde Viskoz Sürtünme Kuvvetleri
*Viskous Frictional Forces in Spool Type Directional Control Valves*
Erdem KOÇ, Emel Ceyhun SABIR ..... 147

CNC Torna Tezgahlarında Kesme Parametrelerinin
Teorik ve Deneysel Analizi
*Theoretical and Experimental Analysis of Cutting*
*Parameters on CNC Turning Machines*
Erdem KOÇ, Ertuğrul ÜNVER ..... 161

Effect of Ozonation on Biodegradability of Substituted Aromatic Compounds
*Ozonlamanın Susbtitue Aromatik Bileşiklerin Biyolojik*
*Parçalanabilirliklerine Etkisi*
Şermin GÜL, Osman SERİNDAĞ , Hamit BOZTEPE ..... 177

Toxicity Measurement of Sulphur Black 1, Sulphur Blue
and Sulphur Brown 5 Textile Dyes
*Sülfür Siyah, Sülfür Mavi ve Sülfür Kahverengi 5 Tekstil*
*Boyar Maddelerinin Toksisite Tayini*
Şermin GÜL, Selahattin SERİN ..... 185

Demir Korozyonu Üzerine Tiyoürenin İnhibitör Etkisi
*Inhibitor Action of Thiourea on Iron Corrosion*
Birgül YAZICI ..... 191

Sağkaya (Adana) Alanının Stratigrafisi
*Stratigraphy of the Sağkaya (Adana) Area*
Müzeyyen ŞEVKİN, Cengiz YETİŞ ..... 203

Sondaj Kuyularında Formasyon ve Sondaj Akışkanlarına Bağlı Görülen
Kuyu Sorunları, Yapılması Gereken İşlemler ve Yöntem Seçimi
*Problems to be Met at Drilling Well Depending on the Formation and*
*Drilling Mad and Towards the Select of Solution the These Problems*
Mesut TONÇER, Mesut ANIL ..... 211

Madencilikte Aydınlatmanın İş Güvenliği, İşçi Sağlığı ve Üretkenlik
Üzerindeki Etkisi
*The Effects of Mine Lighting on Safety, Health and Productivity*
M.Semih YÜKSEK, Gündüz ÖKTEN ..... 221

Afşin-Elbistan Linyit Havzasındaki Döner Kepçeli Ekskavatör-
Band Konveyör-Dökücü Sisteminde Yapılan İyileştirmeler
*The Improvement of the Bucket Wheel Excavator-Belt Conveyor-*
*Spreader System in Afşin-Elbistan Lignite Basin*
Suphi URAL, A.Hakkı GÜVEN, A.Hakan ONUR, Mesut ANIL ..... 233

Çukurova Bölgesinde Kullanılan İthal ve Yerli Kömürlerin Çevresel Etkileri
*Environmental Impacts of Import and Domestic Coal Utilisation in*
*Çukurova Region*
Suphi URAL, Mesut ANIL, A.Hakan ONUR, M.Semih YÜKSEK ,
Mehmet YILDIRIM, Oktay BAYAT, A. Hakkı GÜVEN ..... 251