



CİLT 9  
VOL.

SAYI 1-2  
NO

Aralık 1994  
December

ISSN 1019-1011

İÇİNDEKİLER  
(CONTENTS)

The Frictionless Contact Problem of an Elastic Layer Resting on a Rigid Flat Base with Parallel Trenches <i>Paralel Çukurları İçeren Bir Yarım Uzay Üzerindeki Tabakanın Sürtünmesiz Temas Problemi</i> Orhan AKSOĞAN, Cüneyt AKKAYA .....	1
Düzlem Çerçeve Sistemlerin Mod Süperpozisyon Metodu ile Zorlanmış Titreşim Analizi <i>Forced Vibration Analysis of Planar Frame Systems by Mode Superposition Technique</i> Hüseyin YERLİ, Erhan KIRAL .....	13
Pürüzsüz Açık Kanal Akımında Hız Dağılımının L.D.A. ile İncelenmesi <i>Investigation of Velocity Distribution in Smooth Open Channel Flow Using L.D.A.</i> Mehmet ARDIÇLIOĞLU, M.Salih KIRKGÖZ .....	21
The Analysis of Frames Consisting of Members Connected to Their Rigid End Sections by Nonlinear Rotational Springs <i>Uçlarındaki Rijit Bölgelere Nonlinear Dönel Yaylarla Bağlanmış Çubuklardan Oluşan Düzlemsel Çerçevelerin Analizi</i> Hakan ERDEM, Orhan AKSOĞAN .....	33
Mekanik Radyal Yüze Sızdırmazlık Elemanlarının Hidrolik Dengesi-Teorik Yaklaşım <i>Hydraulic Balance of Mechanical Radial Face Seals- Theoretical Approach</i> Emel Ceyhun SABİR, Erdem KOÇ .....	47
Cisim Uyumlu Ağ Yapısı Tasarımının Kompleks Akış Geometrilerine Uygulanışı <i>Application of Body Orientated Mesh Generation to Complex Flow Geometries</i> Hüseyin AKILLI, Beşir ŞAHİN .....	65
Nümerik Kontrollü Tezgahlarda Kapalı Devre Kontrol Sistemi Uygulanması <i>An Application of Closed Circuit Control System on Numerical Controlled Machine Tools</i> Erdem KOÇ, Ömer EMİR .....	73

**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.Ü.)

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)

Hamit BOZTEPE (Ç.Ü.)

Orhan BÜYÜKALACA (Ç.Ü.)

Cengiz DÜNDAR (Ç.Ü.)

Gaye ERBATUR (Ç.Ü.)

Mehmet ERBİL (Ç.Ü.)

Mahir FUSUNOĞLU (Ç.Ü.)

Necdet GEREN (Ç.Ü.)

Celal KORAÇLI (K.S.Ü.)

Halit PASTACI (Y.T.Ü.)

Selahattin SERİN (Ç.Ü.)

Naki TÜTÜNCÜ (Ç.Ü.)

Birgül YAZICI (Ç.Ü.)

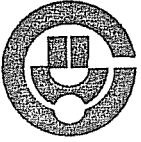
**YAZIŞMA ADRESİ:**

Ç.Ü.Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

Dergi ve Yayın Kurulu Başkanlığı

01330 Balcalı/ADANA

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



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ  
DERGİSİ



ÇUKUROVA UNIVERSITY  
JOURNAL OF FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT 9  
VOL.

SAYI 1-2  
NO

Aralık 1994  
December

ISSN 1019-1011

İÇİNDEKİLER  
(CONTENTS)

- The Frictionless Contact Problem of an Elastic Layer Resting on a Rigid Flat Base with Parallel Trenches  
*Paralel Çukurları İçeren Bir Yarım Uzay Üzerindeki Tabakanın Sürtünmesiz Temas Problemi*  
Orhan AKSOĞAN, Cüneyt AKKAYA ..... 1
- Düzlem Çerçeve Sistemlerin Mod Süperpozisyon Metodu ile Zorlanmış Titreşim Analizi  
*Forced Vibration Analysis of Planar Frame Systems by Mode Superposition Technique*  
Hüseyin YERLİ, Erhan KIRAL ..... 13
- Pürüzsüz Açık Kanal Akımında Hız Dağılımının L.D.A. ile İncelenmesi  
*Investigation of Velocity Distribution in Smooth Open Channel Flow Using L.D.A.*  
Mehmet ARDIÇLIOĞLU, M.Salih KIRKGÖZ ..... 21
- The Analysis of Frames Consisting of Members Connected to Their Rigid End Sections by Nonlinear Rotational Springs  
*Uçlarındaki Rijit Bölgelere Nonlinear Dönel Yaylarla Bağlanmış Çubuklardan Oluşan Düzlemsel Çerçevelerin Analizi*  
Hakan ERDEM, Orhan AKSOĞAN ..... 33
- Mekanik Radyal Yüze Sızdırmazlık Elemanlarının Hidrolik Dengesi-Teorik Yaklaşım  
*Hydraulic Balance of Mechanical Radial Face Seals- Theoretical Approach*  
Emel Ceyhan SABİR, Erdem KOÇ ..... 47
- İsimsiz Uyumlu Ağ Yapısı Tasarımının Kompleks Akış Geometrilerine Uygulanışı  
*Application of Body Orientated Mesh Generation to Complex Flow Geometries*  
Hüseyin AKILLI, Beşir ŞAHİN ..... 65
- Nümerik Kontrollü Tezgahlarda Kapalı Devre Kontrol Sistemi Uygulanması  
*An Application of Closed Circuit Control System on Numerical Controlled Machine Tools*  
Erdem KOÇ, Ömer EMİR ..... 73

Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğinde Sanayi Tesisleri ve Bazı Ölçüm Değerleri <i>Industrial Plants and Some Measurements of Emission in the View of the Regulation of Air Quality Protection</i> R. Tuğrul OĞULATA, Beşir ŞAHİN .....	89
Yerden Isıtma Sistemleri ve Tasarım Özellikleri <i>The Floor Heating Systems and Their Design Properties</i> R. Tuğrul OĞULATA, Ayşe KÜÇÜK .....	97
Orifislerde Laminar Akışın Sonlu Farklar Yöntemiyle İncelenmesi <i>Investigation of Laminar Flow Around Square-Edge Orifices</i> Hüseyin CEYHAN, Beşir ŞAHİN .....	107
Bakırın Atmosferik Korozyonuna Klorür İyonu Etkisinin Bağlı Neme Bağlılığı <i>Dependence on Relative Humidity of the Effect of Chloride Ions on the Atmospheric Corrosion of Copper</i> İlyas DEHRİ, Mehmet ERBİL.....	123
Synthesis of a Novel Catalyst for Organic Reactions in Aqueous Media <i>Sulu Ortam Organik Tepkimeleri için Yeni Bir Katalizör Sentezi</i> Osman SERİNDAĞ, Raymond D.W. KEMMİTT .....	129
Tabii Kısıtlayıcılarda (Orifis/Kılcal boru) Küçük Reynolds Sayılarındaki Akışın Deneysel Analizi <i>The Experimental Analysis of Flow with Low Reynolds Numbers in Natural Throttlers (Orifice/Capillary Tube)</i> Suat CANBAZOĞLU, Fazıl CANBULUT .....	135
Ultrasonik Spektral Dağılımın ve Frekansa Bağlı Zayıflamanın Doppler Ölçme Sonucuna Olan Etkisi <i>The Effect of Ultrasonic Spectral Distribution and Frequency Dependent Attenuation on the Doppler measurement Results</i> İnan GÜLER.....	153
Adana Havzası Tersiyer Yaşlı Güvenç Formasyonu'nun Nannoplankton Biyostratigrafisi ve Bazı Rölatif Batimetrik Verileri <i>Nannoplankton Biostratigraphy and Some Relative Bathymetric Data of the Tertiary Aged Güvenç Formation at the Adana Basin</i> Nimet ÖZÇELİK, Vedia TOKER, Cengiz YETİŞ.....	167
Akinek-Dorucali-Çanakpınar (Aladağ Kuzeyi, Adana) Kromit Yatakları ve Ekonomik Değerlendirmesi <i>Chromite Deposits of Akinek-Dorucali-Çanakpınar (North of Aladağ, Adana) and Their Economic Evaluation</i> Mesut ANIL, Hasan YILDIZ, Mustafa AKYILDIZ .....	183
Gümüşler (Niğde) Yöresinin Jeolojisi ve Petrografisi <i>Geology and Petrography of Gümüşler (Niğde) Area</i> Fikret İŞLER, Hasan BÜYÜKGIDİK .....	207
Parametrik Programlama Tekniğinin Üretim Planlama ve Kar Analizinde Kullanımı <i>The Use of Parametric Programming Techniques in Production Planning and Profit Analysis</i> A. KOKANGÜL, R. TAGİYEV .....	217
İmalat Sektöründe Kalite Güvence Sistemi <i>Quality Assurance System in the Manufacturing Sector</i> Funda KAHRAMAN, O. Tuğrul GÖNCEL.....	227
Dökümhanelerde İstatistikî Proses Kontrol <i>Statistical Process Control in the Foundries</i> Funda KAHRAMAN, O. Tuğrul GÖNCEL.....	235

**THE FRICTIONLESS CONTACT PROBLEM OF AN ELASTIC LAYER  
RESTING ON A RIGID FLAT BASE WITH PARALLEL TRENCHES****Orhan AKSOĞAN and Cüneyt AKKAYA***Çukurova University, Department of Civil Engineering, Adana/Turkey*

**ABSTRACT :** *In this research, the plane contact problem of an infinite elastic layer lying on a rigid flat base with some parallel trenches is considered. The layer is under the effect of a general loading normal to its free surface. The problem is formulated by employing the exponential Fourier transform which yields a singular integral equation containing the unknown functions (the stress distributions in the contact regions) of the problem. A computer program has been developed for solving this equation by a collocation method which employs Chebyshev polynomials. Some results found for certain symmetric cases coincide with those present in the literature. Stress distributions for different loading and geometry conditions and the variations of the widths of the contact regions with the width of a single long prismatic trench is investigated. All of the foregoing results have been checked by a sophisticated finite element program called PAFEC (1).*

**PARALEL ÇUKURLARI İÇEREN BİR YARIM UZAY ÜZERİNDEKİ  
TABAKANIN SÜRTÜNMESİZ TEMAS PROBLEMİ**

**ÖZET :** *Bu araştırmada, paralel çukurları içeren rijit bir yarım uzayın üzerindeki sonsuz bir elastik tabakanın sürtünmesiz temas problemi ele alınmaktadır. Tabaka serbest yüzeyine etki eden, düzlemsel probleme göre genel bir normal yükke yüklenmiştir. Problem üssel Fourier dönüşümü ile formüle edilmiş ve problemin bilinmeyen fonksiyonlarını (temas bölgelerindeki gerilme dağılımları) içeren bir tekil integral denklem elde edilmiştir. Chebyshev polinomlarından yararlanan bir kolokasyon yöntemi ile bu denklemi çözen bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bazı simetrik özel durumlar için bulunan sonuçlar literatürde bulunanlarla karşılaştırılarak üstüste düştükleri görülmüştür. Değişik yük ve geometri durumları için gerilme dağılımları ve bir tek uzun çukurun genişliği ile temas bölgelerinin genişliklerinin değişimleri incelenmiştir. Bu sonuçların hepsi PAFEC adlı kapsamlı bir sonlu elemanlar paket programı ile kontrol edilmiştir.*

## 1. INTRODUCTION

Despite the fact that the present research concerns itself with an academic subject, it is a well known fact that contact problems are encountered, nowadays, more often than before. A good example is the pavement of a highway or the landing area of an airport. In such cases, by certain assumptions and approximations, the structure can be taken as an elastic layer resting on a rigid flat base. In certain cases, this rigid base may involve some discontinuities in the form of prismatic (or cylindrical) trenches.

Keer, Dunders and Tsai (2) have investigated the contact problem of an elastic layer resting on an elastic half space. The authors have used exponential Fourier transform technique for the plane problem and Hankel transform for the axisymmetric one, to obtain Fredholm integral equations in each case. The authors have taken the contact stresses as the unknown functions. Due to the fact that the problem is symmetric, there is one unknown length of contact region to be found and this contact region has been shown not to change with the intensity but the distribution of the loading.

Ratwani and Erdoğan (3) have investigated the same problem, applying the load by means of a rigid punch, which they took to be frictionless. The problem has been solved using the stresses in the two contact regions as unknowns. The singular integral equations for the case of flat ended punch being homogeneous the contact region between the layer and the half space, for this case, has proved to be independent of the intensity of the loading. However, for the case of curved punch the length of the contact region under the punch depending on the intensity of the loading, the problem becomes nonlinear. Hence, for the latter case, the contact region gets wider as the intensity of the load increases.

Erdoğan and Gupta (4) have studied the problem of a frictionless rigid punch pressed onto an elastic wedge using the Mellin transform technique. Due to the fact that the geometry is not symmetric, the angle of rotation of the punch shows up as an additional unknown of the problem which is found using the appropriate side condition.

Later Aksoğan (5) solved the problem of a wedge acted on by more than one punch without any need for a new formulation making use of the results given by Erdoğan and Gupta (4). This was rendered possible by Aksoğan's extension of the numerical technique of the former authors (6) to multi-part mixed boundary value problems (7).

Civelek, Erdoğan and Çakıroğlu (8) solved the problem in (3) for the case when the layer rested on a flat rigid base and the weight of the layer could not be disregarded. The authors analysed the cases of continuous and discontinuous (receding) contact problems separately, taking the critical condition of starting tensile stresses for the former case as the initial point for the latter one. The same problem was handled once more by Geçit (9), only this time the layer rested on an elastic half space.

Moreover, Geçit also considered the case in which the loading on the free surface of the elastic layer was tensile instead of being compressive. Contrary to the results of previous studies, the stresses on the interface were found to be dependent on the material constants (shear modulus and Poisson's ratio) of the two media.

Boduroğlu and Delale (10) solved Geçit's problem (9) taking into consideration possible frictional effects in the contact region. The method of analysis and the numerical technique is the same as those of the foregoing studies. However, the singular integral equation for this problem was of the second kind as a consequence of the frictional force term. As a result of this study it has been shown that the extent of the contact region increases with friction and this, in turn, smoothens the stress peaks.

The case of discontinuous base has been taken into consideration by Erdoğan and Ratwani (11) who considered an elastic layer loaded at the top and supported by two elastic quarter spaces at the bottom. Taking only the symmetric case into consideration, the authors solved the problem as a plane strain problem.

## 2. FORMULATION OF THE PROBLEM

As seen in Fig.1 the problem considered in this research pertains to an elastic layer pressed onto a rigid flat base, with a discontinuity in the form of a very long strip, by a normal nonsymmetrical general loading applied on its free surface. The problem, being a plane strain problem, is attacked by using exponential Fourier transform for which the transform and inverse transform expressions for a function  $f(x)$  defined in the  $(-\infty < x < +\infty)$  interval are, respectively, as follows:

$$\bar{f}(\alpha) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)e^{i\alpha x} dx \quad f(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \bar{f}(\alpha)e^{-i\alpha x} dx \quad (1)$$

Moreover, the transforms of the derivatives are given by

$$\bar{f}^{(r)}(\alpha) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{d^r f(x)}{dx^r} e^{i\alpha x} dx = (-i\alpha)^r \bar{f}(\alpha) \quad (2)$$

provided that

$$\lim_{|x| \rightarrow \infty} \frac{d^n f(x)}{dx^n} = 0, \quad (n=1,2,\dots,r-1) \quad (3)$$

As is well known, in the absence of body forces, in terms of Airy stress function  $\phi(x,y)$ , stress components are given by

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \quad \tau_{xy} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} \quad (4)$$

which satisfy the equilibrium equations and the corresponding form of the compatibility equation is the biharmonic equation

$$\nabla^4 \phi(x,y) = \nabla^2 [\nabla^2 \phi(x,y)] = 0 \quad (5)$$

where

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \quad (6)$$

Applying the Fourier transform to (5) and making use of (2)

$$\left[ \frac{d^2}{dy^2} - \alpha^2 \right]^2 \bar{\phi}(\alpha,y) = 0 \quad (7)$$

The general solution of (7) can be given as

$$\bar{\phi}(\alpha,y) = (A + By)e^{-|\alpha|y} + (C + Dy)e^{|\alpha|y} \quad (8)$$

As a final part of the preparations for treating the problem in hand, taking Fourier transforms of stress components and employing (2)

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_x &= \frac{d^2 \bar{\phi}}{dy^2} \\ \bar{\sigma}_y &= -\alpha^2 \bar{\phi} \\ \bar{\tau}_{xy} &= i\alpha \frac{d \bar{\phi}}{dy} \end{aligned} \quad (9)$$

Substituting expression (8) in expressions (9) the stress components are found as follows:

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_x &= |\alpha| [ (|\alpha|A + B(|\alpha|y - 2))e^{-|\alpha|y} + (|\alpha|C + D(|\alpha|y + 2))e^{|\alpha|y} ] \\ \bar{\sigma}_y &= -\alpha^2 [ (A + By)e^{-|\alpha|y} + (C + Dy)e^{|\alpha|y} ] \\ \bar{\tau}_{xy} &= i\alpha [ (A + By)(-|\alpha|e^{-|\alpha|y}) + (C + Dy)(|\alpha|e^{|\alpha|y}) + De^{|\alpha|y} ] \end{aligned} \quad (10)$$



*THE FRICTIONLESS CONTACT PROBLEM OF AN ELASTIC LAYER  
RESTING ON A RIGID FLAT BASE WITH PARALLEL TRENCHES*

Now, returning to the problem of concern, which is seen in Fig.1, the boundary conditions for the elastic layer in terms of stresses only are:

$$\begin{aligned} \sigma_y(x,h) &= T(x) \\ \tau_{xy}(x,h) &= 0 \\ \sigma_y(x,0) &= S(x) \\ \tau_{xy}(x,0) &= 0 \end{aligned} \tag{11}$$

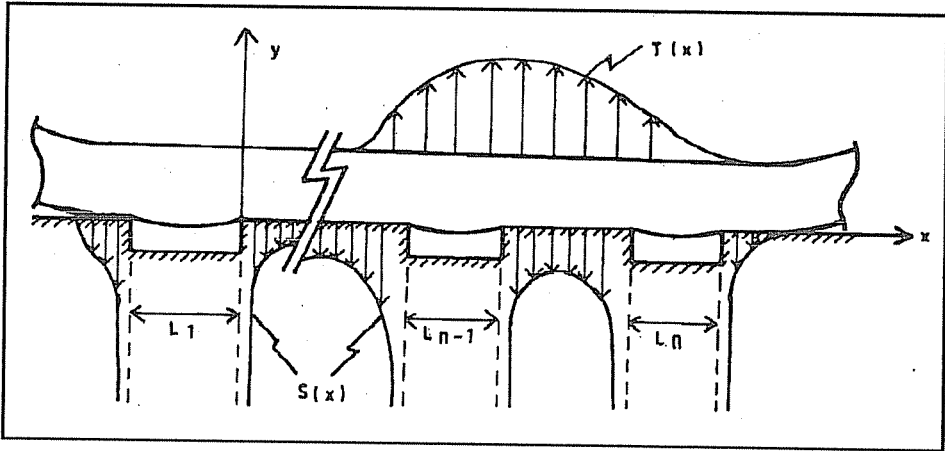


Fig.1. General Setting of the Problem.

where  $T(x)$  is the known applied normal stress on the upper surface of the strip and  $S(x)$  is the unknown normal contact stress on the lower surface of the strip.

Taking the transforms of Eqs. (11), using (10) and letting

$$e^{\alpha h} = e, \quad \frac{\bar{T}(\alpha)}{\alpha} = T, \quad \frac{\bar{S}(\alpha)}{\alpha} = S, \quad |\alpha| = k \tag{12}$$

the constants in the Airy stress function (8) are found as follows:

$$\begin{aligned} A &= \frac{[-2khe^2(kh-1) + e^2(e^2-1)]S + [-e(e^2-1) - khe(e^2+1)]T}{-4k^2h^2e^2 + (e^2-1)^2} \\ B &= \frac{[-ke^2(1-e^2) + 2k^2he^2]S + [-ke(e^2-1) - 2k^2he]T}{-4k^2h^2e^2 + (e^2-1)^2} \end{aligned} \tag{13-a}$$

$$C = \frac{[-2khe^2(kh+1) + (1-e^2)]S + [e(e^2-1) + khe(e^2+1)]T}{-4k^2h^2e^2 + (e^2-1)^2} \quad (13-b)$$

$$D = \frac{[-k + ke^2 + 2k^2he^2]S + [-ke^3 + ke - 2k^2he^3]T}{-4k^2h^2e^2 + (e^2-1)^2}$$

The integral equation of the problem will undoubtedly come from the mixed boundary conditions in the contact region. For this purpose the x derivative of v, the vertical displacement, is found as

$$\frac{dv}{dx} = \frac{1+\nu}{2\pi E} \int_{-\infty}^{+\infty} \left[ (1+\nu) \frac{d^3 \bar{\phi}}{dy^3} + (-2+\nu) \alpha^2 \frac{d \bar{\phi}}{dy} \right] e^{-i\alpha x} (i\alpha) \frac{d\alpha}{\alpha} \quad (14)$$

by making use of Eqs. (1-2) and the strain-displacement relations pertaining to plane strain case.

If Airy stress function given by (8) is substituted in (14) and simplifications are made

$$\begin{aligned} \frac{dv}{dx} = \frac{1+\nu}{2\pi E} \int_{-\infty}^{+\infty} & \left[ (1-\nu) \left[ -A|\alpha|^3 e^{-|\alpha|y} - B(|\alpha|^3 y - 3|\alpha|^2) e^{-|\alpha|y} \right. \right. \\ & \left. \left. + C|\alpha|^3 e^{|\alpha|y} + D(|\alpha|^3 y + 3|\alpha|^2) e^{|\alpha|y} \right] \right. \\ & \left. + (-2+\nu) \alpha^2 \left[ -A|\alpha| e^{-|\alpha|y} - B(|\alpha|y - 1) e^{-|\alpha|y} \right. \right. \\ & \left. \left. + C|\alpha| e^{|\alpha|y} + D(|\alpha|y + 1) e^{|\alpha|y} \right] \right] (-i\alpha) e^{-i\alpha x} \frac{d\alpha}{\alpha} \quad (15) \end{aligned}$$

Now, substituting the expressions of the constants A, B, C and D from (13), employing the results given in reference (12),

$$\frac{dv}{dx} = \frac{1-\nu}{\mu\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \left[ \left[ \frac{1}{t-x} + k_1(x,t) \right] S(t) dt + k_2(x,t) T(t) dt \right] \quad (16)$$

*THE FRICTIONLESS CONTACT PROBLEM OF AN ELASTIC LAYER  
RESTING ON A RIGID FLAT BASE WITH PARALLEL TRENCHES*

where nonsingular Fredholm kernels are given explicitly as

$$k_1(x,t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \left[ 2e^{2\alpha h} + 4\alpha^2 h^2 e^{2\alpha h} - 2 + 4\alpha h e^{2\alpha l} \right] \frac{-\sin \alpha (t-x)}{\beta^*} d\alpha \quad (17)$$

$$k_2(x,t) = \int_{-\infty}^{+\infty} 2 \left[ e^{\alpha h} - \alpha h e^{\alpha h} - e^{3\alpha h} - \alpha h e^{3\alpha h} \right] \frac{-\sin \alpha (t-x)}{\beta^*} d\alpha$$

in which

$$\beta^* = e^{4\alpha h} - 2e^{2\alpha h} + 1 - 4\alpha^2 h^2 e^{2\alpha h} \quad (18)$$

Since the layer being considered rests on the rigid flat base, the slope value becomes zero in the contact regions and

$$\frac{1+K}{4\pi\mu} \int_{-\infty}^{+\infty} \left[ \frac{1}{t-x} + k_1(x,t) \right] S(t) dt + k_2(x,t) T(t) dt = 0 \quad (x \in L_c) \quad (19)$$

where  $K=3-4\nu$  and  $L_c$  expresses the union of the contact regions. This integral equation can be written, after revising by taking the known terms to the right side and leaving the terms involving the unknown function on the left, as follows:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \left[ \frac{1}{t-x} + k_1(x,t) \right] S(t) dt = - \int_{-\infty}^{+\infty} \left[ k_2(x,t) T(t) dt = 0 \right] \quad (x \in L_c) \quad (20)$$

For the solution of the problem, along with this integral equation, one needs additional relations which are the side conditions of the problem. Those relations are deduced from the equilibrium of the strip, as a whole, in the following forms:

$$\int_{L_c} S(t) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} T(t) dt \quad \int_{L_c} S(t)t dt = \int_{-\infty}^{+\infty} T(t)t dt \quad (21)$$

### 3. NUMERICAL SOLUTION

Singular integral equation (20) with the pertinent side conditions (21) were solved numerically by a well-known method given by Erdoğan and Gupta (6), in the form which was later amended by Aksoğan (7). The solution of (20) using this method depends on the number of trenches on one hand and the number of separation (receding) points on the other. Each new point of separation necessitates the determination of an additional unknown distance along the contact line of the strip with the rigid base. Each new trench, on the other hand, increases the number of isolated contact regions by one, even if there is no additional separation point. Each separate section of contact area needs be treated separately and there can occur three different types of them. Both ends of the region being at a sharp corner of two trenches which are next to each other, both ends being at points of separation, and the two ends being at mixed types of points are the three possible cases which, respectively, have indices +1, -1 and 0. These indices determine which type of Chebyshev polynomials must be used to determine the collocation and the integration points in the corresponding region of contact. Each point of separation necessitates an additional iteration for the determination of the unknown length of contact, all iterations being interdependent. The procedure for the determination of the points of collocation and integration being given in the pertinent literature (6,7), no attempt will be made to go into such details.

All of the foregoing results have been checked by employing a sophisticated finite element computer program called PAFEC (1). The results were in good agreement with an error in the worst case of 3%.

### 4. NUMERICAL RESULTS AND DISCUSSION

Two kinds of applications of the computer program will be considered in this section. One is the solution of special problems which have been solved in previous literature, for the purpose of comparison. The other is to consider different loadings and examine the variation of the lengths of the contact regions and the distribution of the stresses in the contact region.

In Fig.2 the results of three similar cases of uniform and concentrated forces are drawn together for the purpose of comparison. The distance from the point of singularity is normalized with respect to the length of contact and the stress is normalized with respect to uniform load  $q$  or to  $P/h$  where  $P$  is the concentrated force at midpoint. The total load was constant for all cases.

THE FRICTIONLESS CONTACT PROBLEM OF AN ELASTIC LAYER RESTING ON A RIGID FLAT BASE WITH PARALLEL TRENCHES

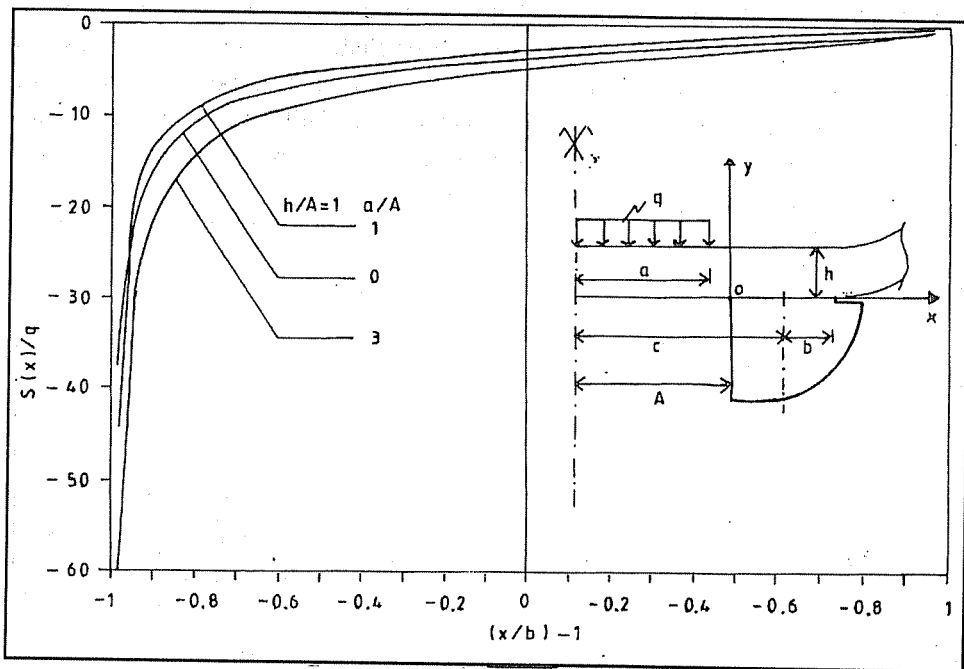


Fig.2. The Results for Different Distributions of a Constant Loading.

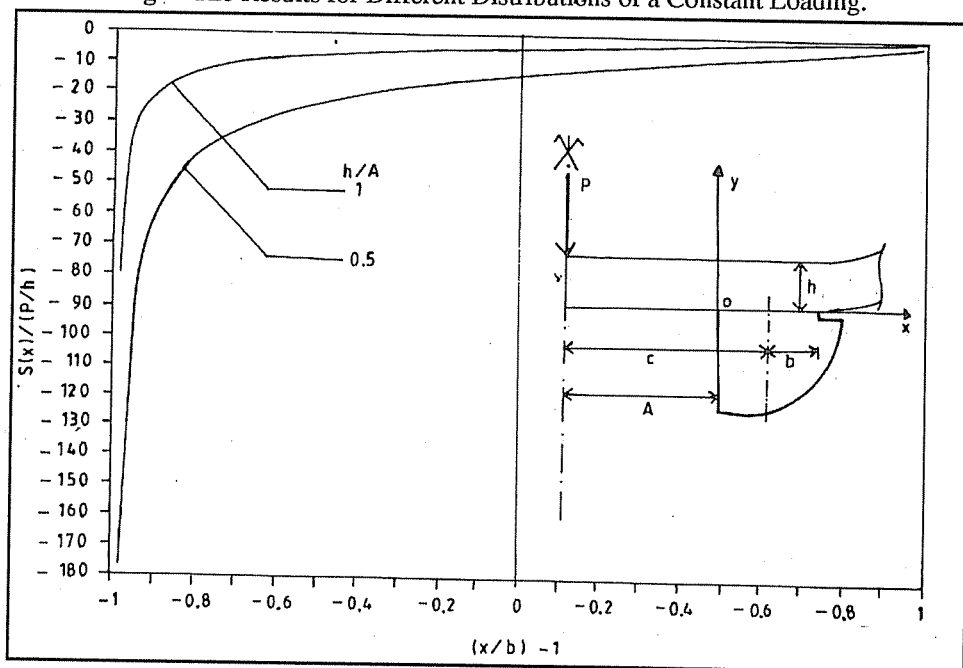


Fig.3. The Results for a Concentrated Force at Midpoint.

In Fig.3 the results of a concentrated force at midpoint for two thickness/span ratios are drawn together. There is a normalization similar to that of the previous case. In Fig.4 the results of a nonsymmetrical uniform loading of two different eccentricities are drawn together, again, for comparison purposes. A similar normalization, to those of the previous cases, is employed and the given results are for the right side where the extended eccentric part of the loading exists.

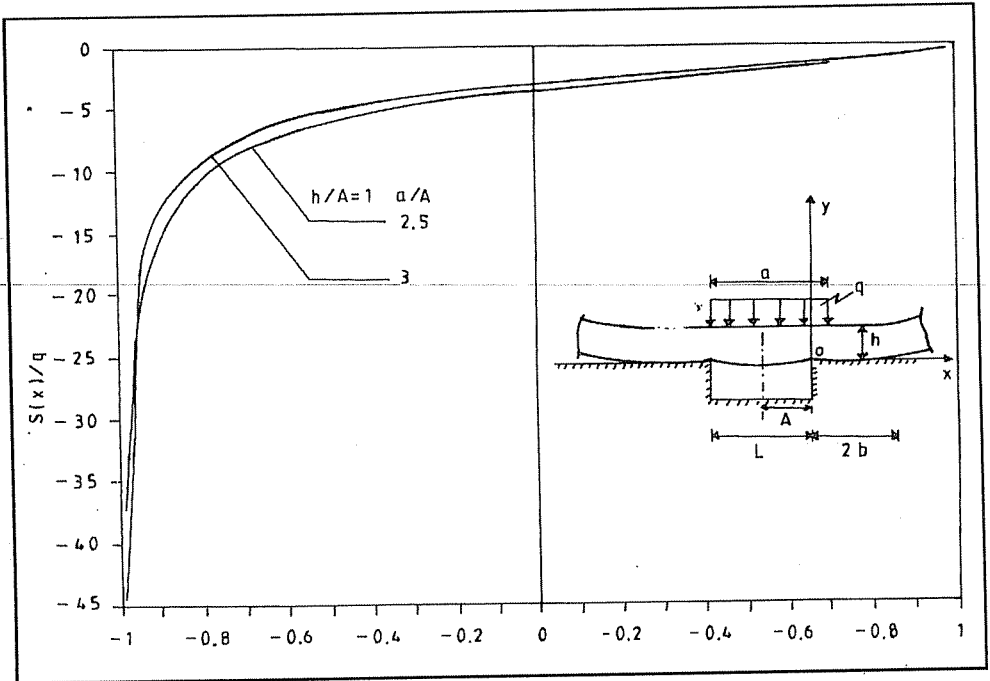


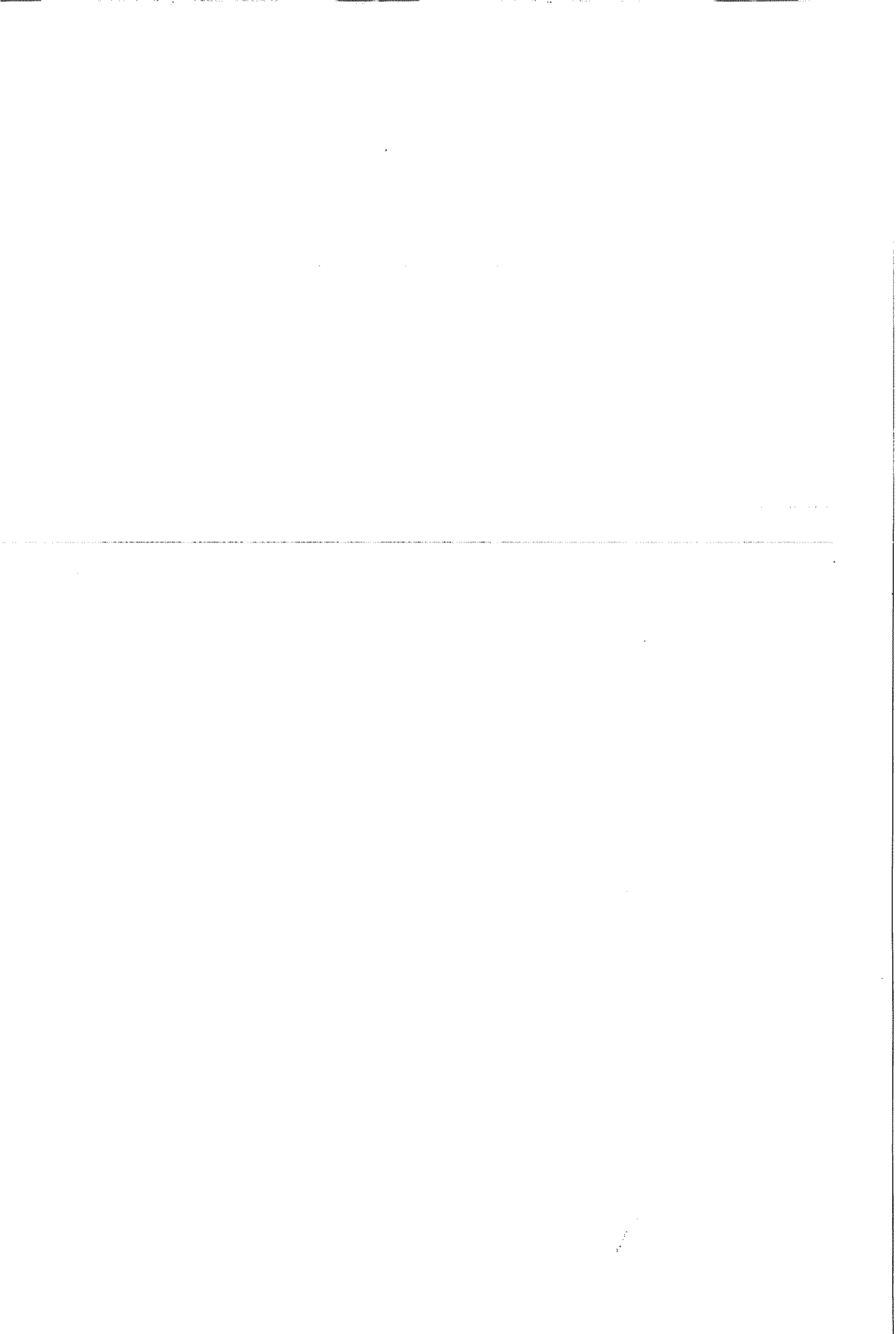
Fig.4. The Results for Eccentric Distributed Loadings.

In all of the preceding cases similar tendencies have been observed. As the loading is extended more and more, the extent of the contact region increases. Moreover, if the midpoint of the applied load moves to one side the extent of the contact region increases on that side relative to the other side. The intensity of the stresses in the contact region is independent of the material properties. The width of the contact region is independent of the intensity of the loading but depends on its distribution. As the span of the trench increases the contact regions decrease in length and the intensities of the stresses get larger and larger.

A comparison of the results for the cases handled in (11) for symmetric cases have shown that there is a perfect match between the equivalent cases in both the lengths of the contact regions and the intensity variations of the contact stresses.

#### 4. REFERENCES

1. PAFEC 75 Data Preparation Manual, Pafec Ltd., Nottingham, 1978.
2. Keer, L.M., Dundurs, J. and Tsai, K.C., Problems Involving a Receding Contact between a Layer and a Half Space, *J. Appl. Mech., Trans. ASME*, 1115-1120, 39 1972.
3. Erdoğan, F. and Ratwani, M., On the Plane Contact Problem for a Frictionless Elastic Layer, *Int. J. Solids Structures*, 921-926, 9, 1973.
4. Erdoğan, F. and Gupta, G.D., Contact and Crack Problems for an Elastic Wedge, *Int. J. Engng. Sci.*, 155-164, 4, 1976.
5. Aksoğan, O., Numerical Solutions for a Class of Multi-Part Mixed Boundary Value Problems, *Int. J. Num. Meth. Engng.*, 1025-1030, 12, 1978.
6. Erdoğan, F. and Gupta, G.D., On the Numerical Solution of Singular Integral Equations, *Quart. Appl. Math.*, 525-534, 30, 1972.
7. Aksoğan, O., Numerical Solutions for a Class of Multi-Part Mixed Boundary Value Problems, *Proc. Int. Symp. on Innovative Num. Anal. in Appl. Engng. Sci., Versailles, France, Part 1*, 25-28, 1977.
8. Civelek, M.B., Erdoğan, F. and Çakıroğlu, A.O., Interface Separation for an Elastic Layer Loaded by a Rigid Stamp, *Int. J. Engng. Sci.*, 669-679, 16, 1978.
9. Geçit, M.R., A Tensionless Contact without Friction between an Elastic Layer and an Elastic Foundation, *Int. J. Solids and Structures*, 387-396, 16, 1980.
10. Boduroğlu, H. and Delale, F., The Contact Problem of an Elastic Layer with Friction, *Doga Dergisi*, 17-26 (in Turkish), 1980.
11. Erdoğan, F. and Ratwani, M., The Contact Problem for an Elastic Layer Supported by Two Elastic Quarter Planes, *Lehigh University, Bethlehem, PA*, 12 pages, 1977.
12. Erdoğan, F., Simultaneous Dual Integral Equations with Trigonometric and Bessel Kernels, *ZAMP*, 217-223, 48, 1968.





## DÜZLEM ÇERÇEVE SİSTEMLERİN MOD SÜPERPOZİSYON METODU İLE ZORLANMIŞ TİTREŞİM ANALİZİ

Hüseyin R. YERLİ ve Erhan KIRAL

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

**ÖZET :** *Bu çalışmada, doğru eksenli elemanlardan oluşan ve düzlemi içinde yüklenmiş çerçevelerin dinamik yükler altındaki davranışları mod süperpozisyon metodu yardımıyla incelenmiştir. Öncelikle, sistemlerin serbest titreşim analizi yapılmakta, sonra girişimsiz denklem takımı elde edilmekte ve zorlanmış titreşim analizi yapılmaktadır. Mathematica paket programı yardımı ile düzlem çerçeve sistemlerin serbest ve zorlanmış titreşim analizlerini yapan bilgisayar programları hazırlanmıştır.*

## FORCED VIBRATION ANALYSIS OF PLANAR FRAME SYSTEMS BY MODE SUPERPOSITION TECHNIQUE

**ABSTRACT :** *In this study, dynamic behaviour of planar frames with members of straight axes is investigated with the aid of mode superposition technique. Free vibration analysis of the system is studied first and uncoupled system equations are obtained, then forced vibration analysis is performed. General purpose computer programs, which analyze free and force vibration analysis of planar frames, are prepared with the aid of the computer algebra system MATHEMATICA.*

## 1. GİRİŞ

Yapı dinamiğinden bilindiği üzere, dinamik zorlanma durumunda düzlem çerçeve sistemlerin hareketinin zamanla değişimini idare eden denklemler aşağıdaki gibidir:

Tek serbestlik dereceli sistemler için ;

$$\ddot{x} + 2\xi\omega\dot{x} + \omega^2 x = \frac{p}{m} \quad (1)$$

Çok serbestlik dereceli sistemler için ;

$$\underline{M} \ddot{\underline{X}} + \underline{C} \dot{\underline{X}} + \underline{K} \underline{X} = \underline{P}(t) \quad (2)$$

$\underline{M}$  : Sistem kütle matrisi

$\underline{C}$  : Sistem sönüm matrisi

$\underline{K}$  : Sistem rijitlik matrisi

$\underline{X}$  : Sistem deplasman vektörü

$\underline{P}$  : Sistem yük vektörü

"." : Zamana göre türev

Sisteme dıştan etkiyen yük yok ise sistem serbest titreşim yapmaktadır. Dıştan etkiyen yük var ise sistem zorlanmış titreşim yapıyor denmektedir. (2) numaralı denklemden görülen sistem matrisleri, düzlemi içinde yüklenmiş giriş elemanlar için verilen eleman matrislerinden yararlanılarak elde edilmektedir. Bu diferansiyel denklem takımı çeşitli metodlar ile çözülmektedir.

## 2. SERBEST TİTREŞİM

Serbest titreşim olayında (2) numaralı hareket denklemi aşağıdaki gibi cebrik özdeğer problemine dönüşmektedir :

$$(\underline{K} - \lambda \underline{M})\phi = 0 \quad ; \quad \lambda = \omega^2 \quad (3)$$

$\lambda$  : Özdeğer (serbest titreşim frekanslarının karesi)

$\phi$  : Özvektör (mod şekil vektörü)

Yukarıda görülen (3) numaralı denklemin çözümünün olabilmesi için katsayılar matrisi determinantının sıfır olması gerekmektedir. Bu durumu sağlayan  $(\lambda, \phi)$  çiftleri hesaplanmaktadır.

## 2.1. Özvektörlerin Normalizasyonu

Özdeğer problemi sonucunda bulunan özvektörler çeşitli amaçlar için değişik formlarda ifade edilmektedirler. Bu değiştirme işlemine özvektörlerin normalizasyonu denmektedir. Bu çalışmada, özvektörlerin kütle matrisine göre normalizasyonu kullanılmaktadır.

## 2.2. Kesin Çözüm

Yukarıda bahsedildiği üzere (3) numaralı denklemin katsayılar matrisinin determinantı alınırsa  $\lambda$ ya bağlı bir polinom elde edilmektedir. Bu polinoma karakteristik polinom denmekte ve bu polinomun kökleri özdeğerleri vermektedir. Daha sonra (3) numaralı bağıntıdan özvektörler bulunmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, polinomun katsayılarının ve köklerinin doğru olarak bulunmasıdır.

## 2.3. Vektör İterasyon Yöntemleri

Vektör iterasyon yöntemlerinin ilki ters iterasyon yöntemidir. Bu yöntemin kullanılabilmesi için sistem rijitlik matrisinin tam pozitif olması gerekmektedir. Bu yöntem kullanılarak sistemin en küçük özdeğeri ve özvektörü bulunmaktadır.

İkinci iterasyon yöntemi ileri iterasyon yöntemidir. Bu yöntem ile sistemin en büyük özdeğer ve özvektör çifti bulunmaktadır. Bu yöntemin kullanılabilmesi içinde sistem kütle matrisinin tam pozitif olması gerekmektedir.

Üçüncü tip iterasyon yöntemi ise Rayleigh oranı ile iterasyon yöntemidir. Bu yöntem, Gram-Schmidt ortogonalizasyonu yöntemi ile beraber kullanılarak sistemin diğer özdeğer ve özvektörleri bulunmaktadır.

## 2.4. Transformasyon Yöntemleri

Transformasyon yöntemlerinde temel amaç, sistem matrislerini diagonal hale getirmektir. Matrislerin diagonal forma gelmesi için benzerlik dönüşümleri uygulanmaktadır. Bu yolla diagonal hale gelen sistemin özdeğerleri ile ilk haldeki sistemin özdeğerleri tamamen aynıdır. Transformasyon yöntemleri başlıca üç metottan oluşmaktadır.

Transformasyon yöntemlerinden birincisi Jacobi metodudur olup, bu metod ile sadece standart tipteki özdeğer problemleri çözülebilmektedir. Bu metodda ortogonal rotasyon matrisleri kullanılarak benzerlik dönüşümü yapıp sistem matrisleri diagonal forma getirilmektedir. Daha sonrada özdeğerler bulunmaktadır.

İkinci tip transformasyon yöntemi Genel Jacobi metodudur. Bu metod ile genel tipteki cebrik özel değer problemleri çözülmektedir. Bu metodda kullanılan transformasyon matrisleri sistemin sıfırlanacak elemanları cinsinden elde edilmektedir.

Transformasyon yöntemlerinden bir diğeri Householder-QR-Ters iterasyon metodudur. Bu metodla sadece standart tip özdeğer problemleri çözülebilmektedir ve adından anlaşılacağı gibi üç adımdan meydana gelmektedir. Sistem matrisi Householder metodu ile üçlü diagonal, QR metodu ile diagonal hale getirilmekte ve sonra Ters iterasyon metodu ile özvektörler bulunmaktadır.

### 2.5. Alt Uzaylarla İterasyon Metodu

Alt uzaylarla itersyon metodundaki temel amaç, büyük hacimli sistemlerde tüm özdeğerlerin bulunması yerine, sadece en küçük p adet özdeğerin bulunmasını sağlamaktır. Yapı mekaniği problemleri genellikle geniş hacimli olduğundan ve hesaplarda tüm modlar yerine sadece en küçük birkaç modun gözönüne alınması yeterli olduğundan bu metod en çok tercih edilen yoldur.

## 3. ZORLANMIŞ TİTREŞİM

Zorlanmış titreşim, sisteme dışarıdan dinamik yüklerin etkimesi haline karşılık gelmektedir. Zorlanmış titreşim durumunda (1) ve (2) numaralı diferansiyel denklemler davranışı idare etmektedir. Bu çalışmanın asıl amacı bu diferansiyel denklemlerin çözümünün bulunmasıdır. Bu tip diferansiyel denklemlerin çözümü için çeşitli sayısal çözüm metodları geliştirilmiş bulunmaktadır (direkt integrasyon metodları, mod süperpozisyon metodu, Fourier transform metodu vb.). Bu çalışmada mod süperpozisyon metodunun kullanılması anlatılmaktadır.

### 3.1. Direkt İntegrasyon Yöntemleri

Bu yöntemlerde (Merkezi farklar, Houbolt, Newmark metodu vb.), çözüm adım adım sayısal olarak yapılmaktadır. Sistemin başlangıç şartları bilinirken uygun zaman arımları ile her zaman dilimindeki sistem bilinmeyenleri hesaplanmakta ve sistem çözülmektedir.

### 3.2. Mod Süperpozisyon Metodu

Mod süperpozisyon metodu kullanılarak (2) numaralı diferansiyel denklemin çözümü, aşağıdaki çözüm adımları izlenerek hesaplanmaktadır:

Birinci adım olarak, (3) numaralı bağıntıda görüldüğü gibi özdeğer problemi çözümlenerek sistemin modal ve spektral matrisleri hesaplanmaktadır (spektral matris, diagonal elemanları özdeğerler olan matris; modal matris herbir kolonu özvektör olan matristir).

İkinci adım olarak,  $\underline{Y}$  modal deplasman vektörü olmak üzere,

$$\underline{X} = \underline{\Phi} \underline{Y}$$

(4)

dönüşümü yapılmaktadır. (4) bağıntısı (2) numaralı denklemde yerine konup uygun dönüşümler yapılır ise sistem denklem takımı aşağıdaki gibi girişimsiz denklemler takımına dönüşmektedir:

$$\ddot{Y}_i + 2\xi\omega_i \dot{Y}_i + \omega_i^2 Y_i = P_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Yukarıdaki gibi elde edilen sistem serbestlik derecesi kadar girişimsiz denklem takımı, herhangi bir yöntemle (Newmark, Fourier transform vb.) çözülerek sistemin modal deplasmanları tesbit edilmektedir.

Üçüncü adım olarak, modal deplasmanlar ve (4) numaralı bağıntı yardımı ile sistemin asıl deplasmanları tesbit edilmektedir.

$$\underline{X} = \underline{\Phi} \underline{Y} = \phi_1 Y_1 + \phi_2 Y_2 + \dots + \phi_n Y_n \quad (6)$$

Yukarıdaki bağıntıda görülen her terim, modlardan gelen katkıları göstermektedir.

Dördüncü adım olarak da sistem deplasmanları bulunduktan sonra, sistemin eleman kuvvetleri veya kesit tesirleri hesaplanmaktadır.

Mod süperpozisyon metodu kullanılarak yapılan hesaplarda, sistemin deplasmanlarına en büyük katkının, genellikle en küçük modlardan geldiği gözlenmiştir. Bu özellik sayesinde, sistemde sadece en küçük p adet mod gözönüne alınarak yapılan çözümler uygun sonuçlar vermektedir.

#### 4. DEPREM ANALİZİ

Bilindiği üzere deprem, yer kabuğunun bir titreşimi olduğu için yapıların yer kabuğu ile temas ettiği noktalarda zamana bağlı bir yer değiştirme hareketi doğurarak dinamik bir etki meydana getirmektedir. Deprem vs. gibi yer hareketi bulunması durumunda yapıya etkiyen yük, yapının kütlesi ve yer hareketinin zamanla değişiminin büyüklüğüne bağlı olarak oluşmaktadır. Yer hareketi durumu söz konusu olduğu zamanlarda olayı idare eden denklem diferansiyel denklem şeklindedir.

Bu diferansiyel denklem yukarıda bahsedilen yöntemlerden herhangi biri ile çözülebilmektedir. Burada bu diferansiyel denklemlerin spektrum analizi ile çözümüne değinilmektedir.

##### 4.1. Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Deprem Analizi

Yer hareketi söz konusu olduğu zaman tek serbestlik dereceli sistemlerde olayı idare eden hareket denklemi diferansiyel denklem şeklinde olup aşağıdaki gibidir:

$$\ddot{x} + 2\xi\omega \dot{x} + \omega^2 x = -\ddot{x}_g \quad (7)$$

Mühendislik problemlerinde genellikle maksimum değerler lazım olduğundan, her mod için bilinmeyenlerin sadece maksimum değerlerinin bulunup, bu maksimumların süperpozisyonu yapılarak sonuca gidilmektedir. Spektrum analizi olarak bilinen bu yöntemde daha önceden bilinen deprem spektrumları kullanılarak sistem deplasmanları aşağıdaki gibi bulunmaktadır:

$$x_{\max} = S_d = \frac{1}{\omega} S_v = \frac{1}{2} S_a \quad (8)$$

Denklemden görülen  $S_d$ ,  $S_v$  ve  $S_a$  sırasıyla deprem deplasman spektrumu, deprem hız spektrumu ve deprem ivme spektrumdur.

#### 4.2. Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Deprem Analizi

Deprem gibi yer hareketi söz konusu olduğu zaman çok serbestlik dereceli sistemlerde olayı idare eden diferansiyel denklem takımı aşağıdaki gibidir:

$$\underline{M} \ddot{\underline{X}} + \underline{C} \dot{\underline{X}} + \underline{K} \underline{X} = - \underline{M} \underline{\Gamma} \ddot{x}_g \quad (9)$$

Burada, bu tipteki diferansiyel denklem takımının mod süperpozisyon yöntemi ve spektrum analizi ile nasıl çözüleceğine değinilmektedir. Mod süperpozisyon metodu kullanılırsa, (4) bağıntısındaki dönüşüm ile (9) numaralı hareket denklemi girişimsiz denklem takımı olarak aşağıdaki hale gelmektedir:

$$\ddot{Y}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{Y}_i + \omega_i^2 Y_i = -\alpha_i \ddot{x}_g \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

$\alpha_i$  : Katılım (iştirak) faktörü

Spektrum analizi ile (10) numaralı denklemin çözümünün maksimum değeri aşağıdaki gibi bulunmaktadır:

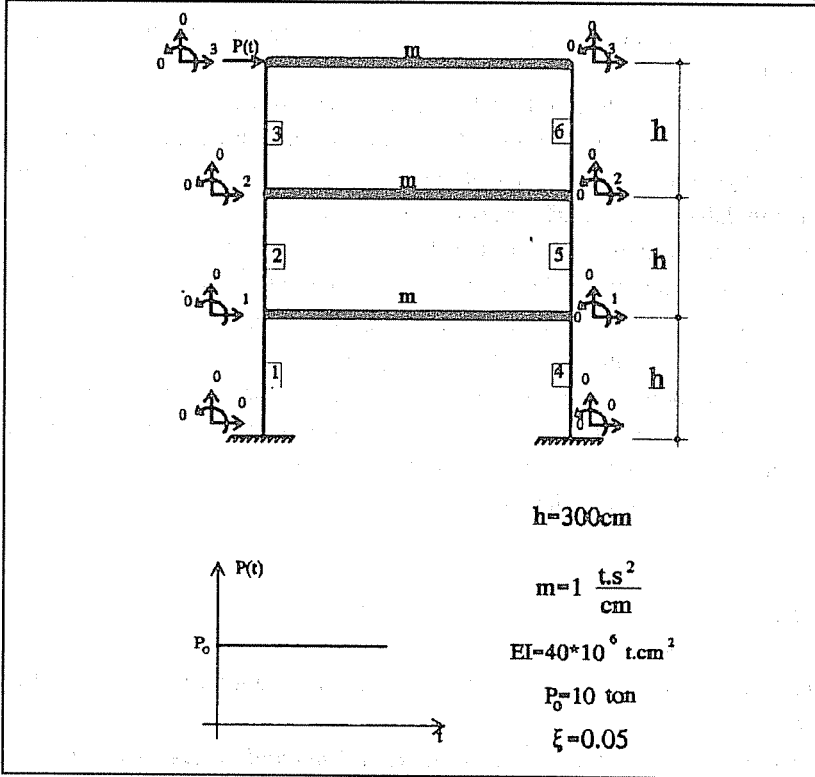
$$(Y_i)_{\max} = S_d = \frac{\alpha_i}{\omega_i} S_v = \frac{\alpha_i}{2} S_a \quad (11)$$

Modal deplasmanların maksimum değerleri bulunduktan sonra (6) bağıntısı ile sistemin gerçek deplasmanları elde edilir.

Yukarıda anlatılan bütün yöntemlerin (özdeğer problemleri çözüm yöntemleri zorlanmış titreşim analizi yöntemleri, spektrum analizi), Mathematica paket programı kullanılarak bilgisayar programları hazırlanmıştır. Bahsi geçen bu programlar (9) numaralı referanstan temin edilebilmektedir.

## 5. SAYISAL UYGULAMA

Şekil'de görülen çerçeve sistem adım tipi yüklerle zorlanmaktadır. Sistemde kütlelerin kat hizalarında toplandığı, kolonların kütesiz olduğu ve eksenel deformasyon yapmadığı kabul edilmektedir. Bu durumda sistemin 3 numaralı serbestlik derecesi yönündeki deplasmanın maksimum değeri ve 1 numaralı elemandaki maksimum kesme kuvveti bulunacaktır.



Şekil 1. Sayısal uygulamaya ait çerçeve ve yükleme durumu.

Bu problem, bu çalışma sırasında Mathematica paket programı kullanılarak hazırlanan bilgisayar programı kullanılarak çözülmüş olup sonuçlar aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Çizelge 1. Sayısal uygulamaya ait sonuçlar

	İlk mod	İlk 2 mod	Tüm modlar
$x_{\max}$ (cm)	1.4302	1.5276	1.5324
$V_{\max}$ (ton)	11.3158	9.7347	10.1095

Yukarıdaki tablodan da görüldüğü üzere sistemde bilinmeyenlere en büyük katkı 1. moddan gelmektedir.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıda görülmektedir:

Serbest titreşim analizi esnasında kullanılan, transformasyon yöntemleri tüm özdeğerleri bulduğundan dolayı yapı mekaniği problemlerinin çözümü için pek uygun olmamaktadır.

Yapı mekaniği problemlerinin büyük ve mod süperpozisyon metodunun kullanılması ile en küçük modların katkılarının yeterli olmasından dolayı, alt uzaylarla iterasyon metodu ile Rayleigh oranı ile iterasyon metodlarını kullanarak sistemin özdeğerlerinin bulunmasının daha uygun olduğu ortaya çıkmaktadır.

Zorlanmış titreşim analizinde, kesme tipi çerçevelerde mod süperpozisyon metodu kullanılırken sistemin tüm modlarının katkıları yerine sadece en küçük birkaç moddan gelen katkının hesaplanmasının yeterli olduğu gözlenmektedir.

Deprem gibi yer hareketi durumunda yapıların davranışı incelenirken, mod süperpozisyon metodu ile spektrum analizi kullanılması halinde, tüm modlardan gelen katkıların hesaplanması yerine sadece en küçük birkaç moddan gelen katkının gözönüne alınmasının hatalı sonuç vermediği gözlenmiştir. Bu sayede çok az işlemle yapı davranışının maksimum değerleri bulunmaktadır.

## 7. KAYNAKLAR

1. Bathe, K.J., Wilson, E.L., *Numerical Methods in Finite Element Analysis*, Prentice-Hall, New Jersey, 1976.
2. Bathe, K.J., *Finite Element Procedures in Engineering Analysis*, Prentice-Hall, New Jersey, 1982.
3. Celep, Z., Kumbasar, N., *Örneklerle Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş*, Sema Matbaacılık, İstanbul, 1992.
4. Clough, R.W., Penzien, J., *Dynamics of Structures*, McGraw - Hill, Singapore, 1993.
5. Craig, R.R., *Structural Dynamics*, John Wiley & Sons, Singapore, 1981.
6. Mengi, Y., *Structural Dynamics Ders Notları*.
7. Mengi, Y., *Soil - Structure Interaction Analysis Ders Notları*.
8. Wolfram, S., *Mathematica*, Addison-Wesley Publishing Co., California, 1991.
9. Yerli, H.R., *Düzlem Çerçeve Sistemlerin Mod Süperpozisyon Metodu İle Zorlanmış Titreşim Analizi ve Mathematica Uygulamaları*, Y. Lisans Tezi, ÇÜ, Adana, 1994.
10. Zakout, U., *A Study of Eigensolution Methods in Structural Engineering*, Y. Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara, 1992.



**PÜRÜZSÜZ AÇIK KANAL AKIMINDA  
HIZ DAĞILIMININ L.D.A. İLE İNCELENMESİ**

**Mehmet ARDIÇLIOĞLU ve M. Salih KIRKGÖZ**

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

**ÖZET:** Dikdörtgen kesitli, pürüzsüz üniform açık kanal akımının gelişmiş sınır tabakasındaki hız dağılımları laser doppler anemometresi ile incelenmiştir. Hız ölçümleri kesit oranının  $1.5 \leq b/h \leq 12.0$  ve Reynolds sayısının  $2.8 \times 10^4 \leq Re \leq 1.4 \times 10^5$  aralığında 24 farklı kritik altı akım durumunda yapılmıştır. Ölçülen hız profilleri türbülanslı iç bölgede "law of the wall" ve "üstel" dağılım formunda ifade edilmiştir. Mevcut deney şartlarına göre "law of the wall" dağılımındaki sabitler  $A=2.46$  ( $\kappa=0.41$ ) ve  $B=5.43$  olarak elde edilmiştir. Aynı bölgede, Üstel dağılımdaki sabitler ise  $C=8.41$  ve  $n=6.8$  olarak bulunmuştur.

**INVESTIGATION OF VELOCITY DISTRIBUTION  
IN SMOOTH OPEN CHANNEL FLOW USING L.D.A.**

**ABSTRACT:** Using laser doppler anemometer, velocity profiles of fully developed turbulent boundary layers in rectangular smooth uniform open channel flow are investigated. Velocity measurements are carried out for 24 different subcritical flow conditions with aspect ratio  $1.5 \leq b/h \leq 12.0$  and Reynolds number  $2.8 \times 10^4 \leq Re \leq 1.4 \times 10^5$ . Measured velocity profiles are presented in the form of the "law of the wall" and "power law" distributions for the turbulent inner region. The constants in the law of the wall are found as  $A=2.46$  ( $\kappa=0.41$ ) and  $B=5.43$ . For the same region the constants of the power law are  $C=8.41$  and  $n=6.8$ .

## 1. GİRİŞ

Açık kanalların tasarımında enerji kaybının belirlenmesi, sediment hareketi ve kirlilik problemlerinin incelenmesinde akımdaki hız dağılımının bilinmesi gerekmektedir. Geniş kanallarda ( $b/h \geq 5-10$ ) kesit orta bölgesindeki hız dağılımı kanal yan duvarlarından etkilenmediği için akım genelde iki boyutlu olarak düşünülebilir. Bu nedenle bu tür kanallarda borular için kullanılan hız ifadelerinin açık kanallar için de kullanılabilmesi, ancak serbest su yüzeyi etkilerinin göz önüne alınması amacı ile borular için verilen ifadelerdeki katsayıların açık kanallar için yeniden belirlenmesi gerektiği Rouse (1) ve Goncharov (2) tarafından belirtilmiştir.

Türbülanslı akımların hız dağılımını veren ifadelerin belirlenmesi Prandtl (3,4) ve von Karman (5) 'ın boru akımları üzerindeki araştırmaları ile yoğunluk kazanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda katı sınır yakınlığında, yani viskoz alt tabakada, doğrusal hız dağılımının geçerli olduğu, katı sınırdan uzaklaştıkça akımda türbülans etkisi ile düşey hız profillerinin "velocity defect", "law of the wall" ve "üstel" dağılımları ile temsil edilebileceği belirtilmiş ve bu dağılımlardaki deneysel sabitler için çeşitli değerler önerilmiştir (6,7).

Açık kanal akımlarında hız ölçümleri için değişik aletler ve yöntemler kullanılmıştır. Bunlardan bazıları hidrojen buble tekniği (8), pitot tüpü (9), hot film anemometresi (10) ve son yıllarda gelişmiş bir ölçüm aleti olan laser doppler anemometresi (11) sayılabilir. Bu çalışmada laser doppler anemometresi ile üniform akımın gelişmiş sınır tabakasındaki akım hızları ölçülmüş ve elde edilen hız profilleri law of the wall ve üstel dağılım ifadeleri ile tanımlanmaya çalışılmıştır.

## 2. GELİŞMİŞ SINIR TABAKASINDA HIZ İFADELERİ

Gelişmiş türbülanslı sınır tabakası akımı hız profili bakımından iç ve dış olmak üzere iki bölgeye ayrılabilir. İç bölgedeki hız dağılımı büyük ölçüde sınır kayma gerilmesi ( $\tau_0$ ), akışkanın yoğunluğu ve viskozitesi ile katı sınırdan uzaklığa bağlıdır. İç bölge viskoz alt tabaka, geçiş bölgesi ve türbülanslı bölge olmak üzere üç farklı tabakaya ayrılabilir. Viskoz gerilmelerin hakim olduğu viskoz alt tabaka kalınlığı sınır tabakası kalınlığının yaklaşık % 0.1-1 ini oluşturur. Newton'un viskozite kanunundan hareketle bu tabakadaki boyutsuz hız dağılımı aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\frac{u}{u_*} = \frac{u_* z}{\nu} \quad (1)$$

Burada  $u_*$  ( $= \sqrt{\tau_0/\rho}$ ) kayma hızı,  $\nu$  kinematik viskozite ve  $z$  de katı sınırdan uzaklığı göstermektedir. İç bölgenin türbülanslı bölümünde, Prandtl (4) ve von Karman (5) hız dağılımının aşağıda verilen law of the wall dağılımı ile tanımlanabileceğini bildirmişlerdir:

$$\frac{u}{u_*} = A \ln \frac{u_* z}{\nu} + B \quad (2)$$

Burada  $A=1/\kappa$  ( $\kappa$  von Karman sabiti) ve B de katı sınır özelliklerine bağlı sabittir. (2) ifadesindeki sabitlerin belirlenmesi amacıyla açık kanallarda birçok deneysel çalışma yapılmıştır. A ve B sabitleri için Klebanof (12):2.44,4.9, Pao (13):2.5,5.5, Nezu and Rodi (14):2.43,5.29 ve Kırkgöz (15):2.44,5.5 değerlerini elde etmişlerdir. Bu çalışmalardan görüleceği gibi A sabiti 2.43-2.5 ve B de 4.9-5.5 arasında değişmektedir.

Prandtl (3), cilalı borular için Blasius'un dairesel borulardaki sürtünme denklemini ( $\lambda = 0.3164/Re^{0.25}$ ) kullanarak hız dağılımını üstel bir ifade ile tanımlamış daha sonra bu ifade Reynolds sayısının farklı değerleri için aşağıdaki gibi genelleştirilmiştir:

$$\frac{u}{u_*} = C \left( \frac{u_* z}{\nu} \right)^{1/n} \quad (3)$$

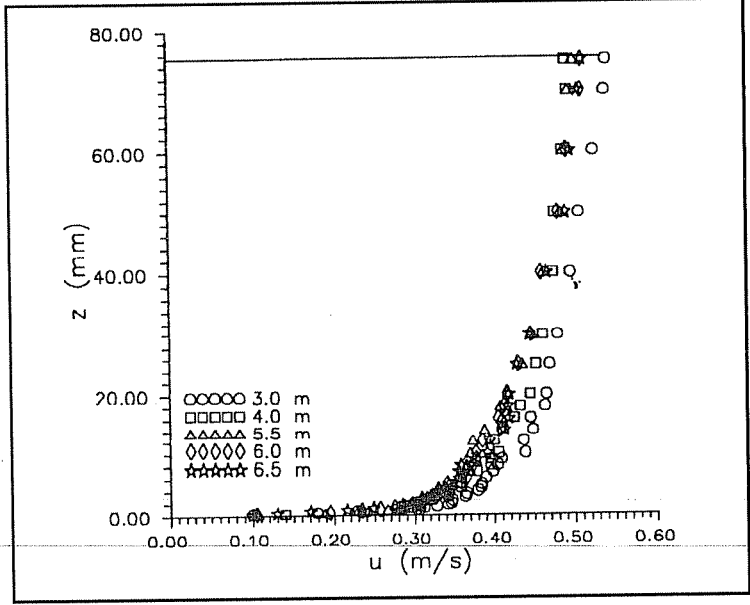
Kandula et al (16) açık kanallarda yaptıkları deneysel çalışmalarda (3) ifadesinin türbülanslı bölgedeki akım hızlarını ifade etmede başarılı bir şekilde kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

### 3. DENEY DÜZENİĞİ ve YÖNTEM

Deneyler Ç.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında bulunan tabanı ve yan duvarları camdan  $0.3 \times 0.4 \times 10.0$  m boyutlu kanalda yapılmıştır. Kanaldaki akımın debisi kanala su veren sabit seviyeli haznenin çıkış borusuna yerleştirilen Altosonic UFM 600P tipi debi ölçer yardımı ile belirlenmiştir. Kanaldaki akım hızları üç boyutta hareketli çerçeveye oturtulmuş olan DISA 55 L tipi Laser Doppler Anemometresi ile ölçülmüştür.

Gelişmiş akımın oluştuğu kesiti tesbit amacı ile kanal başından itibaren belirli aralıklarla kesit orta düşeylerinde hız ölçümleri yapılmış ve hız profiline yaklaşık olarak sabitleştiği kesit ölçülen profillerin üstüste çizilmesinden elde edilmiştir. Bu tür bir karşılaştırma Şekil 1 de görülmektedir. Şekildeki hız profillerine göre kanal başından itibaren  $x=5.5$  m den sonraki kesitlerde hız dağılımının değişmediği dolayısıyla bu kesitten sonra sınır tabakasının tam olarak gelişme gösterdiğini kabul etmek mümkün olmaktadır. Hız ölçümleri tüm akım şartları için  $x=6.5$  m kesitinde yapılmıştır.

Boyutsuzlaştırma parametresi olarak kullanılan kayma hızları ölçülen hız

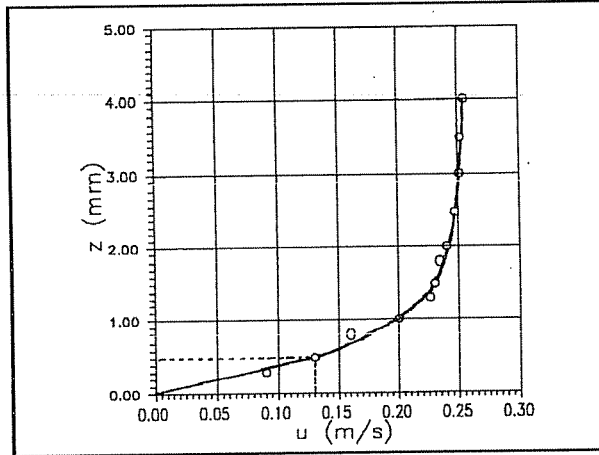


Şekil 1. Hız profillerinin gelişimi

profillerinden bulunmuştur. Şekil 2 de görüldüğü gibi hız profili viskoz alt tabaka bölgesinde yaklaşık olarak doğrusaldır. (1) ifadesinden kayma hızı için,

$$u = \sqrt{v \frac{u}{z}} \quad (4)$$

yazılabilir. (4) ifadesindeki  $u$  değeri viskoz alt tabakadaki doğrusal hız dağılım bölgesinde sınırdan  $z$  uzaklığındaki noktanın hızını temsil etmektedir.



Şekil 2. Katı sınıra yakın bölgede hız profili

Bu şekilde ölçülen her bir hız profilinden  $u_*$  değeri hesaplanmıştır. Örneğin Şekil 2 den  $z=0.5$  mm için  $u=130$  mm/s ve  $v=1.14$  m /s alınırsa  $u_* =17.2$  mm/s olarak elde edilir.

Bu çalışmada gelişmiş akım kesitinin orta düzeyinde 24 farklı akım durumu için hız ölçümü yapılmıştır. Bu akımlara ait çeşitli özellikler Tablo 1' de verilmiştir. Tabloda  $b$  kanal genişliğini ve  $h$  su derinliğini göstermektedir.

**Tablo 1.** Ölçüm Yapılan Akımların Özellikleri

Deney No	Q (lt/s)	h (mm)	b/h	Fr	Re	$u_*$ (mm/s)
1	19.5	200	1.5	0.232	97740	17.2
2	19.5	150	2.0	0.357	114035	21.5
3	19.5	120	2.5	0.499	126705	26.0
4	19.5	100	3.0	0.656	136840	28.5
5	14.5	200	1.5	0.173	72680	13.0
6	14.5	150	2.0	0.266	84796	16.5
7	14.5	120	2.5	0.371	94217	18.5
8	14.5	100	3.0	0.488	101755	22.0
9	14.5	80	3.75	0.682	110600	31.5
10	10.0	200	1.5	0.119	50125	11.5
11	10.0	150	2.0	0.183	58480	14.0
12	10.0	120	2.5	0.256	64978	15.0
13	10.0	100	3.0	0.336	70175	16.0
14	10.0	75	4.0	0.518	77973	21.0
15	10.0	60	5.0	0.724	83542	29.0
16	6.0	120	2.5	0.154	38986	7.8
17	6.0	100	3.0	0.202	42106	9.5
18	6.0	75	4.0	0.311	46783	16.3
19	6.0	60	5.0	0.434	50125	21.2
20	6.0	45	6.7	0.669	53981	23.8
21	3.2	50	6.0	0.300	27632	9.6
22	3.2	40	7.5	0.419	29085	12.5
23	3.2	30	10.0	0.645	30702	17.5
24	3.2	25	12.0	0.848	31580	21.0

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Gelişmiş akım kesitinin orta düşeyinde 24 farklı deneyden ölçülen hızlar (2) ifadesi ile verilen law of the wall dağılımı ve (3) ifadesi ile verilen üstel dağılım için Tablo 1 deki kayma hızları ile boyutsuzlaştırılmıştır. (2) ve (3) ifadelerinde yer alan  $\kappa$ , B, C ve n sabitlerinin bulunması için 24 deneyden ölçülen hızlara regresyon analizi uygulanmış ve herbir deney için türbülanslı iç bölgenin geçerli aralığında elde edilen değerler Tablo 2 de verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi  $\kappa$  değeri 0.388 ile 0.421 arasında, B değeri 4.75 ile 5.84 arasında düzensiz biçimde değişmekte buna karşılık (3) ifadesindeki C ve n sabitleri artan Re sayısına bağlı olarak artmaktadır. Diğer taraftan türbülanslı iç bölge aralığının alt ve üst sınırları da Re sayısı ile birlikte artmaktadır.

24 farklı deney için ölçülen hızlar law of the wall dağılımını temsil etmek üzere Şekil 3 'de görülmektedir.  $20 \leq u_* z/v \leq 400$  aralığındaki tüm ölçüm noktaları için yapılan regresyon analizinden  $A=2.46$  ( $\kappa=0.41$ ) ve  $B=5.43$  olarak bulunmuştur. Buna göre mevcut deney şartları için (2) ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$\frac{u}{u_*} = 2.46 \ln \frac{u_* z}{v} + 5.43 \quad (5)$$

Belirtilen aralıktaki hız dağılımları Şekil 4 de daha açık olarak verilmiştir. Şekil 4 üzerinde (5) ifadesi ile verilen law of the wall dağılımının literatürde yaygın olarak kullanılan dağılım ile yani  $A=2.44$  ve  $B=5.5$  değerleri kullanılarak elde edilen ifade ile büyük ölçüde uyum içinde olduğu görülmektedir.

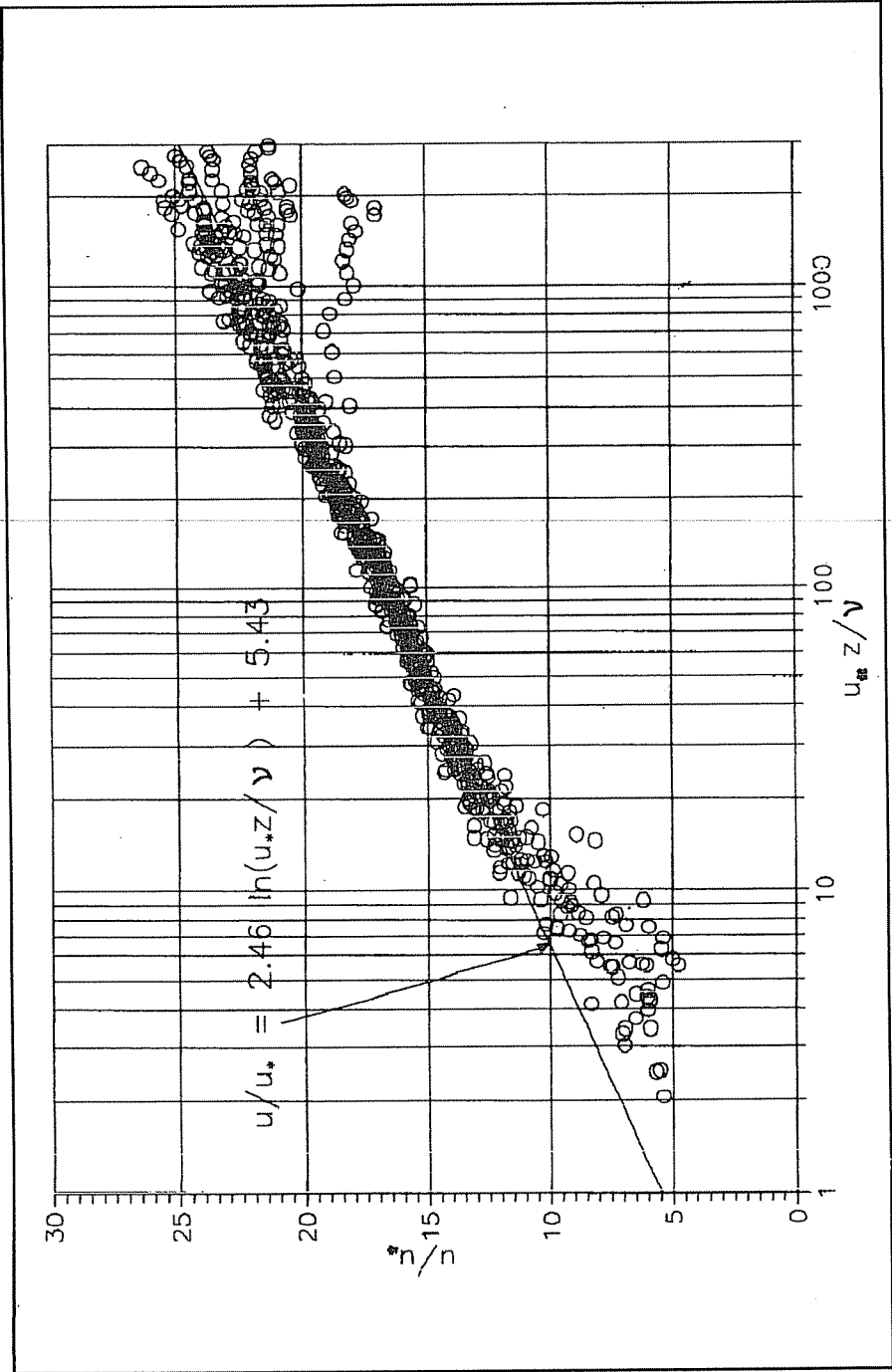
$20 \leq u_* z/v \leq 400$  aralığındaki ölçüm datası Şekil 5 de üstel dağılıma uygun olarak verilmiştir. Bu aralıkta üstel dağılım için yapılan regresyon analizinden  $C=8.41$  ve  $n=6.8$  değerleri bulunmuştur. Buna göre mevcut deney şartları itibarıyla elde edilen üstel hız dağılım ifadesi aşağıdaki gibi verilebilir:

$$\frac{u}{u_*} = 8.41 \left( \frac{u_* z}{v} \right)^{1/6.8} \quad (6)$$

Bu ifadedeki sabitler benzer Reynolds sayıları için bulunmuş olan değerler ile uyum göstermektedir. Örneğin Kandula et al (16) bu sabitleri Reynolds sayısının  $10^4 - 7 \times 10^4$  aralığında  $C=8.3$  ve  $n=7$  olarak elde etmiştir.

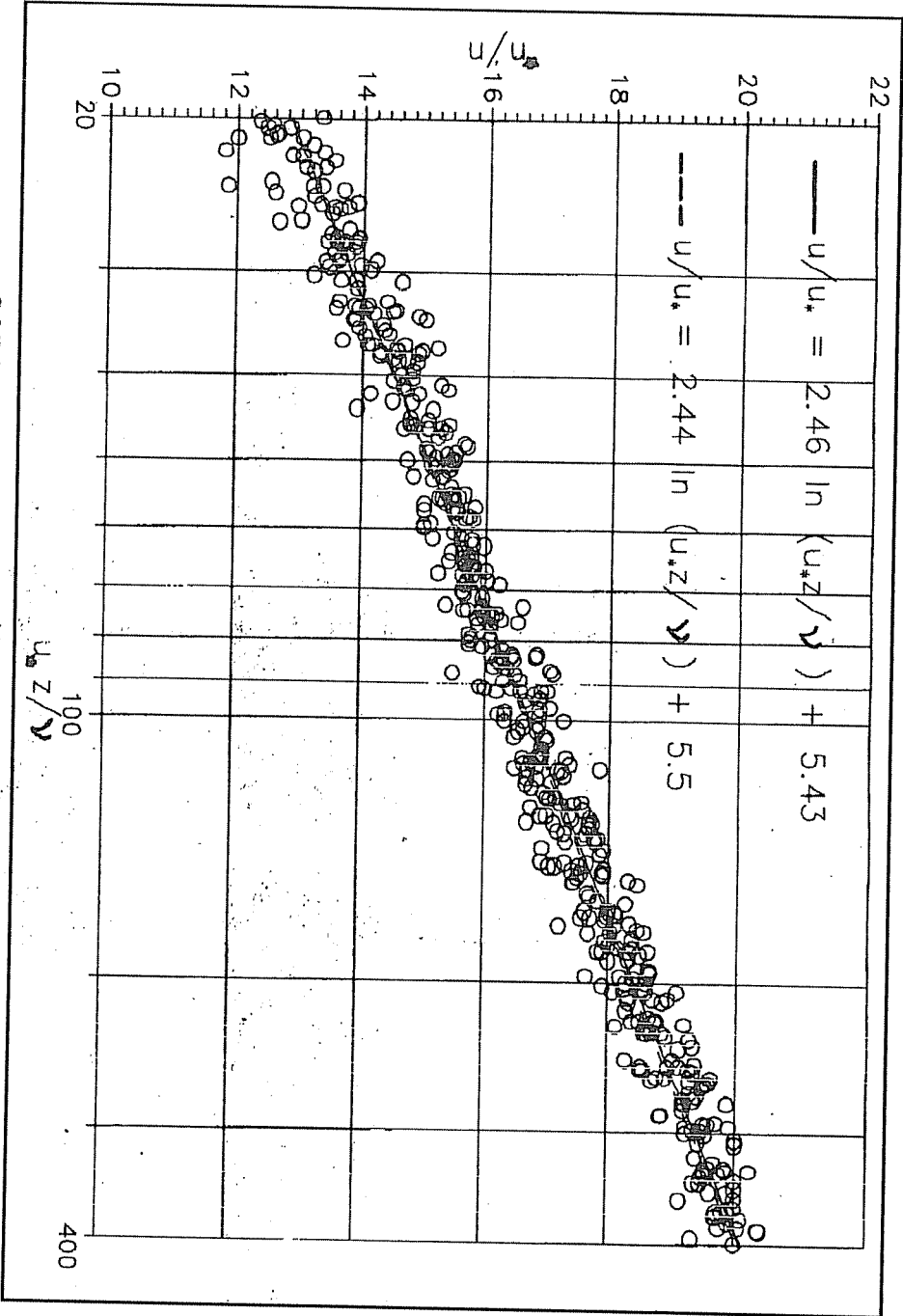
**Tablo 2.** Hesaplanan Sabitler

Deney No	Re	$\kappa$	B	C	n	Geçerli aralık
21	27632	0.414	5.67	8.16	6.45	$20 \leq u_* z/v \leq 200$
22	29085	0.405	5.53	8.24	6.45	$20 \leq u_* z/v \leq 200$
23	30702	0.418	5.65	8.21	6.54	$20 \leq u_* z/v \leq 200$
24	31580	0.419	5.58	8.16	6.55	$20 \leq u_* z/v \leq 200$
16	38986	0.400	5.56	8.28	6.67	$20 \leq u_* z/v \leq 300$
17	42106	0.405	5.59	8.26	6.67	$20 \leq u_* z/v \leq 300$
18	46783	0.408	5.36	8.12	6.67	$20 \leq u_* z/v \leq 300$
10	50125	0.414	5.34	8.23	6.69	$30 \leq u_* z/v \leq 300$
19	50125	0.402	5.32	8.48	6.80	$30 \leq u_* z/v \leq 400$
20	53981	0.400	5.36	8.51	6.76	$30 \leq u_* z/v \leq 400$
11	58480	0.408	5.08	8.15	6.67	$30 \leq u_* z/v \leq 400$
12	64978	0.398	5.23	8.48	6.80	$30 \leq u_* z/v \leq 400$
13	70175	0.404	5.05	8.23	6.72	$30 \leq u_* z/v \leq 400$
5	72680	0.398	5.24	8.39	6.69	$30 \leq u_* z/v \leq 400$
14	77973	0.388	4.91	8.28	6.67	$30 \leq u_* z/v \leq 400$
15	83542	0.404	5.45	8.53	6.80	$30 \leq u_* z/v \leq 400$
6	84796	0.391	4.75	8.19	6.66	$30 \leq u_* z/v \leq 400$
7	94217	0.399	5.13	8.43	6.80	$40 \leq u_* z/v \leq 400$
1	97740	0.399	5.09	8.46	4.86	$40 \leq u_* z/v \leq 400$
8	101755	0.411	5.84	9.05	7.14	$40 \leq u_* z/v \leq 400$
9	110600	0.405	5.69	8.90	7.14	$40 \leq u_* z/v \leq 400$
2	114035	0.421	5.91	8.92	7.14	$40 \leq u_* z/v \leq 400$
3	126705	0.412	5.45	8.65	7.09	$40 \leq u_* z/v \leq 400$
4	136840	0.417	5.84	9.05	7.14	$40 \leq u_* z/v \leq 500$

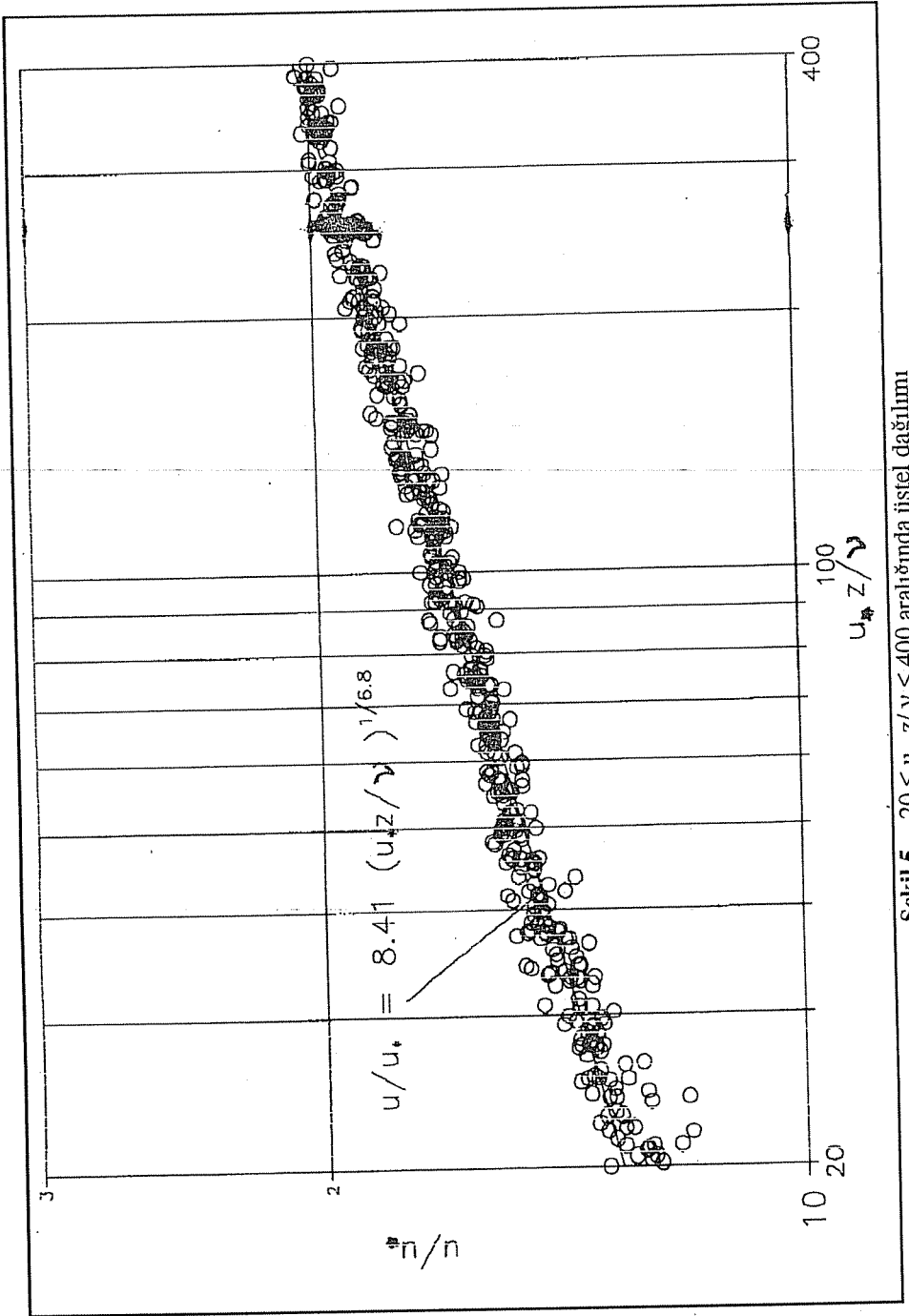


Şekil 3. Law of the wall dağılımı





Şekil 4.  $20 \leq u_* z / \nu \leq 400$  aralığında law of the wall dağılımı



Şekil 5.  $20 \leq u_* z / \nu \leq 400$  aralığında üstel dağılımı

## 5. SONUÇ

Pürüzsüz açık kanal akımlarında sınır tabakasının tam geliştiği bölgede türbülanslı iç bölge için literatürde yaygın olarak kullanılan law of the wall ve üstel hız dağılımları geniş Reynolds sayısı aralığında kritik altı akımlar için incelenmiştir. Gelişmiş sınır tabakası akımını temsil eden kesit orta düzeyinde logaritmik dağılımın geçerli olduğu aralık deney şartlarına göre  $20-40 \leq u_* z/v \leq 200-500$  olarak tesbit edilmiştir.  $u_* z/v$  değerinin alt ve üst sınırları artan Re sayısı ile birlikte artma göstermektedir. Tüm ölçümler için elde edilen boyutsuz hızlar üst üste çizildiğinde logaritmik dağılımın geçerli olduğu  $20 \leq u_* z/v \leq 400$  aralığında law of the wall dağılımındaki sabitler  $A=2.46$  ( $\kappa=0.41$ ) ve  $B=5.43$  olarak elde edilmiştir. Bu sabitlerin literatürde yaygın olarak kabul görmüş  $A=2.44$  ve  $B=5.5$  değerlerinden fazla farklı olmadığı bu itibarla mevcut deney bulgularının 2.44 ve 5.5 değerlerini bir ölçüde teyit eder nitelikte olduğu sonucuna varılmıştır.

Logaritmik dağılımın geçerli olduğu iç bölgede üstel hız dağılımının da ölçülen hız profillerini yüksek korelasyonla temsil ettiği görülmüştür. Tüm ölçümler için  $20 \leq u_* z/v \leq 400$  aralığında üstel ifadedeki sabitler  $C=8.41$  ve  $n=6.8$  olarak hesaplanmıştır. Herbir ölçüm sonucu elde edilen bu sabitlerin artan Reynolds sayısı ile birlikte artma eğiliminde olduğu gözlenmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Rouse, H., *Elementary Mechanics of Fluids*, Wiley Eastern Reprint, Wiley Eastern Private Limited, New Delhi., 1970,
2. Goncharov, V.N., *Dynamics of Channel Flow*, 2nd. ed., Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.,1970.
3. Prandtl, L., *Über die Ausgebildete Turbulenz*, Z. Angew Math. Mech., Bd. 5., 1925.
4. Prandtl, L., *Zür Turbulenten Strömung in Rohren und Längs Platten*, Ergebnisse der Aerodyn. Versuchsanstalt zu Göttingen,4, 1932.
5. Karman, T. von, *Mechanische Ähnlichkeit und Turbulenz*, Göttinger Nachrichten, Math. Phys. Klasse., 1930.
6. Nikuradse, J., *Strömungsgesetze in Rauhen Rohren*, Forsch. Geb. Ing. Wes., Heft 361., 1933.
7. Keulegan, G.H., *Laws of Turbulent Flow in Open Channels*, RP1151, J. Res.National Bureau of Standards, V.121,1938.
8. Grass, A.J., *Structural Features of Turbulent Flow over smooth and Rough Boundaries*, J. of Fluid Mech. Vol 50., 1971.
9. Coleman, N.L., *The Laminar Flow Velocity Profile over Close-Packed Spherical Roughness Elements*, La Houille Bl., N1, 1982.
10. Bayazit, M., *Free Surface Flow in a Channel of Large Relative Roughness*, J.

*Hydr. Res.*, Vol. 14, No 2., 1976.

11. Tominaga, A. and Nezu, I., *Velocity Profiles in Steep Open Channel*, *J. Hydr. Res.*, Vol. 118, No 1., 1992.

12. Klebanoff, P. S., *Characteristics of Turbulence in a Boundary Layer with Zero Pressure Gradient*, *NACA Technical Notes*, No 3178, Washington D. C., 1954.

13. Pao, R. H. F., *Fluid Mechanics*, 1 st ed., John and Sons, Inc., New York., 1961.

14. Nezu, I. and Rodi, W. , *Open Channel Flow Measurement with a Laser Doppler Anemometer*, *J.Hyd. Engrg.*, ASCE, vol. 112, No 5., 1986.

15. Kirkgoz, M.S., *Turbulent Velocity Profiles for Smooth and Rough Open Channel Flow*, *J. Hydr. Eng.*, vol. 115, No 11., 1989.

16. Kandula, V.N.S., Lakshminarayana, P. and Lakshmana, Rao N.S. , *Velocity Distribution in Smooth Rectangular Open Channel*, *J. Hydr. Eng.*, Vol. 109, No 2., 1983.

## THE ANALYSIS OF FRAMES CONSISTING OF MEMBERS CONNECTED TO THEIR RIGID END SECTIONS BY NONLINEAR ROTATIONAL SPRINGS

Hakan ERDEM and Orhan AKSOĞAN

Çukurova University, Civil Engineering Department, Adana/Türkiye

**ABSTRACT:** *The strain-softening behavior in the moment-rotation relation at some connections is caused by the local buckling of the beams and/or connection elements in steel structures and by the decrease in the concrete area in the cross-section as a result of cracking and crushing in reinforced concrete structures. The load carrying capacity of structures may be decreased to a great extent by this type of effects. In the present work, the analysis of planar frames, made up of elastic members with rigid end sections at the two ends, involving connections that exhibit strain-hardening and strain-softening is presented. The main aim of this study is to investigate the effect of the connections exhibiting strain-softening behavior on the ultimate strength and stability of flexibly connected frames. Richard function with four parameters is used to model flexible connections. The parameters of the Richard function for various types of connections are found in the literature. Those parameters are fed into the program along with the other informations pertaining to the system to be studied.*

## UÇLARINDAKİ RİJİT BÖLGELERE NONLİNEER DÖNEL YAYLARLA BAĞLANMIŞ ÇUBUKLARDAN OLUŞAN DÜZLEMSEL ÇERÇEVELERİN ANALİZİ

**ÖZET:** *Bazı bağlantılarda moment-dönme ilişkisindeki yumuşama davranışının sebebi, çelik yapılarda kiriş ve/veya bağlantı elemanlarının yerel burkulması, betonarme yapılarda ise beton kesitin, zorlama sonucu, alanının çatlaklar ve ezilmelerle küçülmesidir. Bu tür etkiler yapıların yük taşıma kapasitesini büyük ölçüde azaltabilir. Bu çalışmada, şekil değiştirme pekleşmesi ve yumuşaması gösteren bağlantılar içeren, uçlarında rijit bölgeler bulunan, elastik çubuklardan oluşan düzlemsel çerçevelerin analizi sunulmaktadır. Bu çalışmanın asıl amacı, yarı-rijit çerçevelerin en son mukavemeti ve stabilitesi üzerinde şekil değiştirme yumuşaması davranışı gösteren bağlantıların etkisini araştırmaktır. Yarı-rijit bağlantıları modellemek için dört parametrelili Richard fonksiyonu kullanılmaktadır. Richard fonksiyonu uygulanarak bulunmuş, değişik bağlantı tiplerine ait fonksiyon parametreleri literatürde bulunmaktadır. Bu parametreler incelenecek sisteme ait bilgilerle birlikte programa girilmektedir.*

## 1. INTRODUCTION

In the design of steel structures the connections of members at the joints are assumed to behave either as fully rigid or purely simple ones. However, in reality all connections are semi-rigid. Consequently, in frame analyses semi-rigid connections must be employed. For this purpose a great deal of research has been carried out to model different types of connections and a lot of experiments have been carried out to determine the coefficients in the assumed moment-rotation relations.

In the classical limit analysis method moment-rotation relation is assumed to be made up of two straight lines. The material being considered to be linearly elastic perfectly plastic, a cross-section continues to bear the same moment after reaching its ultimate moment capacity. However, in some members of steel structures, local buckling of flanges cause a decrease in the ultimate moment carried by the connection. Consequently, the maximum moment of a connection or beam may have a smaller value with the effect of strain-softening upon additional rotations. This kind of effects cause a redistribution of moments and a decrease in the ultimate load may take place.

In this study, the four parameter Richard model has been used for the moment-rotation relations of the semi-rigid connections of a plane frame. These parameters depend on the type of material. Once the four parameters are determined for a connection type, the pertinent relation for it can be used in the analysis.

A FORTRAN 77 program has been prepared for the problem at hand. The abovementioned parameters have been read in along with the other data pertaining to the system to be studied.

## 2. PREVIOUS STUDIES

Rathbun (1), Bell et al (2) and Livesley (3) have been the pioneers to introduce the subject of semi-rigid connections. However, they have not defined the fixed end forces for the adjacent members in the structures examined. Sommer et al. (4) have introduced the curvilinear type of moment-rotation relations, by curve-fitting with the use of polynomial series. Romstad and Subramanian (5) have used the moment-rotation relation of piecewise linear form and have renewed the techniques of elastic stability analysis of frames with semi-rigid connections. Frye and Morris (6) have examined seven different connection types employing polynomial functions in a computer program. Richard and Abbott (7) have proposed a special function for the moment-rotation relation. This special function is suitable for variable data. It suffices to change the parameters for a new type of connection. The Cubic B-spline method, which necessitates a lot of data, has been used for the curve-fitting of moment-rotation relation by Jones et al. (8). Nethercot (9) has reviewed all the

works on the subject published during 1915-1985. He has carried out experiments on steel structures to check their results against those obtained from analytical models.

Aksoğan et al. (10-14) have studied on the analytical aspects of the subject employing the stiffness method of structural analysis. The authors have worked both on the nonlinear (geometric and material) analysis of planar frames and on their stability. Moreover, they have determined the fixed end forces for different types of span loadings on semi-rigidly connected linear members with rigid end sections. In one of those studies the effect of shear deformations has also been included.

### 3. SEMI-RIGID CONNECTION MODELS

Until recent times connections of frames have been assumed to behave rigidly or as a pin connection. However, reality is somewhere-between those two extremes. Such realistic connections are called semi-rigid connections.

Despite the fact that real connections behave nonlinearly, some simplifications have been employed to express moment-rotation relations for certain types of connections of both steel and reinforced concrete structures. Besides the linear model, piecewise linear models of two-piece, three-piece and multi-piece relations have also been utilized for a long time.

Later Frye and Morris (6) proposed the polynomial model in which relative rotation was expressed as a fifth degree polynomial function of moment. Another effective model is the Cubic B-spline which is not practical because it necessitates a great deal of data.

Then, two-parameter power model and three-parameter power models of Colson and Louveau (15) and Kishi and Chen (16) were proposed.

In the following years Lui and Chen (17) have introduced the multi-parameter exponential model. Kishi and Chen (16) have modified that model to improve it such that it better fits curves with sharp changes of slope. Yee and Melchers (18) have introduced the four parameter exponential model.

In the present study, a modified form of the previous exponential models proposed by Almussallam and Richard (19), which is suitable for connections exhibiting strain-hardening and strain-softening, has been used. This model called the four parameter Richard model is defined by the following relation:

$$M = \frac{(K_0 - K_p) \theta}{\left[ 1 + \left| \frac{(K_0 - K_p) \theta}{M_0} \right|^N \right]^{1/N}} + K_p \theta \quad (1)$$

in which (see Fig.1)

$M$  = connection moment  
 $\theta$  = connection rotation  
 $K_o$  = initial stiffness  
 $K_p$  = plastic stiffness  
 $M_o$  = reference moment  
 $N$  = shape parameter

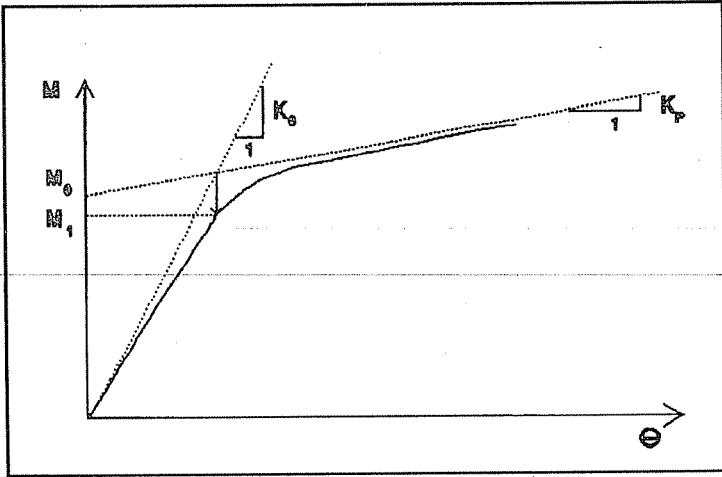


Fig.1. The properties of the Richard function

When (1) is differentiated with respect to  $\theta$ , stiffness expression is found, which gives the initial stiffness value for  $\theta = 0$ .

To determine the four parameters (see Fig.1) the following procedure must be followed:

- a) Determine  $K_o$ ,  $K_p$ ,  $M_o$  and  $M_1$  from the experimental curve.
- b) Compute  $N$  from the following expression:

$$N = \frac{-\ln 2}{\ln \left| \frac{M_1 - K_p}{M_o - K_o - K_p} \right|} \quad (2)$$

Linearized models, which are easy to use, do not yield dependable results. Polynomial models fit experimental results better. Cubic B-spline curve-fitting method yields better results, but it necessitates large storage in the memory. Power



and exponential models are best for a good fit for experimental results. However, they are not practical for two reasons, namely because some have too many parameters and some are hard to fit to curves that have steep strain-hardening parts.

The four parameter Richard model used in this study has few parameters which are easy to find. Moreover, this method fits both strain-hardening and strain-softening connections.

#### 4. METHOD OF ANALYSIS

In this study, the well known stiffness method has been used, employing the matrix method of structural analysis (3). The sign convention and notation used in the analysis are seen in Fig.2.

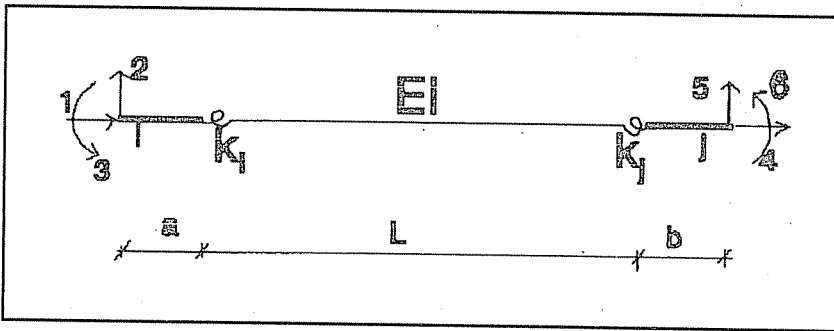


Fig.2. The sign convention and notation

In accordance with the notation of Fig.2. the relation between the member end forces vector  $\{p\}$  and the member end displacements vector  $\{d\}$  is as follows:

$$\begin{Bmatrix} p_i \\ p_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{ii} & k_{ij} \\ k_{ji} & k_{jj} \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} d_i \\ d_j \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} f_i \\ f_j \end{Bmatrix} \quad (3)$$

where  $[k]$  is the member stiffness matrix and  $\{f\}$  is the vector of member end forces (including moments). As is well known, with the appropriate transformation matrix the relevant elastostatic quantities are transformed back and forth between local (member) and global (system) coordinates. The principles of the abovementioned analysis method are to satisfy compatibility and to employ equilibrium at the connection points in terms of the displacements  $\{D\}$  and the equivalent external forces  $\{P\}$  at the connection points and the system stiffness matrix  $[K]$ , all in global coordinate system, as follows:

$$\{P\} = [K]\{D\} \quad (4)$$

After finding the displacements in the global coordinates at the connections, the appropriate transformation to member coordinate system and a computation of member end forces follows in a straightforward manner.

The presence of rigid end sections of members is considered by employing the following relations:

$$\begin{aligned}
 k^*_{33} &= k_{33} + k_{23} a + k_{22} a^2 + k_{32} a \\
 k^*_{32} &= k_{32} + k_{22} a = -k^*_{53} \\
 k^*_{63} &= k_{63} + k_{53} b + k_{62} a + k_{52} ab \\
 k^*_{62} &= k_{62} + k_{52} b = -k^*_{65} \\
 k^*_{66} &= k_{66} + k_{56} b + k_{55} b^2 + k_{65} b
 \end{aligned} \tag{5}$$

where stiffness matrix elements without stars belong to the middle elastic part with the springs and those with stars belong to a whole composite member,  $i$ - $j$ , with the rigid end sections (see Fig.2). Relations (5) are applicable for the shifting of the fixed end forces, also. Hence, the only thing that remains, is to provide the stiffness matrix and the fixed end forces for the elastic part of the member with the end springs. The latter quantities are available in previous joint works of the senior author (10-14).

## 5. PROGRAMMING

The abovementioned problem has been computerized for numerical applications. For this purpose a FORTRAN 77 computer program has been prepared. The program imports the data from a previously prepared data file. A preprocessing on this data by data generation yields the necessary arrays describing the geometry, physical properties and the loading of the structure being analyzed. The nonlinear properties of the springs are fed into the program by reading in the respective parameters of the springs that pertain to their Richard functions.

The nonlinearity in the moment-rotation relations of springs, necessitates an incremental loading. During this incremental loading the tangent stiffness has been utilized during each step of loading. In determining the tangent stiffness a special procedure has been employed so as to obtain more precise numerical results. In this respect, an iterative improvement of the tangent stiffness has been used. Moreover, the tangent of the arc is not taken at the beginning but at the midpoint of the arc. By this procedure, a very precise computation has been obtained.

As seen in the flow-chart in Fig.3 the program involves two loops, the loop for improving the tangent stiffness nested in the loop for the incremental (or step by step) loading. The results obtained for the relevant elastostatic quantities, like member end forces and joint displacements, are stored in the memory and the respective contributions during incremental loadings have been stored additively in the corresponding fields in the memory.

## 6. NUMERICAL RESULTS AND DISCUSSION

For a numerical application of the computer program a steel frame has been considered. The frame has five stories and three bays (see Fig.4). The loading is chosen to be a complicated one such that all the different types of span loadings are used in the problem. The numbering of the system, can be seen in Fig.4. The numbering of the displacements is done automatically by the program which is not the concern of the user. There are nonlinear strain-softening springs at the ends of all the beams for which the parameters in (1) are  $K_o = 1639.58$ ,  $K_p = -163.5958$ ,  $M_o = 12.52$  and  $N=1.44$ . The beams and the columns have W27\*145 and W18\*96 sections, respectively. The member end forces and the joint displacements are given in Tables 1-2. The numbering of the members and the joints are seen in Fig.5.

Another example has been treated in detail in the junior author's M.S. thesis (20). However, due to the limitation about the number of pages, it could not be included here. In that example, a reinforced concrete frame made up of slender members and shear walls has been studied with the wide column approach. The parts of beams falling inside the shear walls are considered as rigid sections and are treated with the help of (5).

The results of the applications of the computer prog4040wβ has shown the following tendencies.

As the load applied to the system increases the spring constants decrease. For springs exhibiting strain-softening behavior, at a certain value of the load the spring constant becomes zero. With furthermore loading the spring constant starts to take negative values, which means that as the relative rotation increases further the connection moment decreases. This in turn causes a redistribution of internal effects.

As the rigidities of the connections of a frame change a redistribution of internal effects takes place. This may cause the frame to lose stability before the loading reaches the ultimate capacity.

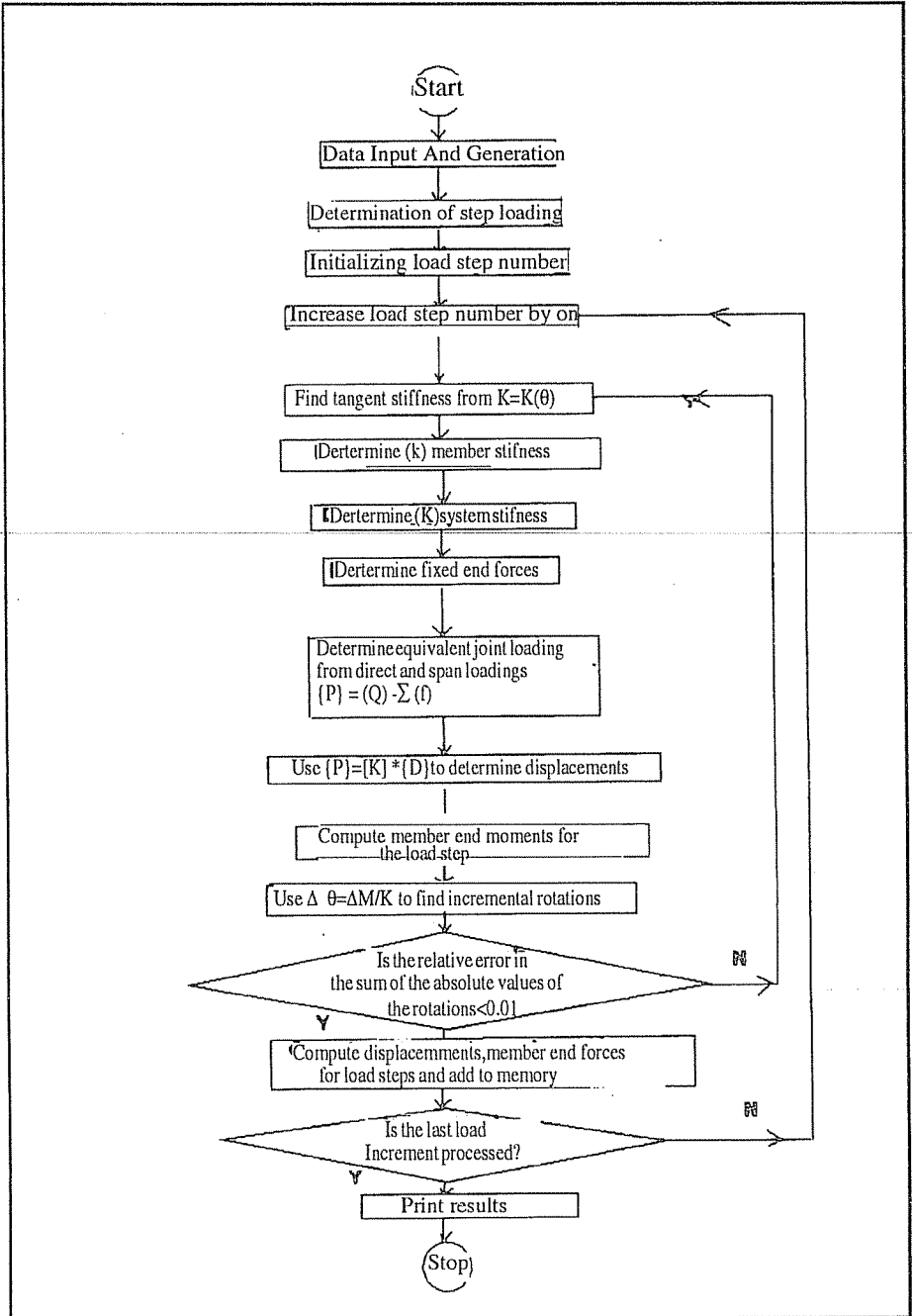


Fig 3. The flow - chart of the computer program

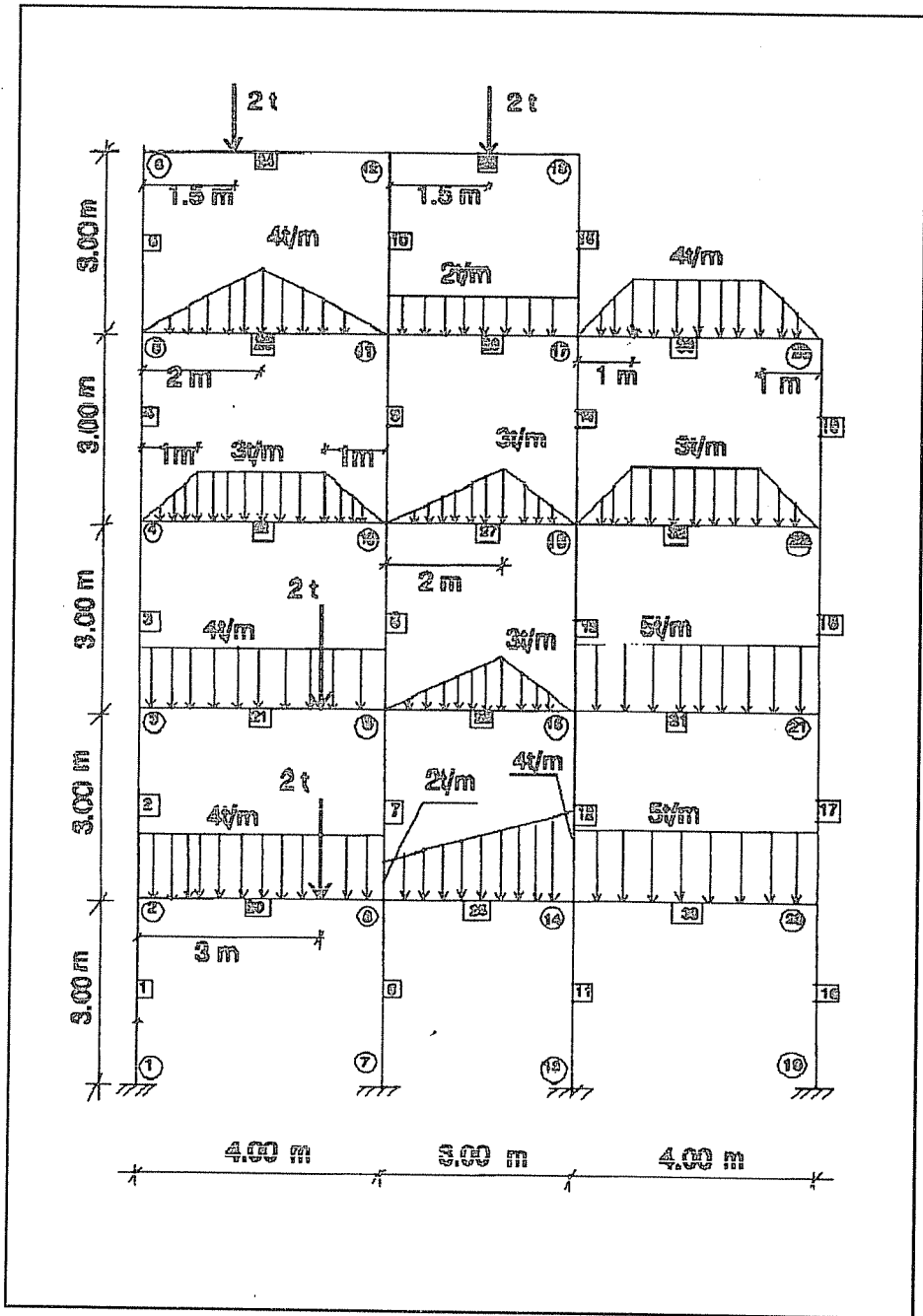


Fig.4. The geometry and the loading of the example problem

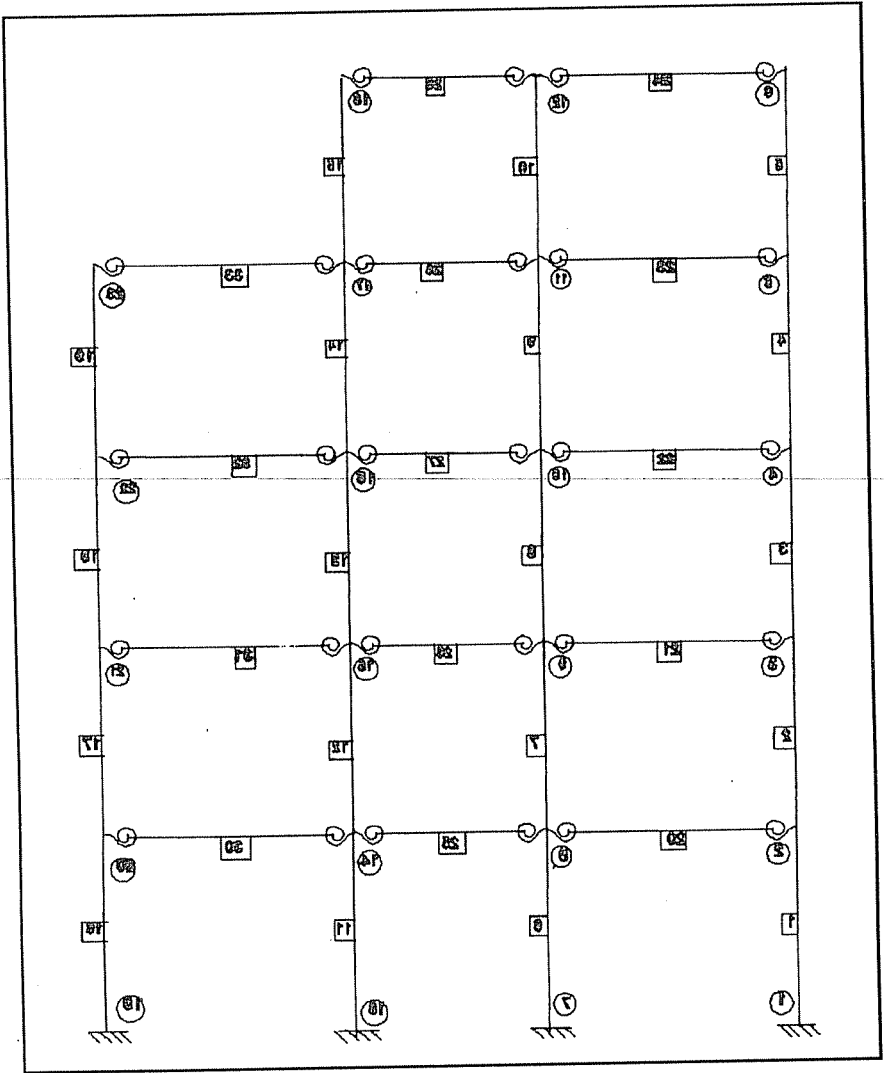


Fig. 5. Numbering of the example problem

It has been observed that if the tangent stiffness at the beginning of a load step is used, a departure from the actual results takes place. However, if the tangent stiffness is taken from the midpoint of the arc pertaining to the particular load step the results found are observed to be more precise.

*THE ANALYSIS OF FRAMES CONSISTING OF MEMBERS CONNECTED  
TO THEIR RIGID END SECTIONS BY NONLINEAR ROTATIONAL SPRINGS*

**Table 1.** Displacements of joints

JOINT NO	X	Y	$\theta$
1	0.000D+00	0.000D+00	0.000D+00
2	-0.168D-04	-0.215D-02	-0.457D-03
3	0.875D-04	-0.363D-02	-0.464D-03
4	0.196D-03	-0.444D-02	-0.280D-03
5	0.379D-03	-0.487D-02	-0.486D-03
6	0.143D-02	-0.497D-02	-0.541D-03
7	0.000D+00	0.000D+00	0.000D+00
8	0.912D-05	-0.316D-02	0.183D-03
9	0.753D-04	-0.527D-02	0.174D-03
10	0.194D-03	-0.647D-02	-0.332D-04
11	0.358D-03	-0.717D-02	-0.132D-03
12	0.141D-02	-0.734D-02	-0.440D-03
13	0.000D+00	0.000D+00	0.000D+00
14	0.178D-04	-0.346D-02	-0.248D-03
15	0.753D-04	-0.575D-02	-0.300D-03
16	0.207D-03	-0.707D-02	-0.343D-04
17	0.333D-03	-0.788D-02	-0.324D-03
18	0.140D-02	-0.801D-02	-0.183D-03
19	0.000D+00	0.000D+00	0.000D+00
20	0.479D-04	-0.246D-02	0.483D-03
21	0.577D-04	-0.412D-02	0.470D-03
22	0.225D-03	-0.499D-02	0.117D-03
23	0.267D-03	-0.548D-02	0.829D-03

**Table 2.** Member end forces

ELEMENT NO	JOINT NO	AXIAL FORCE	SHEAR FORCES	MOMENTS
1	1	0.274D+02	-0.459D+00	-0.464D+00
2		-0.274D+02	0.459D+00	-0.912D+00
2	2	0.189D+02	-0.833D+00	-0.125D+01
3		-0.189D+02	0.833D+00	-0.125D+01
3	3	0.102D+02	-0.657D+00	-0.108D+01

	4	-0.102D+02	0.657D+00	-0.896D+00
4	4	0.551D+01	-0.630D+00	-0.845D+00
	5	-0.551D+01	0.630D+00	-0.105D+01
5	5	0.134D+01	-0.321D+00	-0.455D+00
	6	-0.134D+01	0.321D+00	-0.509D+00
6	7	0.403D+02	0.185D+00	0.188D+00
	8	-0.403D+02	-0.185D+00	0.367D+00
7	8	0.268D+02	0.393D+00	0.594D+00
	9	-0.268D+02	-0.393D+00	0.585D+00
8	9	0.153D+02	0.215D+00	0.424D+00
	10	-0.153D+02	-0.215D+00	0.222D+00
9	10	0.892D+01	-0.543D-01	-0.333D-01
	11	-0.892D+01	0.543D-01	-0.130D+00
10	11	0.208D+01	0.124D+00	0.337D+00
	12	-0.208D+01	-0.124D+00	0.345D-01
11	13	0.440D+02	-0.231D+00	-0.225D+00
	14	-0.440D+02	0.231D+00	-0.467D+00
12	14	0.291D+02	-0.499D+00	-0.722D+00
	15	-0.291D+02	0.499D+00	-0.774D+00
13	15	0.169D+02	-0.242D+00	-0.493D+00
	16	-0.169D+02	0.242D+00	-0.233D+00
14	16	0.103D+02	-0.268D+00	-0.261D+00
	17	-0.103D+02	0.268D+00	-0.544D+00
15	17	0.158D+01	0.198D+00	0.227D+00
	18	-0.158D+01	-0.198D+00	0.366D+00
16	19	0.313D+02	0.504D+00	0.520D+00
	20	-0.313D+02	-0.504D+00	0.993D+00
17	20	0.212D+02	0.939D+00	0.142D+01
	21	-0.212D+02	-0.939D+00	0.140D+01
18	21	0.110D+02	0.684D+00	0.120D+01
	22	-0.110D+02	-0.684D+00	0.853D+00
19	22	0.623D+01	0.953D+00	0.108D+01
	23	-0.623D+01	-0.953D+00	0.178D+01
20	2	-0.375D+00	0.854D+01	0.216D+01
	8	0.375D+00	0.946D+01	-0.201D+01
21	3	0.176D+00	0.862D+01	0.233D+01
	9	-0.176D+00	0.938D+01	-0.184D+01
22	4	0.269D-01	0.473D+01	0.174D+01
	10	-0.269D-01	0.427D+01	-0.865D+00



THE ANALYSIS OF FRAMES CONSISTING OF MEMBERS CONNECTED  
TO THEIR RIGID END SECTIONS BY NONLINEAR ROTATIONAL SPRINGS

23	5	0.309D+00	0.417D+01	0.150D+01
	11	-0.309D+00	0.383D+01	-0.831D+00
24	6	0.321D+00	0.134D+01	0.509D+00
	12	-0.321D+00	0.662D+00	-0.157D+00
25	8	-0.167D+00	0.404D+01	0.105D+01
	14	0.167D+00	0.496D+01	-0.919D+00
26	9	-0.122D-02	0.207D+01	0.831D+00
	15	0.122D-02	0.243D+01	-0.606D+00
27	10	-0.243D+00	0.214D+01	0.677D+00
	16	0.243D+00	0.236D+01	-0.256D+00
28	11	0.487D+00	0.301D+01	0.624D+00
	17	-0.487D+00	0.299D+01	-0.598D+00
29	12	0.198D+00	0.142D+01	0.123D+00
	18	-0.198D+00	0.158D+01	-0.366D+00
30	14	-0.435D+00	0.993D+01	0.211D+01
	20	0.435D+00	0.101D+02	-0.241D+01
31	15	0.256D+00	0.982D+01	0.187D+01
	21	-0.256D+00	0.102D+02	-0.260D+01
32	16	-0.269D+00	0.419D+01	0.750D+00
	22	0.269D+00	0.481D+01	-0.193D+01
33	17	0.953D+00	0.577D+01	0.915D+00
	23	-0.953D+00	0.623D+01	-0.178D+01

## 7. REFERENCES

1. Rathbun, J.C., Elastic Properties of Riveted Connections, Paper No.1933, Transactions, ASCE, 524-563, 101, 1936.
2. Bell, W.G., Chesson, E.JR. and Munse, W.H., Static Tests of Standard Riveted and Bolted Beam-to-Column Connections, University of Illinois Engineering Experiment Station, Urbana, Ill, 1958.
3. Livesley, R.K., Matrix Methods of Structural Analysis, Pergamon Press, Inc., New York, N.Y, 1964.
4. Sommer, W.H., Behavior of Welded Header Plate Connections, M.S. Thesis presented to the University of Toronto, Canada, 1969.
5. Romstad, K.M. and Subramanian, C.V., Analysis of Frames with Partial Connection Rigidity, Journal of Structural Division, ASCE, 2283-2300, 96, 1970.
6. Frye, M.J. and Morris, G.A., Analysis of Flexibly Connected Steel Frames, Canadian Journal of Civil Engineers, 280-291, 2, 1975.

7. Richard, R.M. and Abbott, B.J., *Versatile Elastic-Plastic Stress-Strain Formula*, *J. Eng. Mech. Div., ASCE*, 511-515, 101, 1975 .
8. Jones, S.W., Kirby, P.A. and Nethercot, D.A., *Columns with Semi-rigid Joints*, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 361-372, 108, 1982 .
9. Nethercot, D.A., *Utilization of Experimentally Obtained Connection Data in Assessing the Performance of Steel Frames*, in *Connection Flexibility and Steel Frames*, Edited by Chen, W.F., *Proceedings of a Session Sponsored by Structural Division, ASCE, Detroit*, 13-17, 1985 .
10. Aksoğan, O. and Dinçer, R., *Nonlinear Analysis of Planar Frames with Linear Prismatic Members Having Rigid End Sections Taking Shear Deformations Into Consideration*, *Ç.U.J.Fac.Eng.Arch.*, 125-137, 6, 1991 .
11. Aksoğan, O. and Akkaya, F., *A Computer Program for the Analysis of Flexibly Connected Frames*, *Ç.U.J.Fac.Eng.Arch.*, 25-41, 6, 1991 .
12. Aksoğan, O. and Görgün H., *The Nonlinear Analysis of Planar Frames Composed of Flexibly Connected Members*, *Ç.U.J.Fac.Eng.Arch.*, 117-129, 8, 1993 .
13. Aksoğan, O., Oskouei, A.V. and Akavcı, S.S., *Nonlinear Analysis of Frames Consisting of Flexibly Connected Elastic Members with Rigid End Sections*, *Proceedings of the 7. Prefabrication Symposium, İstanbul*, XI-1-21, 1993 .(in Turkish)
14. Aksoğan, O. and Akavcı, S.S., *The Stability Analysis of Planar Frames Composed of Flexibly Connected Members with Rigid End Sections*, *Ç.U.Fac.Eng.Arch., Special Issue*, 1-13, 1994 .(in Turkish)
15. Colson, A. and Louveau, J.M., *Connections Incidence on the Inelastic Behavior of Steel Structures*, *Euromech Colloquim*, 174, 1983 .
16. Kishi, N. and Chen, W.F., *Data Base of Steel Beam to Column Connections* , *Structural Engineering Report, No.CE-STR-86-26*, 1 and 2, 1986 .
17. Lui, E.M. and Chen, W.F., *Analysis and Behavior of Flexibly-Jointed Frames*, *Engineering Structures*, 107-118, 8, 1986 .
18. Yee, Y.L. and Melchers, R.E., *Moment-Rotation Curves for Bolted Connections*, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 615-635, 112, 1986 .
19. Almussallam, T.H. and Richard, R.M., *Steel Frame Analysis with Flexible Joints Exhibiting a Strain-Softening Behavior*, *Computers and Structures*, 55-65, 46, 1993 .
20. Erdem, H., *Analysis of Plane Frames Consisting of Members Connected to Their Rigid End Sections by Springs That Exhibit Strain-Hardening and Strain-Softening*, *M.S. Thesis presented to the Çukurova University, Adana*, 1994.(in Turkish)

## MEKANİK RADYAL YÜZEY SIZDIRMAZLIK ELEMANLARININ HİDROLİK DENGESİ - TEORİK YAKLAŞIM

Emel Ceyhun SABİR ve Erdem KOÇ

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

**ÖZET :** *Bu çalışmada mekanik radyal yüzey sızdırmazlık elemanlarının hidrolik dengesi araştırılmıştır. Sızdırmazlık basıncı, halka geometrisi, eksen kaçıklığı gibi sistem parametreleri ve dinamik etkilerden dolayı oluşabilecek eksenel yer değiştirme miktarı hidrolik dengeye etki edebilmektedir. Bu parametreler birlikte değerlendirilmiş ve tasarım için önemli belirlemeler yapılmıştır. Analiz, sızdırmazlık modeline uygun olarak geliştirilen bir bilgisayar programında sonlu farklar metodunun adaptasyonu ile yapılmıştır.*

## HYDRAULIC BALANCE OF MECHANICAL RADIAL FACE SEALS - THEORETICAL APPROACH

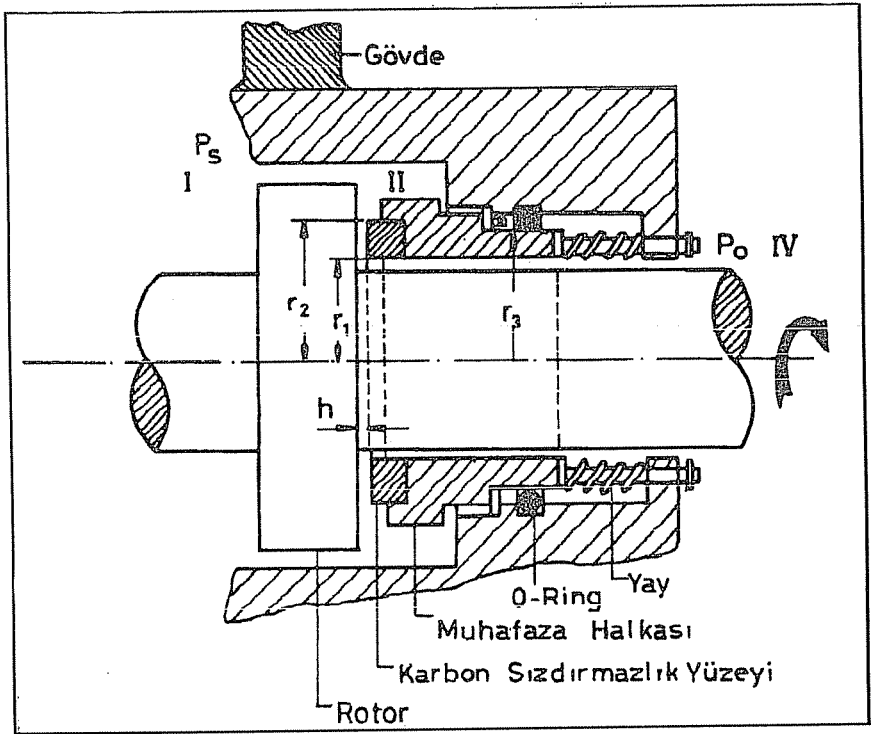
**ABSTRACT :** *In this study, the hydraulic balance of mechanical face seal has been investigated. The system parameters such as sealing pressure, geometry of sealing ring and bearing misalignment and axial displacement caused by dynamic effects can affect hydraulic balance of the system. These parameters have been considered together and very important points have been determined. Analysis has been made by the adoption of finite difference method to a computer programme developed for the sealing model.*

## 1. GİRİŞ

Bir akışkanın, kullanıldığı (basınç farkı bulunan) ortamdaki aralıklardan kaçmasını önlemek için sızdırmazlık elemanları kullanılmaktadır. Çok değişik tip ve çeşitteki bu elemanlar kısaca statik ve dinamik tipte sızdırmazlık elemanları olarak sınıflandırılabilirler.

Mekanik radyal yüzey sızdırmazlık elemanları dinamik tipte olup, çalışma prensipleri ve tasarımları bakımından aksenal kaymalı yataklara benzerlik gösterirler. Daha çok yüksek basınç, yüksek hız vb. dinamik koşullar altında sızdırmazlığın temininde tercih edilmektedirler. Mekanik radyal sızdırmazlık tertibatı, birbirine göre izafi harekete ve yüzey eğimine sahip bir çift düz yüzeyli halkadan oluşmaktadır. Sızdırmazlık, uygulama esnasında bu iki yüzey arasında hidrodinamik ve hidrostatik basınç oluşumu prensibiyle sağlanmaktadır.

Şekil 1 tipik bir sızdırmazlık düzenini göstermektedir. Burada sabit eleman bir muhafaza halkasının içerisine, hareketli eleman ise mil üzerine monte edilmiştir. Düşük basınçlarda iki eleman muhafaza halkasının arka tarafına yerleştirilen bir yay vasıtasıyla



Şekil 1. Tipik Bir Sızdırmazlık Düzeni.

birbirine itilir. Akışkan basıncının arttığı durumda sabit eleman, muhafaza halkasının radyal yüzeylerine uygulanan hidrostatik basınç kuvvetiyle aralığı kapamaya çalışmaktadır. Bu kapama kuvvetinin yüzeyler arasında metal - metal temasına neden olmaması arzu edilir.

Yüzeyler arasındaki izafi eğim veya eksen kaçıklığı, aralıkta hareket yönünde fiziki "daralan yağ kaması" mekanizmasının oluşmasını (akışkanın yük taşıyıcı hidrodinamik iç basınç alanı geliştirmesini) sağlamaktadır. Oluşan bu hidrodinamik basınç kuvveti, kapama kuvveti karşısında aralığı açmaya çalışacaktır. Bu açma kuvvetinin de aralıktan akışkan kaçacağına neden olacak kadar büyük olmaması istenmektedir. Sızdırmazlık elemanının hem hidrolik yük dengesi, hem de minimum akışkan kaçığı için optimum sayılabilecek bir yağ filmi kalınlığına sahip olması istenir.

Mekanik radyal sızdırmazlık tertibatında sızdırmazlık elemanının üzerine gelen yükleri karşılayabilmesi için, yüzeyler arasında, yük taşıyıcı hidrodinamik basınç alanı oluşması gerekmektedir. Bunun için elemanlardan biri diğerine göre eğimli tasarlanır. Aralıktaki film kalınlığının sinüzoidal değişmesine neden olacak eğimli yüzey üzerindeki hidrodinamik basınç dağılımı, yük taşıma kapasitesi, hidrolik momentler vb. üzerine araştırmalar yapılmıştır ( 1,2,3,4,5,6,7,8).

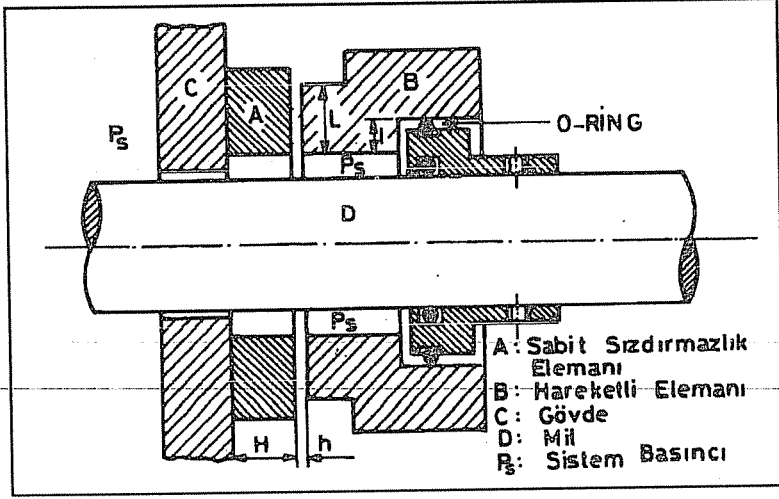
Şekil 1'de gösterilen modelden farklı olarak her iki yüzün de eğimli olduğu bir sızdırmazlık modeli düşünüldüğünde, her iki yüz de hidrodinamik basınç etkisinde olacaktır. Böylece elemanın hidrolik dengesi iki tarafta etkili olan hidrodinamik yüklerin dengelenmesiyle sağlanabilecektir. Çalışma esnasında sızdırmazlık elemanı; eksen kaçıklığı, yüzey düzgünlüğü vb. dinamik etkilerden dolayı eksenel yönde yer değiştirebilmektedir. Bu yer değiştirme minimum veya maksimum film kalınlığı formunu değiştirebileceğinden elemanın hidrolik dengesini de etkileyebilecektir. O nedenle yer değiştirme miktarı da önemli bir parametre durumundadır.

Bu çalışmada, uygulamada karşılaşılabilecek iki yüzeyinin de eğimli olduğu düşünülen bir mekanik sızdırmazlık modelinin hidrolik dengesi teorik olarak araştırılmıştır. Bu dengeye etki edebilecek sistem parametreleri ile eksenel yer değiştirme miktarı boyutsuz olarak birlikte değerlendirilmiştir. Analiz, modele uygun olarak geliştirilen bir bilgisayar programı vasıtasıyla kolayca yapılabilmektedir.

## 2. HİDROSTATİK VE HİDRODİNAMİK DAVRANIŞ

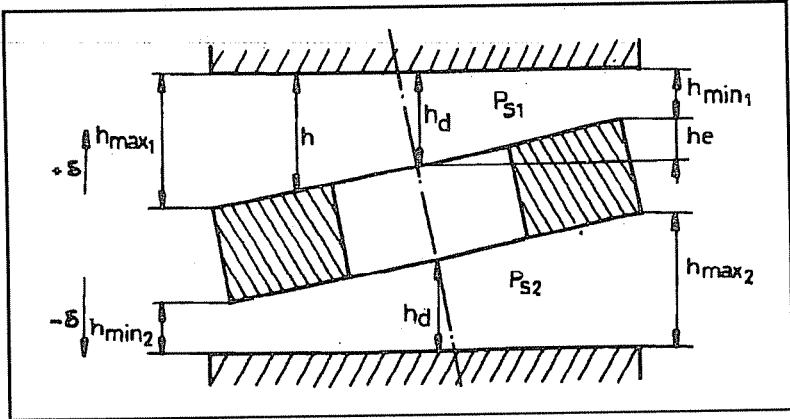
Bir mekanik radyal sızdırmazlık tertibatının hidrostatik dengesi için Şekil 2 incelenebilir. Sızdırmazlık halkaları birbirine paralel ve düz yüzeylidir. Çalışma esnasında B hareketli elemanı, sistem basıncı tarafından  $\ell$  radyal genişliğine sahip alana uygulanan kuvvetle ( $P_s \cdot \ell$ ) A sabit elemanına doğru itilmektedir. Yüzeyler arasındaki akışkan bu kuvvete  $P_s \cdot L/2$ 'lik bir kuvvetle karşı koymaktadır. Her iki yüzeyde etkili olan basınç sistem basıncıdır. Ancak basıncın uygulandığı yüzeyler farklıdır. O nedenle kuvvetlerin dengesi için bu alanların oranı (yüzeylerin eğrilik ve

düzgünsüzlüğü dikkate alınmazsa) dikkate alınmış ve  $\ell / L$  şeklinde ifade edilmiştir. Eğer bu oran 1'den büyükse eleman "dengelenmemiş", 1'den küçükse "dengelenmiş" diye tarif edilir.



Şekil 2. Sızdırmazlık Elemanının Hidrolik Dengesi.

Arka yüzün de ön yüz (sızdırmazlığın sağlandığı taraf) gibi eğimli olduğu sızdırmazlık modeli şematik olarak Şekil 3'den incelenebilir. Burada "1" indisi sızdırmazlık halkasının ön yüzünü (birinci taraf), "2" indisi ise arka yüzünü (ikinci taraf) göstermektedir. Buna göre  $P_s$  sistem basıncı,  $\delta$  yer değiştirme miktarı,  $h_{max}$  maksimum film kalınlığı,  $h_{min}$  minimum film kalınlığı,  $h_e$  eksen kaçıklığıdır.  $h_d$  tasarım



Şekil 3. Her İki Yüzeyi Eğimli Sızdırmazlık Halkası.

açıklığı olup, eksenel hareketle (yer değiştirme) değişmeyen merkezdeki film kalınlığıdır. Bu nedenle boyutsuzlaştırma bu büyüklük kullanılmıştır. Analizlerde ön yüz için  $\theta_{\max}=0^\circ$ , arka yüz için ise buna simetrik olarak  $\theta_{\max}=180^\circ$  olarak alınmıştır. Elemanın yer değiştirmesi sızdırmazlık aralığındaki film kalınlığı değişimini de etkilemektedir. Bu hareket her iki yüzde etkili olan yüzey eğiminin ve basıncın da değişmesine neden olmaktadır. Bu etkiyi açıklayabilecek şekilde eğim ve sistem basıncı ifadeleri  $\bar{\delta}$ 'ya bağlı olarak aşağıdaki gibi tarif edilmiştir. Ön yüz için ,

$$t_1 = \frac{\bar{h}_e}{1 - \bar{\delta}} \quad (1)$$

ve arka yüz için

$$t_2 = \frac{\bar{h}_e}{1 + \bar{\delta}} \quad (2)$$

sızdırmazlık basıncının boyutsuz ifadesi ön yüz için,

$$\bar{P}_{s_1} = \bar{P}_d (1 - \bar{\delta})^2 \quad (3)$$

ve arka yüz için,

$$\bar{P}_{s_2} = \bar{P}_d (1 + \bar{\delta})^2 \quad (4)$$

şeklinde. İki yüzü de eğimli sızdırmazlık elemanında eğim ve basınç ifadelerinin belirlenmesi ön ve arka yüzey üzerinde etkili hidrodinamik yük hesabına imkan vermektedir. Ancak bu hesaplanan yükün de yer değiştirmeye göre yeniden tarif edilmesi gerekmektedir. Buna göre boyutsuz yük ön yüz için,

$$\bar{W}_{d_1} = \bar{W} \left( \frac{1}{1 - \bar{\delta}} \right)^2 \quad (5)$$

ve arka yüz için

$$\bar{W}_{d_2} = \bar{W} \left( \frac{1}{1 + \bar{\delta}} \right)^2 \quad (6)$$

şeklinde. Her iki yüzde bulunan yükler elemana zıt yönde etki etmektedirler. Elemanın her iki yüzünde hidrodinamik basıncın etkisiyle oluşan yüklerin farkı denge yükünü vermektedir ( $\bar{W}_R = \bar{W}_{d_1} - \bar{W}_{d_2}$ ).  $\bar{W}_R = 0$  elemanın denge halini,  $\bar{W}_R < 0$  kapama yükünün fazla olduğu durumu,  $\bar{W}_R > 0$  aralığı açmaya çalışan kuvvetin büyük olduğunu göstermektedir. Sistemin dengesi için halka küçük kuvvetin olduğu tarafa doğru hareket edecektir. Değişik çalışma koşullarına göre denge için tespit edilen  $\bar{\delta}$  değerleri, aralıktaki maksimum ve minimum film kalınlığının hesaplanmasını sağlamaktadır.

Eksen kaçıklığı ve eksenel harekete sahip sızdırmazlık elemanının ön yüzü için maksimum film kalınlığı ifadesi boyutsuz olarak,

$$\bar{h}_{\max_1} = 1 + \bar{h}_e - \bar{\delta} \quad (7)$$

şeklinde tarif edilmektedir. Boyutsuz minimum film kalınlığı ise,

$$\bar{h}_{\min_1} = 1 - \bar{h}_e - \bar{\delta} \quad (8)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifadeler arka yüz için de

$$\bar{h}_{\max_2} = 1 + \bar{h}_e + \bar{\delta} \quad (9)$$

ve

$$\bar{h}_{\min_2} = 1 - \bar{h}_e + \bar{\delta} \quad (10)$$

olarak yazılabilir. Minimum ve maksimum film kalınlıkları sistem performansını tayin eden önemli parametrelerdir.

Teorik olarak sızdırmazlık tertibatının ön ve arka yüzlerinin her ikisinin de hidrodinamik basınç etkisinde olduğu kabul edildiğinde elemanın hidrolik dengesinin sağlanması gerekmektedir. Çeşitli sistem parametrelerine bağlı olarak, elemanın dengesizlik yönüne uygun olarak yer değiştirmesi (hareket etmesi) elemanın hidrolik yük dengesini sağlamaktadır. Bu denge noktalarının tespiti aralıktaki maksimum ve minimum film kalınlıklarının belirlenmesini sağlaması açısından önemli olmaktadır.

### 3. TEORİK NETİCELER VE İRDELEME

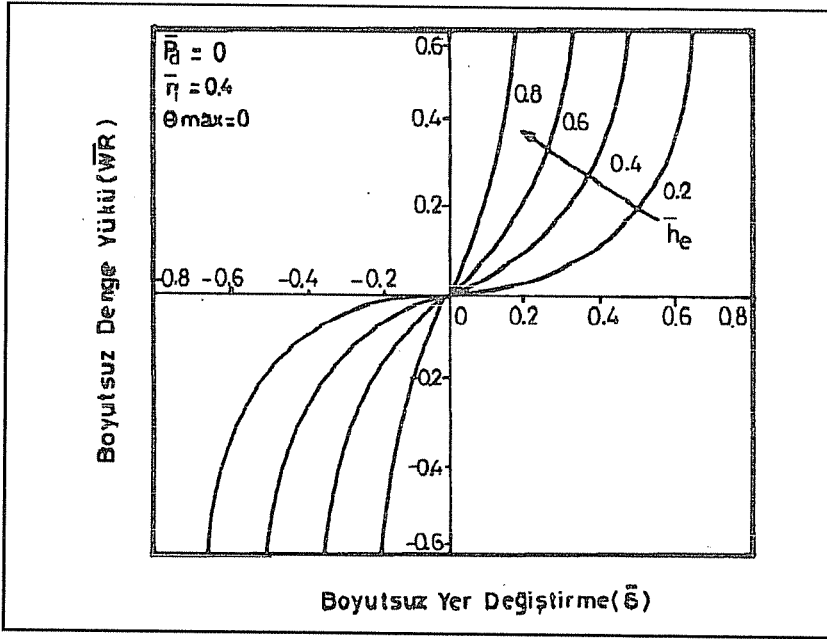
#### 3.1 Denge Yüğü

İki yüzü de eğimli sızdırmazlık elemanının hidrolik dengesi iki yüzde etkili olan yüklerin birbirini dengelemesiyle sağlanmaktadır. Denge yükünün yer değiştirme miktarı ile değişimi değişik sistem parametreleri değerlendirilerek boyutsuz olarak irdenlemiştir.

Şekil 4 boyutsuz denge yükü ( $\bar{W}_R$ ) ile elemanın boyutsuz yer değiştirmesi ( $\bar{\delta}$ ) arasındaki değişimi göstermektedir. Değişim tam hidrodinamik basınç şartlarında ( $\bar{P}_d=0$ ) ve boyutsuz halka iç yarıçapı  $\bar{r}_i=0.4$  alınarak farklı eksen kaçıklığı değerlerine göre incelenmiştir.  $\bar{\delta}=0$  elemanın yer değiştirmedeğini, bir başka ifadeyle hareket etmediğini göstermektedir. Bu durumda, sistemde herhangi bir hidrostatik basınç olmaması, sızdırmazlık halkasının her iki yüzündeki eksen kaçıklığı değerlerinin aynı olması gibi nedenlerle 1. ve 2. taraftaki yükler ( $\bar{W}_{d1}$  ve  $\bar{W}_{d2}$ ) birbirini dengelemekte,  $\bar{W}_R=0$  olmaktadır.  $\bar{W}_R$ 'nin sıfırdan farklı tüm değerleri elemanın dengesiz olduğunu göstermektedir. Eleman ( $+\bar{\delta}$ ) yönünde hareket ettiğinde, 1. taraftaki hidrodinamik basınç alanı büyüyerek bu bölgedeki yükün artmasına neden olmaktadır. Şekilde  $+\bar{\delta}$



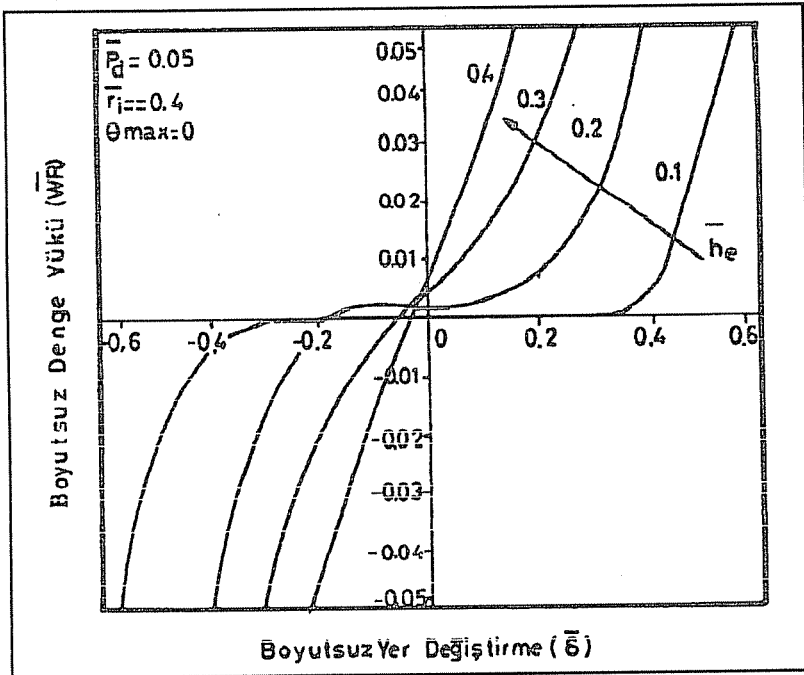
artıkça  $\bar{W}_R$ 'nin yani dengesizliğin de hızla arttığı görülmektedir. Benzer şekilde  $-\bar{\delta}$  yönündeki hareket ön yüzdeki hidrodinamik basınç alanı etkisini azaltırken, arka taraftaki basınç etkisinin artmasına neden olacağından, ikinci taraftaki yük miktarı artacaktır. Eksen kaçıklığının artması aralıktaki hidrodinamik basınç etkisini artıracaktır.  $\bar{h}_e=0.8$  için d'daki  $\pm$  yönlerde küçük bir değişikliğin eleman üzerinde çok büyük dengesizliğe neden olduğu görülmektedir. Eksen kaçıklığı azaltıldığında ise  $\bar{\delta}$  değerlerinin denge yüküne etkisinin bir miktar azaldığı ancak yine de tüm  $\bar{\delta}$  değerlerinde ( $\bar{\delta}=0$  hariç)  $\bar{W}_R$ 'nin sıfırdan farklı değerler aldığı görülmektedir.



Şekil 4. Denge Yüğü ile Yer Değişirme İlişkisi.

Sistemde tasarım basıncı olarak adlandırılan boyutsuz basınç etkisi sözkonusu ise denge yükü ( $\bar{W}_R$ ) ile  $\bar{\delta}$  değişiminde farklılık gözlenecektir. Aynı yatak geometrisi için bu boyutsuz basınç  $\bar{P}_d=0.05$  alındığında, değişim Şekil 5'den görülebilir. Burada eksen kaçıklığı etkisinin görülebilmesi için dört farklı  $h_e$  kullanılmıştır. Analize  $\bar{\delta}=0$  noktasında başlanırsa, elemanda hareket olmadığında çok az da olsa tüm  $\bar{h}_e$  değerlerinde dengesizlik olduğu görülmektedir.  $\bar{h}_e=0.1$ 'de  $\bar{\delta}=\pm 0.3$ ' kadar  $\bar{W}_R$  yaklaşık denge halindedir. Eleman bu yer değiştirme değerlerine kadar hidrostatik basıncın etkisiyle bir miktar dengesiz kalmış bu noktalarda dengelenmiştir. Eleman ön yüzü doğru hareket ettiğinde ( $+\bar{\delta}$ ), dengesizlik artmaktadır. Bu, ayrıca aralıktaki akışkanın elemana uyguladığı yükün artması demektir. Bu yükün çok büyük olması ve

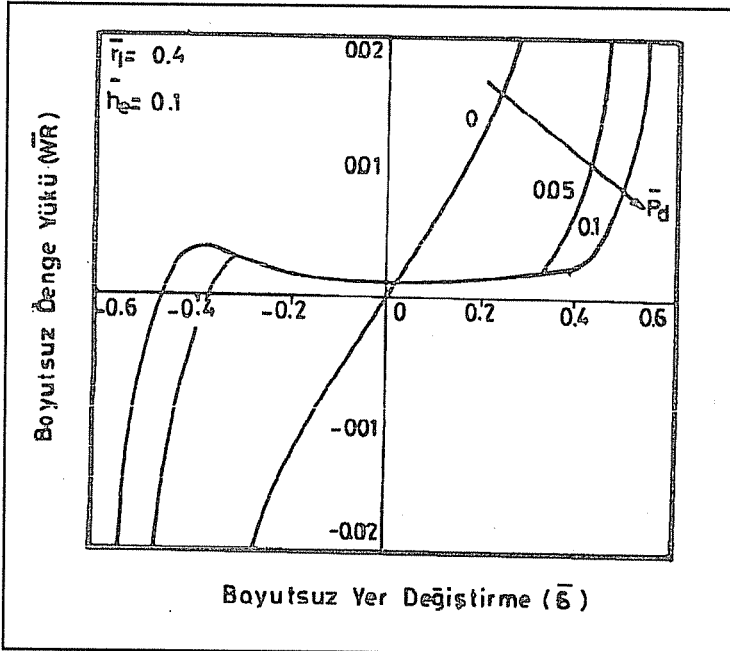
dengelememesi halinde aralık fazla açılacak ve akışkan kaçağı meydana gelebilecektir. Yükün fazla olması arzu edilmesine rağmen akışkan kaçağı istenmeyen bir durumdur. Elemanın ters hareketi durumunda  $\bar{\delta} = -0.3$ 'den sonra harekete devam etmesi 2. taraftaki yükün fazla artmasına neden olacaktır. 2. taraftaki yük sızdırmazlık aralığını kapamaya çalışan bir etki meydana getirmektedir. Yine bu yükün dengelememesi halinde yüzeyler birbirine yaklaşacak ve metal-metal teması tehlikesi ortaya çıkacaktır. Bu tür elemanlar metalik malzemeye sahiptirler ve metal-metal teması yüzeylerde aşırı ısınmaya ve aşınmaya neden olacaktır. Boyutsuz eksen kaçıklığı biraz artırıldığında, şekilde  $\bar{\delta} = 0$ 'da eleman üzerindeki dengesizliğin de arttığı görülmektedir.  $\bar{W}_R$ 'nin işareti pozitif olduğundan dengesizliğe 1. taraftaki yükün neden olduğu bilinmektedir. Sistem üzerindeki yük pozitif olduğundan, iki paralel plaka arasındaki eğimli sızdırmazlık elemanı 2. tarafa hareket etmeye çalışacaktır. Bu durumda bir dengesizlik söz konusudur.  $+\bar{\delta}$  yönünde hareket bu yükü artıracığından dengesizlik de artacaktır. Bu nedenle eleman bu yükün etkisini azaltacak şekilde hareket ettiğinde belli bir  $-\bar{\delta}$  değerinde dengeye ulaştığı görülmektedir. Bu noktada sızdırmazlık elemanının her iki yüzeyine etki eden yükler birbirini dengelemektedir. Elemanın yük dengesinin teorik olarak sağlandığı görülmektedir. Boyutsuz eksen kaçıklığı arttıkça elemanın her iki yüzü de eğimli olduğundan her iki tarafta meydana gelen hidrodinamik basınç etkisi de



Şekil 5. Denge Yükü ile Yer Değiştirme İlişkisi.

artmaktadır. Bu durumda elemanı dengeleyen  $\bar{\delta}$  değerinin azaltılması veya artırılmasıyla yükler etkisini göstermekte ve dengesizlik hızla artmaktadır. Burada hidrostatik basınç etkisinin de söz konusu olduğu bir çalışma ortamında eksen kaçıklığının dengesizlik meydana getirdiği, bu dengesizliğin ortadan kalkması için elemanın bir miktar hareket etmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

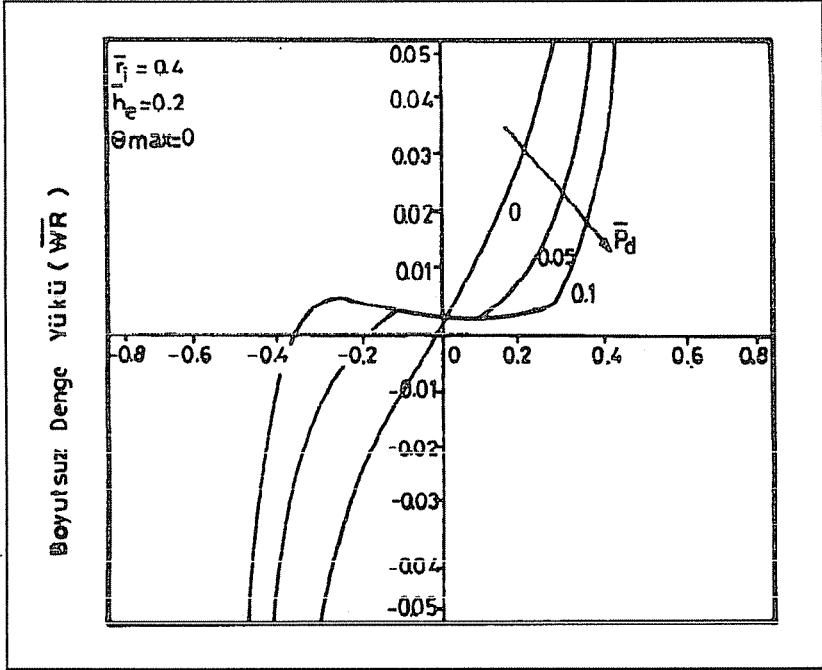
Belli bir eksen kaçıklığına ve iç yarıçapa sahip sızdırmazlık elemanının boyutsuz denge yüküyle yer değiştirmesi arasındaki değişim, farklı sistem basınçlarına göre Şekil 6'da incelenebilir. Şekilde,  $\bar{\delta}$ 'nın  $\pm 0.6$  sınırlarında gösterilmesinin nedeni denge noktalarının bu aralıkta meydana gelmiş olmasındandır. Gerçekte eleman  $\pm 0.9$ 'a kadar yer değiştirebilmektedir.  $\bar{\delta}$ 'nın  $\pm$  yönlere sınırları, yüzey eğimine bağlı olarak  $\bar{h}_e + \bar{\delta} = 1$  olacak şekilde tespit edilmektedir. Eksen kaçıklığı çok küçük olduğu halde eleman üzerinde çok az bir dengesizlik mevcuttur. Kullanılan akışkanın dinamik viskozitesinin  $\eta = 0.02$  Pa-s, açılma hızı  $\omega = 105$  r/s, eleman dış yarıçapının  $r_0 = 5$  cm ve dizayn açıklığı  $h_d = 5$   $\mu$ m olduğu kabul edildiğinde  $\bar{P}_d = 0.05$  ve  $\bar{P}_d = 0.1$ 'de  $\bar{W}_R = 0.00077$  boyutsuz değerinden yaklaşık  $\bar{W}_R = 400$  N şeklinde gerçek değer elde edilmiştir. Burada küçük  $\bar{\delta}$  değerlerinde  $\bar{P}_d = 0.05$  ve  $\bar{P}_d = 0.1$  basınçlarının her ikisinde de eleman aynı dengesizlik miktarında kalmakta,  $\bar{\delta} = \pm 0.3$ 'den sonra ise farklılık görülmektedir. Elemanın teorik olarak  $+\bar{W}_R$  dengesizliğinin  $-\bar{\delta}$  yönünde hareket ederken azalması beklenmektedir. Ancak, burada denge noktasına gelmeden önce ikinci taraftaki yükte artma olması



Şekil 6. Denge Yükü ile Yer Değiştirme İlişkisi.

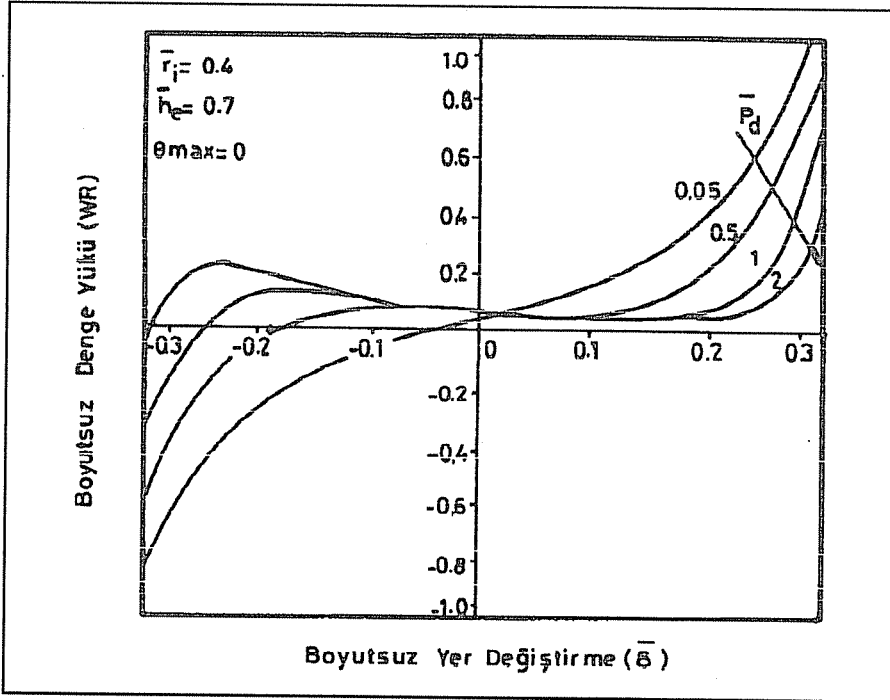
beklenirken azalma olduğu görülmektedir. Bu beklenmeyen davranış, boyutsuz eksen kaçıklığının çok küçük mertebede olması nedeniyle aralıktaki hidrodinamik basınç alanının, yer değiştirme esnasında arka yüzdeki yük miktarının artırması yerine azalmasına ve elemanın ön yüzünde yük miktarının artmasına neden olduğu için ortaya çıkmıştır. Bu dengesiz davranış belli bir  $\bar{\delta}$  değerinden sonra düzelmekte ve elemanın yük dengesi gerçekleşmektedir. Boyutsuz dizayn basıncı artırıldığında, elemanın 1. taraftan 2. tarafa hareketi sırasında bahsedilen dengesizliğin daha da artmış olduğu ve belli bir  $-\bar{\delta}$ 'da bu durumun düzelenek dengeye ulaşıldığı görülmektedir.  $\bar{P}_d=0$ 'da ise beklendiği gibi denge  $\bar{\delta}=0$ 'da sağlanmakta,  $\bar{W}_R=0$  olmaktadır.

Eksen kaçıklığının çok az artışı ( $\bar{h}_e=0.2$ ) halinde  $\bar{W}_R$  ile  $\bar{\delta}$  arasındaki değişim Şekil 7'de görülmektedir. Şekilde,  $\bar{\delta}=0$  iken  $\bar{P}_d=0$ 'da  $\bar{W}_R=0$ ,  $\bar{P}_d=0.05$  ve  $0.1$ 'de  $\bar{W}_R=0.003$  boyutsuz değerinden  $\bar{W}_R=1575$  N gerçek değeri elde edilmiştir.  $\bar{P}_d=0.05$  ve  $\bar{P}_d=0.1$  basınçlarında  $\bar{\delta}=\pm 0.2$  değerlerine kadar  $\bar{W}_R$ 'nin (dengesizlik var) aynı değerde olduğu görülmektedir.  $\bar{P}_d=0.05$ 'de dengeye daha küçük  $\bar{\delta}$ 'da ulaşıldığı,  $\bar{P}_d=0.1$ 'de ise dengeyi sağlamak için negatif yönde harekete devam edilmiş ve belli bir değerde ( $-0.35$ ) eleman dengelenmiştir. Dengeye ulaşmadan önce  $\bar{W}_R$ 'nin pozitif yöndeki artışı yine burada da söz konusu olmaktadır.



Şekil 7. Denge Yüğü ile Yer Değiştirme İlişkisi.

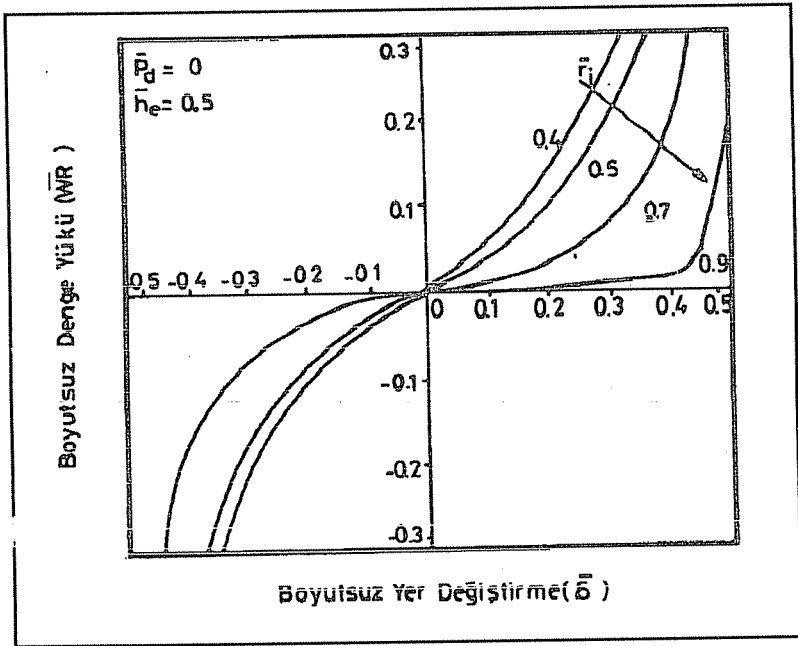
Eksen kaçıklığının çok büyük değerlerinde elemanın denge davranışını görme açısından Şekil 8 incelenebilir. Büyük eksen kaçıklıklarında, elemanın daha büyük boyutsuz basınçlardaki davranışını görebilmek için büyük  $\bar{P}_d$  kullanılmıştır. Burada  $\bar{\delta}=0$ 'da tüm basınçlarda elemanın dengesiz olduğu ( $\bar{W}_R > 0$ ) görülmektedir. Denge yükü (+) işaretli olduğundan  $+\bar{\delta}$  yönündeki hareket ancak dengesizliği artıracak, eleman asla dengeye ulaşamayacaktır. Elemanın  $\bar{\delta}=0.09$ 'a kadar hareketi ile  $\bar{P}_d=0.5, 1$  ve  $2$  için elde edilen denge yekü değerleri aynıdır. Ancak  $\bar{\delta}$ 'nin artırılmasıyla denge yükünün değeri  $\bar{P}_d=0.5$  için hızla artmakta;  $\bar{P}_d=1$  ve  $2$  için ise  $\bar{\delta}=0.17$ 'ye kadar pek değişmemektedir.  $\bar{\delta}$ 'nin daha da artırılmasıyla bu basınçlarda da büyük dengesizliklere ulaşılmaktadır. Eksenel hareket yokken ( $\bar{\delta}=0$ ) bile 1. taraftaki yükün etkisiyle bir dengesizlik ( $\bar{W}_R > 0$ ) var olduğundan elemanın dengelenebilmesi için gerekmektedir. Gerçekten de  $-\bar{\delta}$  yönünde hareket incelendiğinde  $\bar{P}_d=0.5$  için  $\bar{\delta}=-0.175$ ,  $\bar{P}_d=0.1$  için  $\bar{\delta}=-0.24$ 'de ve eleman  $\bar{P}_d=2$ 'de  $\bar{\delta}=-0.285$ 'de dengeye ulaşmaktadır. Elemanın negatif yöndeki hareket serbestisinin  $\bar{\delta}=-0.3$ 'le sınırlandırıldığı düşünülürse  $\bar{P}_d$  büyüdükçe denge için elemanın arka tarafındaki yükün artması gerektiği ortaya çıkmıştır. Burada  $\bar{P}_d=2$ 'de elemanın arka yüzdeki yük etkisini artıracak şekilde  $-\bar{\delta}$  yönünde ilerlerken 2. tarafta gelişen hidrodinamik basınç alanının meydana getirdiği kavitasyon vb. nedenlerle arka yüzdeki yük ön yüzdekine göre daha küçük değerler almış ve  $\bar{W}_R$ 'nin artmasına neden



Şekil 8. Denge Yükü ile Yer Değiştirme İlişkisi.

olmuştur. Bir miktar devam eden bu artma pek fazla olmamakla beraber belli bir  $-\bar{\delta}$ 'dan sonra ortadan kalkmakta, eleman dengelenmektedir. Burada  $\bar{P}_d=2$ 'de  $-\bar{\delta}$  yönünde sınır noktasına gelindiğinde elemandaki dengesizlik çok az artmıştır.  $\bar{P}_d=0.05$ 'de eleman eksen kaçıklığının çok büyük olması ve hidrostatik basınç etkisinin az olması nedeniyle daha küçük hareket miktarıyla dengelenmektedir.

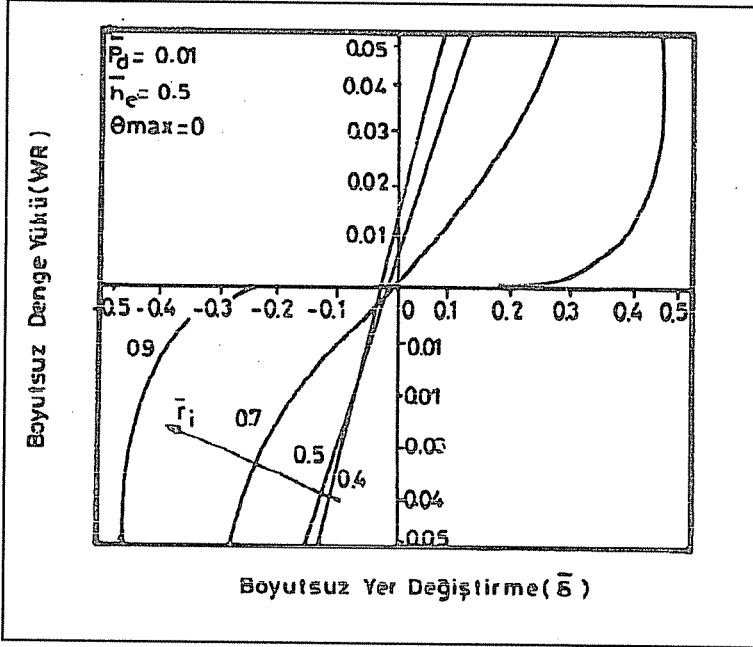
Halka geometrisinin halka davranışına etkisi de incelenmiştir. Şekil 9 tam hidrodinamik çalışma koşullarında  $\bar{h}_e=0.5$  için  $\bar{W}_R$  ile  $\bar{\delta}$  değişimini göstermektedir.  $\bar{\delta}=0$ 'da  $\bar{r}_i=0.4$  ve  $0.5$  için küçük bir miktar dengesizlik ( $\bar{W}_R>0$ ),  $\bar{r}_i=0.7$  ve  $0.9$  için ise denge durumu görülmektedir.  $\bar{r}_i=0.4$  burada en geniş halka alanına işaret etmektedir. Bu geometri üzerinde hidrodinamik basınç alanı etkisi dolayısıyla taşınan yük miktarı da oldukça fazladır. Bu nedenle  $\pm\bar{\delta}$  yönündeki hareketler her iki taraftaki yük miktarlarının da hızlı artmasına neden olacağından dengesizlik çok büyük değerler almaktadır. Halka alanının daralmasıyla ( $\bar{r}_i$ 'nin büyümesi) hidrodinamik basınç etki alanı, dolayısıyla eleman üzerindeki yük miktarlarında azalma olacaktır. Bu ise  $\pm\bar{\delta}$  değerlerinde daha küçük dengesizliğe neden olmaktadır.



Şekil 9. Denge Yüğü ile Yer Değişirme İlişkisi.

$\bar{W}_R$  ile  $\bar{\delta}$  değişimine  $\bar{r}_i$  etkisi, aynı  $\bar{h}_e$ 'de belli bir  $\bar{P}_d$  için Şekil 10'dan kontrol edilebilir. Boyutsuz hidrostatik dizayn basıncının ( $\bar{P}_d=0.01$ ) çok küçük olması denge noktalarını

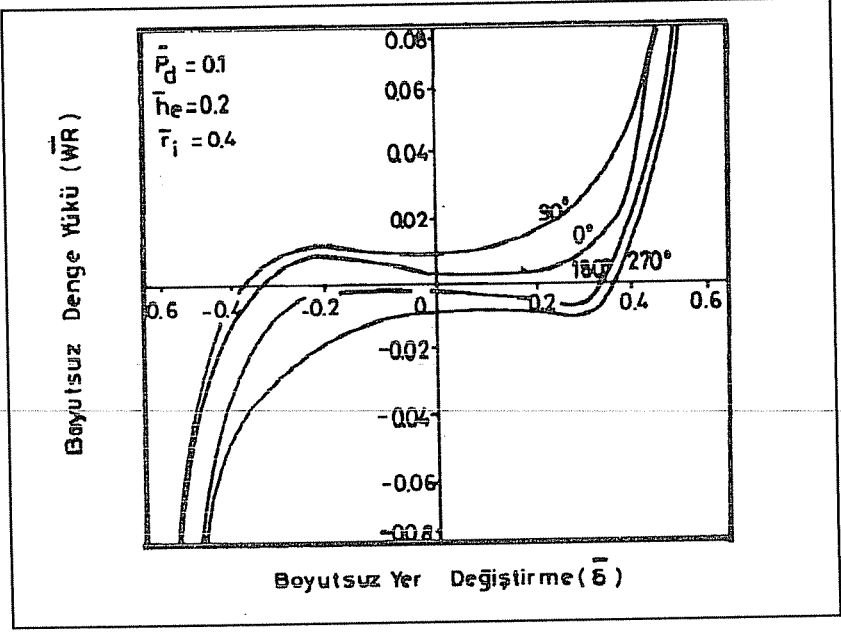
$\bar{\delta}=0$ 'a yaklaştırmıştır.  $\bar{r}_i=0.9$ 'a kadar diğer  $\bar{r}_i$  değerlerinde tüm  $\bar{\delta}$ 'larda belirgin bir dengesizlik görülmekte iken  $\bar{r}_i=0.9$ 'da  $\bar{\delta}=\pm 0.2$ 'ye kadar eleman dengeli çalışmaktadır. Bu değerden sonra dengesizlik görülmektedir. Buradan yatak geometrisi daraldıkça dengesizliğin ortadan kalkması için daha küçük hareket miktarı gerektiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 10. Denge Yüğü ile Yer Değiştirme İlişkisi.

Analiz esnasında bahsedilen sebeplerden dolayı meydana gelen daralan veya genişleyen yağ kaması mekanizmalarında maksimum film kalınlığının meydana geldiği açı  $\theta_{max}$ , elemanın genel davranışının belirlenmesini sağlayan önemli bir parametredir. Bu parametrenin elemanın yer değiştirmesi ile denge yüküne etkisi Şekil 11'den görülebilir. Burada boyutsuz dizayn basıncı  $\bar{P}_d=0.1$ , eksen kaçıklığı  $\bar{h}_e=0.2$  ve  $\bar{r}_i=0.4$  alınmıştır.  $\theta_{max}=0^\circ$  elemanın ön yüzündeki maksimum film kalınlığı açısını göstermektedir. Eleman  $-\bar{\delta}$  yönünde hareket ederek belli bir  $-\bar{\delta}$  değerinde dengelendiği görülebilir.  $\theta_{max}=90^\circ$ 'de  $\bar{W}_R$ 'nin  $\bar{\delta}=0$ 'da biraz daha arttığı görülmektedir.  $\theta_{max}=0^\circ$ 'ye nazaran daha büyük bir dengesizlik söz konusu olduğundan dengeye erişmek için de daha fazla yer değiştirme miktarı gerektiği görülmektedir.  $\theta_{max}=180^\circ$ 'de elemanın 2. taraftaki yük etkisinde olduğu  $\bar{W}_R$ 'nin negatif işaretli olmasından anlaşılmaktadır. Negatif yönde hareket bu dengesizliği artıracığından, denge konumuna erişebilmek için

eleman  $+\bar{\delta}$  yönünde hareket etmelidir. Gerçekten de (+) yöndeki hareket eleman üzerindeki dengesizliği azaltarak belli bir  $+\bar{\delta}$  değerinde dengeyi sağlamaktadır.



Şekil 11. Denge Yüğü ile Yer Değiştirme İlişkisi.

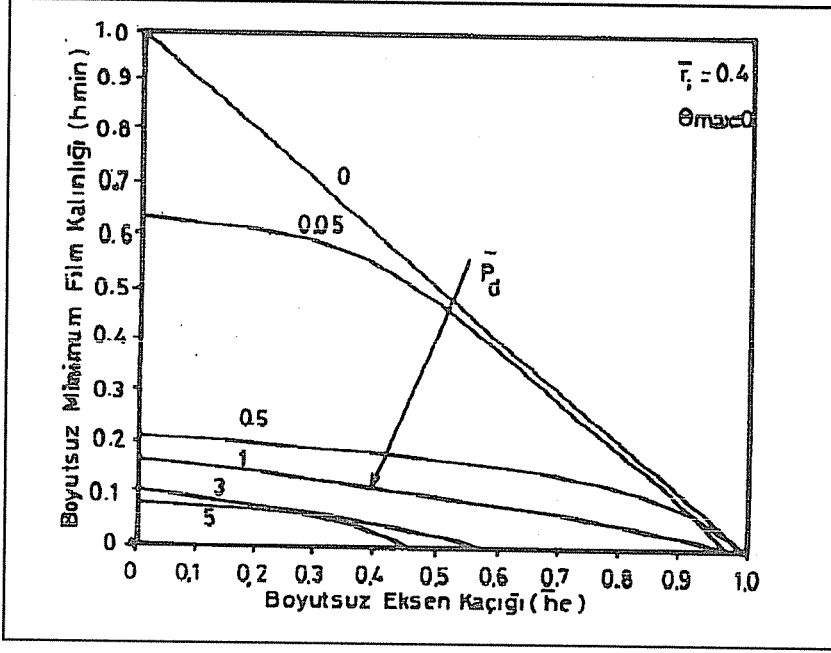
### 3.2. Minimum Film Kalınlığı

Sızdırmazlık tertibatının hidrodinamik dengesi için gerekli olan yer değiştirmeye bağlı olarak aralıktaki film kalınlığı da değişmektedir. Sızdırmazlığın temini ve yük taşıma kapasitesinin istenen düzeyde olabilmesi için uygun film kalınlığının elde edilmesi gerekmektedir. Değişik parametrelere göre tespit edilen elemanın yük dengesinin sağlandığı  $\bar{\delta}$  değerleri daha önceki bölümde açıklandığı gibi aralıktaki maksimum ve minimum film kalınlıklarının bulunmasını da sağlamaktadır.

Şekil 12 boyutsuz minimum film kalınlığı ile boyutsuz eksen kaçıklığı arasındaki değişimi  $\bar{r}_i=0.4$  iken farklı boyutsuz sistem basınçları için göstermektedir. Burada  $\bar{h}_e$ , 0 ile 1 arasında değiştirilmiştir.  $\bar{h}_e=0$  eksen kaçıklığının olmadığı,  $\bar{h}_e=1$  (metal-metal teması) ise maksimum eksen kaçıklığını göstermektedir. Tam hidrodinamik çalışma durumunda  $\bar{h}_e=0$ 'da beklendiği gibi  $\bar{h}_{min}$  en büyük değerdedir ( $\bar{h}_{min}=1$ ). Boyutsuz eksen kaçıklığı arttıkça  $\bar{h}_{min}$  de doğrusal olarak azalmakta ve  $\bar{h}_e=1$ 'de  $\bar{h}_{min}$  sifıra ulaşmaktadır. Hidrostatik basınç etkisi başladığında (basınç arttığında)  $\bar{h}_e=0$ 'da eleman üzerinde bir miktar yük taşındığından  $\bar{h}_{min}$  azalmıştır. Eksen kaçıklığı arttığında aralıktaki minimum film kalınlığı azalacağından  $\bar{h}_{min}$  değerlerinde azalma görülmektedir.  $\bar{P}_d=0.05$ 'de



minimum film kalınlığında  $\bar{h}_e=0$ 'dan 0.4'e kadar çok fazla değişiklik meydana gelmemekte,  $\bar{h}_e=0.4$ 'den sonra  $\bar{h}_e$  arttığından, hidrodinamik basınç alanının da genişlemesiyle beklendiği gibi  $\bar{h}_{\min}$  hızla azalmakta,  $\bar{h}_e=1$ 'de sıfır olmaktadır. Boyutsuz

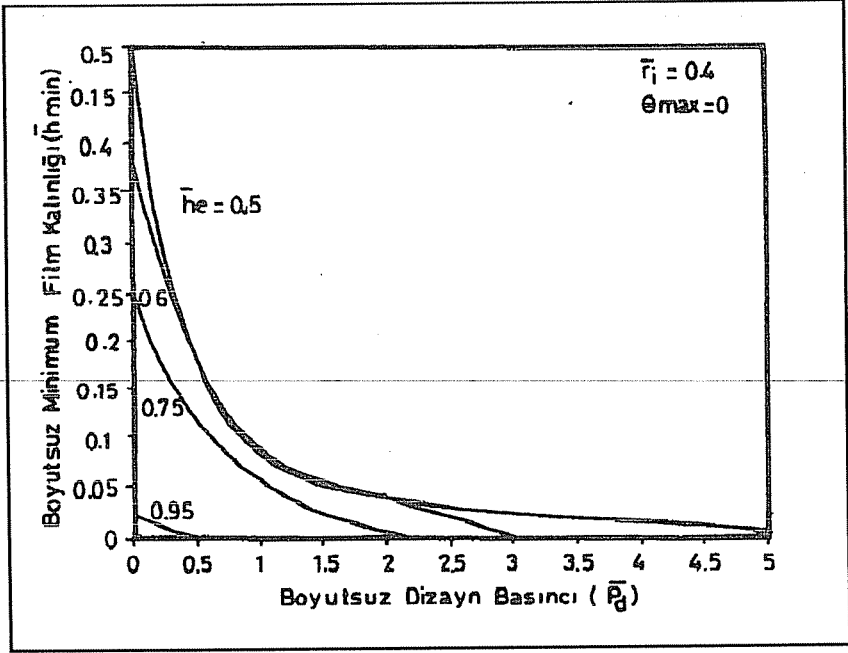


Şekil 12. Minimum Film Kalınlığı ile Eksen Kaçıklığı İlişkisi.

hidrostatik sistem basıncının daha da artırılmasıyla ( $\bar{P}_d=0.5$  ve  $\bar{P}_d=1$ )  $\bar{h}_e=0$ 'da (yüzeyler paralel) aralıktaki minimum film kalınlığı daha da azalacaktır. Boyutsuz eksen kaçıklığının artırılması  $\bar{h}_{\min}$ 'u çok azaltacak ve ancak  $\bar{h}_e=0.8$ 'den sonra minimum film kalınlığı farkedilir bir değişme gösterecektir.  $\bar{P}_d=3$  iken boyutsuz minimum film kalınlığı  $\bar{h}_e=0$ 'da çok küçük bir değerdedir,  $\bar{h}_e$  arttıkça yavaşça azalmakta ve  $\bar{h}_e=0.6$ 'da sıfır olmaktadır. Bu basınçta eksen kaçıklığı  $\bar{h}_e=0.6$ 'dan daha fazla artırılmamalıdır. Çünkü bu noktada yüzeyler birbirine temas etmektedir.  $\bar{P}_d=5$ 'de ise aynı değişim görülmekte ve  $\bar{h}_e=0.5$ 'de  $\bar{h}_{\min}=0$  olmaktadır. Buradan sistem basıncı arttıkça yüzeylere verilebilecek boyutsuz eksen kaçıklığı değerlerinin de azalmakta olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Bu tip sistemlerin hidrolik dengesi, ideal sızdırmazlık performansının gerçekleşmesi için çok önemli olduğundan minimum film kalınlığının bu dengeyi sağlayacak büyüklükte olması arzu edilmektedir. Çalışma basıncının mertebesinin de eksen kaçıklığı vb. parametreler yanında, minimum film kalınlığının formuna etkisi gözönünde bulundurulmalı ve dizayn basınçlarında çalışma şartlarına göre

sınırlamaların belirlenmesi gerekmektedir. Değişik dizayn basınçlarında minimum film kalınlığının davranışı bazı eksen kaçıklıkları için Şekil 13'den incelenebilir. Bu seçilen boyutsuz eksen kaçıklığı değerlerine göre  $\bar{P}_d$  0 ile 5 arasında değiştirilmiştir. Boyutsuz



Şekil 13. Minimum Film Kalınlığı ile Dizayn Basıncı İlişkisi.

minimum film kalınlığının, basınç arttıkça hızla azaldığı burada açıkça görülebilir. Şekilden küçük  $\bar{P}_d$  sınırlamasının  $\bar{h}_e=0.95$ 'de elde edildiği gözükmektedir.  $\bar{h}_e=0.95$  iken eleman  $\bar{P}_d=1$ 'e kadarki tüm boyutsuz basınçlarda belli bir boyutsuz minimum film kalınlığına sahiptir.  $\bar{h}_e=0.75$  seçildiğinde ise, tam hidrodinamik basınçta boyutsuz minimum film kalınlığının maksimum değerde olduğu ve  $\bar{P}_d$  arttıkça hızla azaldığı ve  $\bar{P}_d=2$ 'de sıfır olduğu görülmektedir. Buradan, bu eksen kaçıklığında boyutsuz çalışma basıncının maksimum 2 olabileceği sonucu çıkmaktadır. Eksen kaçıklığı daha da küçüldüğünde bu sınırın  $\bar{h}_e=0.6$  için maksimum 3,  $\bar{h}_e=0.5$  için maksimum 5 olduğu görülmüştür. Boyutsuz eksen kaçıklığı azaldıkça bu basınç sınırları büyük değerler alacaktır. Bu eğri grupları, tasarım için önemli sınırlamalara işaret etmesi bakımından çok önemlidir.

#### 4. SONUÇ

Mekanik radyal sızdırmazlık tertibatında sızdırmazlık elemanının sızdırmazlık

görevini etkili bir şekilde yerine getirebilmesi için hidrolik dengesinin sağlanması gerekmektedir. Burada sızdırmazlık elemanının her iki tarafının da eğimli olduğu kabul edilmiş, hidrolik denge ve aralıktaki film kalınlığı değişik sistem parametreleri ile dinamik koşullar göz önüne alınarak incelenmiştir. Elde edilen eğri gruplarından eksen kaçıklığının ve hidrostatik dizayn basıncının eleman üzerinde dengesizliğe neden olduğu ve eleman dengesizlik yönüne uygun hareket etmesiyle dengenin sağlandığı görülmüştür. Tam hidrodinamik çalışma ortamında elemanın hiç hareket etmemesiyle dengeye ulaşıldığı, küçük  $\bar{h}_e$ 'lerde yer değiştirmenin daha küçük dengesizliklere neden olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak eleman çalışma esnasında dinamik etkilerden dolayı bir miktar hareket edebilmekte olduğundan hiç bir zaman tam dengeli çalışmamaktadır. Sistemde hidrostatik basınç arttıkça hidrolik denge için daha büyük yer değiştirme miktarına ihtiyaç olmaktadır. Elemanın hidrolik dengesi sağlanırken minimum film kalınlığı da, daralan yağ kamasının oluşumu için sıfırdan farklı belli bir değerde olmalıdır. Gereğinden fazla eksen kaçıklığı veya hidrostatik basınç etkilerinden dolayı hidrolik denge bozulabilmektedir. İki yüzeyinin de eğimli olduğu düşünülen sızdırmazlık modelinin bahsedilen denge şartları, bu modele uygun olarak yapılan bir bilgisayar yardımıyla kolayca analiz edilebilmiştir.

## 5. SEMBOLLER

$h$	Film kalınlığı
$h_0$	Merkezdeki film kalınlığı
$h_d$	Dizayn açıklığı
$h_e$	Eksen kaçıklığı
$\bar{h}_e$	$= h_e / h_d$ , boyutsuz eksen kaçıklığı
$h_{max}$	Maksimum film kalınlığı
$h_{min}$	Minimum film kalınlığı
$t$	Eğim
$t_1$	$= h_e / (1 - \delta)$ , ön yüz için eğim ifadesi
$t_2$	$= h_e / (1 + \delta)$ , arka yüz için eğim ifadesi
$P$	Basınç
$P_d$	Dizayn basıncı
$\bar{P}_d$	$= P_d h_d^2 / (\eta \omega r_0^2)$ , boyutsuz dizayn basıncı
$P_s$	Sızdırmazlık basıncı
$\bar{P}_s$	$= P_s h_0^2 / (\eta \omega r_0^2)$ , boyutsuz sızdırmazlık basıncı
$W$	Yük
$\bar{W}$	$= W h_0^2 / (\eta \omega r_0^4)$ , boyutsuz yük
$W_d$	Dizayn yükü

$\bar{W}_d$	= $W_d h_d^2 / (\eta \omega r_0^4)$ , boyutsuz dizayn yükü
$\delta$	Yer değiştirme miktarı
$\bar{\delta}$	= $\delta / h_d$ , boyutsuz yer değiştirme miktarı
$\eta$	Dinamik viskozite
$\omega$	Açısal hız

## 6. KAYNAKLAR

1. Sneck, H.J., "The Misaligned Eccentric Face Seal", *Journal of Lubrication Technology, Trans. of ASME*, 695-703, October 1969.
2. Etsion, I., "Radial Forces in a Misaligned Radial Face Seal", *Trans. of ASME, Journal of Lubrication Tech.*, 101, 81-85, January 1975.
3. Sharoni, A., Etsion, I., "Performance of End-Face Seals With Diametral Tilt And Coning-Hydrodynamic Effects", *Trans. ASLE, Vol. 24,1*, 61-70, 1979.
4. Sinha, P., Nailway, T.S., "Squeeze Effects In Misaligned Radial Face Seals With Coning", *Wear*, 85, 143-149, 1982.
5. Koç, E., Çulha, E.C., "Mekanik Radyal Sızdırmazlık Elemanlarının Hidrodinamik Analizi I: Elastik Deformasyon", *Ç.Ü.Müh.Mim.Fak. Dergisi*, 5, 2, 93-109, 1990.
6. Koç, E., Çulha, E.C., "Mekanik Radyal Sızdırmazlık Elemanlarının Hidrodinamik Analizi II: Yük Taşıma Kapasitesi ve Rijitlik", *Ç.Ü.Müh.Mim.Fak. Dergisi*, 5, 2, 111-122, 1990.
7. Koç, E., Çulha, E.C., "Mekanik Radyal Yüzey Sızdırmazlık Elemanlarının Analizi: Teorik Yaklaşım", *Ç.Ü.Müh.Mim.Fak.Dergisi*, 7, 2, 133-147, Aralık 1992.
8. Çulha, E.C., "Endüstriyel Mekanik Sızdırmazlık Elemanlarının Tasarım Esasları ve Hidrolik Dengesi", *Ç.Ü. Fen Bil. Enst., Master tezi*, Şubat 1993.

## CİSİM UYUMLU AĞ YAPISI TASARIMININ KOMPLEKS AKIŞ GEOMETRİLERİNE UYGULANIŞI

Hüseyin AKILLI ve Beşir ŞAHİN

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

**ÖZET:** Bilgisayar destekli teorik çalışmaların esası sayısal yöntemlere dayanmaktadır. Sayısal yöntemler, üzerinde çözüm yapılan bölgeyi ağırlara bölmekte ve herbir ağ (düğüm) noktasında diferansiyel denklemi çözmektedir. Çözülen problemin türüne, sınır şartlarına ve çözüm bölgesinin geometrisine göre literatürde karşılaşılan çeşitli ağ üretim teknikleri vardır. Bu çalışmada, en çok kullanılan ağ üretim tekniklerinden olan, cisim uyumlu ağ yapısı tasarımı kompleks geometrilere uygulanarak yöntemin avantajları ortaya konmuştur. Yöntem çok karmaşık akış geometrilerine uygulanabilmektedir ve ağ üretim süresi de oldukça kısadır.

## APPLICATION OF BODY ORIENTATED MESH GENERATION TO COMPLEX FLOW GEOMETRIES

**ABSTRACT:** Computational theoretical studies are mainly based on numerical methods. Numerical methods divide the solution domain into meshes and solve the differential equations which govern the physical phenomenon. There are various mesh generation techniques in the literature that are based on the problems, boundary conditions and the geometry of the solution domain. In this study, the body orientated mesh generation technique, which is one of the most commonly used techniques, was investigated by an application on the complicated flow geometries in order to see its advantages. It has been seen that this method can be applied to any complicated geometry and it takes a short time to process meshes.

## 1.GİRİŞ

Fiziksel bir problemi ifade eden diferansiyel denklemlerin sayısal çözümünde, çözümü yapılan bölgenin ağırlara bölünmesi kullanılan çözüm yönteminin gereğidir. Oluşturulan ağlar çözüm yöntemine göre üçgen, dörtgen veya altıgen olabilir. Kısmi diferansiyel denklemlerin sayısal çözümünde kullanılan ağ üretiminin çözüm üzerindeki etkisi çok önemlidir. İyi üretilmiş bir ağ yapısı, problemin çözümünü büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır. Benzer şekilde, iyi üretilmeyen ağ yapısı ile arzu edilen sonuçlar alınamayabilir. Bazı uygulamalarda, oluşturulan ağ yapısının, gerek problemin fiziği ile ve gerekse çözüm yöntemiyle olan uygunluğu, istenen sonuçların alınmasının yanısıra çözüm süresini ve hazırlanan bilgisayar programının yakınsamasını kısaltmaktadır. Bu nedenlerle, her hangi bir problemin sayısal olarak çözümünde dikkat edilmesi gereken noktalardan biri ağ üretim tekniğidir.

Ağ üretim teknikleri genel olarak üç grupta toplanır. Bunlar; i) kompleks değişkenler metodları, ii) cebrik metodlar ve iii) diferansiyel denklem metodlarıdır. Kompleks değişkenler metodunda analitik veya kısmi analitik dönüşümlerin kullanılması sebebiyle diğer metodlardan avantajlıdır. Cebrik ve diferansiyel denklem metodları ile ağ üretimi yapılırken sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Kompleks değişkenler metodunun dezavantajı, üç boyutlu ağ üretimi için elverişli olmamasıdır. Bu nedenle, kompleks değişkenler metodunun uygulama alanı sınırlıdır. Bu metoda örnek olarak; Theoderson yöntemi, Karman-Treffitz yöntemi ve Kutta-Joukowsky yöntemleri verilebilir. (1), çalışmasında Theoderson yöntemini kullanarak karmaşık geometriler etrafında ortogonal ağlar üretmiştir.

Diferansiyel denklem metodlarında, koordinat dönüşümlerinden faydalanılmaktadır. Uygulanan koordinat dönüşümleri diferansiyel denklem tarafından kontrol edilmektedir. En çok kullanılan dönüşüm diferansiyel denklemleri; Laplace ve Poisson diferansiyel denklemleridir. Bu metoda örnek olarak, eliptik ağ üretimi ve sınır uyumlu ağ üretim yöntemleri verilebilir. (2), gerek üzerinde çözüm yapılan geometriyi ve gerekse fiziksel olayı ifade eden diferansiyel denklemleri Poisson diferansiyel denklemini kullanarak referans koordinat sistemine dönüştürmüş ve sayısal yöntemi bu yeni koordinat sistemi üzerinde uygulamıştır. Elde edilen sonuçlar, tekrar gerçek koordinat sistemine ters dönüşüm uygulanarak çevrilmiştir. (3), çalışmasında eliptik ağ üretim yöntemini kullanarak kanat etrafında ağ üretimi yapmış ve bu ağ üretiminden yararlanarak sonlu hacimler yöntemiyle çeşitli geometrilerdeki kanatlar etrafında akış karakteristiklerini hesaplamıştır.

Cebrik metodlarda ise diferansiyel denklem metodlarına benzer olarak koordinat dönüşümlerinden faydalanılmaktadır. Burada koordinat dönüşümü matematiksel ifadeler kullanılarak yapılmaktadır. Çözüm yapılan bölge, koordinat dönüşümleriyle dikkörtgen bölgeye dönüştürülmekte, dikkörtgen bölge üzerinde ağ üretimi yapıldıktan sonra ters dönüşüm ile iç" noktaların gerçek koordinat sistemindeki değerleri

hesaplanmaktadır.

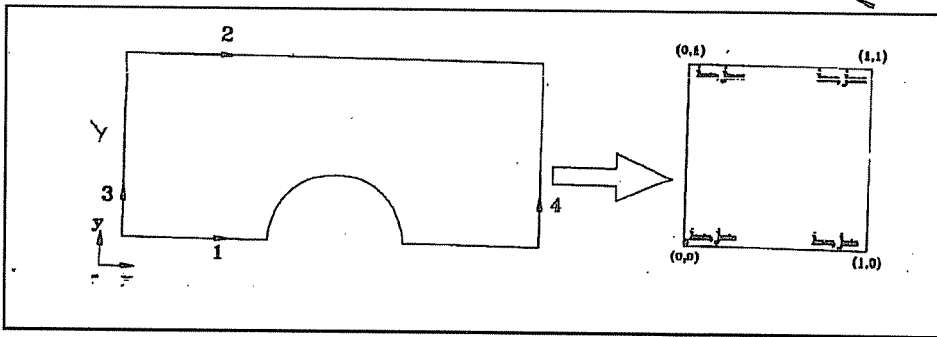
Bu metodlara örnek olarak, cisim uyumlu ağ yapısı tasarımı verilebilir. (4), yapmış olduğu çalışmada cisim uyumlu ağ yapısı tasarımı kullanarak iki ve üç boyutlu geometriler için ağ üretimi yapmıştır. İstenilen bölgelerde daha sık veya daha az sayıda ağ üretimi sağlaması, uygulanan koordinat dönüşümünün basit oluşu, bilgisayarla programlanmaya yatkınlığı ve matematiksel işlemlerin kolaylığı açısından bu yöntem sonraki yıllarda bilim adamlarının en çok tercih ettiği yöntemlerden biri haline gelmiştir. Cisim uyumlu ağ yapısı tasarımı akışkanlar mekaniği ve aerodinamik problemlerinin sayısal çözümünde kullanılan ağ üretim tekniklerinin başında gelmektedir. Bu çalışmada, akışkanlar mekaniğinde karşılaşılan kompleks geometriler için bu yöntemin kullanılabilirliği ve avantajları açıklanmıştır.

## 2. AĞ YAPISI TASARIMI

Yöntemin temeli koordinat dönüşümüne dayanmaktadır. Bu yöntemde iki tür koordinat sistemi kullanılmaktadır. Bunlar; gerçek koordinat sistemi  $(x,y)$  ve referans koordinat sistemi  $(\zeta,\eta)$  dir. Üzerinde çözüm yapılan gerçek koordinatlardaki bölge dönüşüm uygulanarak dikdörtgen bölgeye (referans koordinat sistemine) çevrilmekte ve bu yeni bölge üzerinde interpolasyonla ağ üretimi yapıldıktan sonra elde edilen düğüm noktalarının koordinatları gerçek koordinat sistemindeki değerlerine dönüştürülmektedir.

### 2.1 Koordinat Dönüşümü

Çözüm yapılan gerçek bölgeyi belirleyen sınırlardaki  $x,y$  koordinatları (sınır sabit noktaları) 2 eşitliği ile  $(\zeta,\eta)$  koordinat sistemindeki değerlerine dönüştürülür. Şekil 1'de gerçek bölge ve koordinat dönüşümü sonundaki referans bölge gösterilmiştir. Şekil 1'de gösterilen 1 eğrisi boyunca  $\eta=0$ , 2 ile gösterilen eğri boyunca  $\eta=1$  dir. Benzer şekilde 3 eğrisi boyunca  $\zeta=0$  ve 4 eğrisi boyunca  $\zeta=1$  dir.



Şekil 1. Gerçek bölge ve referans bölge

1 eğrisi boyunca verilen gerçek koordinatlardaki sınır sabit noktaları;

$$x=f_1(\zeta), y=g_1(\zeta) \quad (1a)$$

şeklinde ifade edilir. Benzer şekilde 2 eğrisi boyunca ( $\eta=1$  olduğu yerde);

$$x=f_2(\zeta), y=g_2(\zeta) \quad (1b)$$

3 eğrisi boyunca ( $\zeta=0$  olduğu yerde);

$$x=f_3(\zeta), y=g_3(\zeta) \quad (1c)$$

4 eğrisi boyunca ise ( $\zeta=1$  olduğu yerde);

$$x=f_4(\zeta), y=g_4(\zeta) \quad (1d)$$

olarak yazılır. Burada f ve g fonksiyonlarına sınır fonksiyonları denir. 1 eğrisi boyunca sınır sabit noktaları aşağıdaki eşitlik ile referans koordinat sistemine dönüştürülür.

$$\zeta_{i,jmin} = \frac{\sum_{m=i_{min}+1}^i \left[ (\Delta X_m)^2 + (\Delta Y_m)^2 \right]^{1/2}}{\sum_{m=i_{min}+1}^{imax} \left[ (\Delta X_m)^2 + (\Delta Y_m)^2 \right]^{1/2}} \quad (2)$$

Burada;

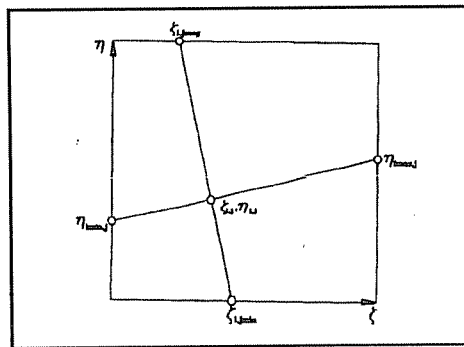
$$\Delta X_m = X_{m,jmin} - X_{m-1,jmin}$$

$$\Delta Y_m = Y_{m,jmin} - Y_{m-1,jmin}$$

olarak hesaplanır. Diğer sınır sabit noktaları 2 eşitliğindeki benzer şekilde referans koordinat sistemine dönüştürülür.

## 2.2. İç Noktaların Hesaplanması

Sınır sabit noktalarının referans koordinat sistemine dönüştürülmesinden sonra, dönüştürülmüş sınır sabit noktalarından yararlanılarak iç noktalar hesaplanır. Şekil 2'de i,j noktasının koordinatları 3a, 3b eşitlikleri yardımıyla hesaplanır.



Şekil 2. i,j noktasının koordinatlarının hesaplanması için kullanılan notasyon



$$\zeta_{i,j} = \frac{(\zeta_{i,jmax} - \zeta_{i,jmin}) \eta_{imin,j} + \zeta_{i,jmin}}{1 - (\eta_{ijmax} - \eta_{imin,j})(\zeta_{i,jmax} - \zeta_{i,jmin})} \quad (3a)$$

$$\eta_{i,j} = \frac{(\eta_{imax,j} - \eta_{imin,j}) \zeta_{i,jmin} + \eta_{imin,j}}{1 - (\eta_{ijmax} - \eta_{imin,j})(\zeta_{i,jmax} - \zeta_{i,jmin})} \quad (3b)$$

Böylece referans koordinat sisteminde iç ağ noktalarının koordinatları hesaplanmış olur. Referans koordinat sistemindeki 3a ve 3b eşitlikleri ile elde edilen iç noktaların gerçek koordinat sistemine dönüştürülmesi için gereken ters dönüşüm formülü 4 eşitlikleri ile verilmiştir.

$$x(\zeta, \eta) = (1-\eta)f_1(\zeta) + \eta f_2(\zeta) + (1-\zeta)f_3(\eta) + \zeta f_4(\eta) - x(0,0)(1-\zeta)(1-\eta) - x(1,0)\zeta(1-\eta) - x(0,1)(1-\zeta)\eta - x(1,1)\zeta\eta \quad (4a)$$

$$y(\zeta, \eta) = (1-\eta)g_1(\zeta) + \eta g_2(\zeta) + (1-\zeta)g_3(\eta) + \zeta g_4(\eta) - y(0,0)(1-\zeta)(1-\eta) - y(1,0)\zeta(1-\eta) - y(0,1)(1-\eta)\zeta - y(1,1)\zeta\eta \quad (4b)$$

Burada;

$$f_1(\zeta) = \left( \frac{\zeta - \zeta_{i,jmin}}{\zeta_{i+1,jmin} - \zeta_{i,jmin}} \right) \left[ f_1(\zeta_{i+1,jmin}) - f_1(\zeta_{i,jmin}) \right] + f_1(\zeta_{i,jmin}) \quad (5)$$

şeklinde hesaplanır. Diğer f ve g fonksiyonları 5 eşitliğine benzer şekilde hesaplanırlar. Ayrıca 4a ve 4b eşitliklerinde;

$X(0,0) = X_{imin,jmin}$ ,  $X(0,1) = X_{imin,jmax}$ ,  $X(1,0) = X_{imax,jmin}$  ve  $X(1,1) = X_{imax,jmax}$  olarak tanımlanır ve y değerleri de benzer olarak hesaplanır.

Mevcut yöntem beş farklı geometri üzerinde uygulanmıştır. Şekil 3-7'de cisim uyumlu ağ yapısı tasarımı ile üretilen ağ yapıları gösterilmiştir.

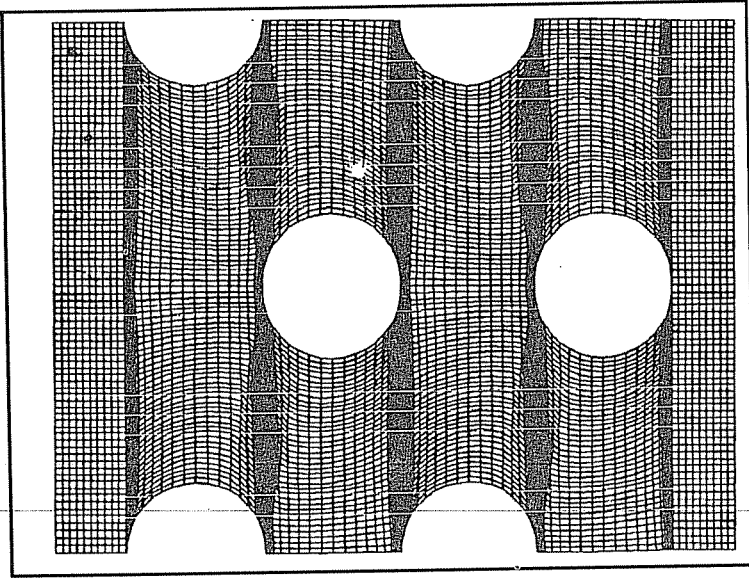
Şekil 3'teki geometri etrafında 137x82 boyutlarında ağ yapısı üretilmiştir. Yapılan tasarımda 11016 iç ağ noktası ve ağ(hücre) ve 438 sınır sabit noktası vardır.

Şekil 4'teki dörtgen cisim etrafında 45x34 boyutlarında ağ üretimi yapılmıştır. Tasarım 1452 iç ağ noktasını ve 158 sınır sabit noktasını içermektedir.

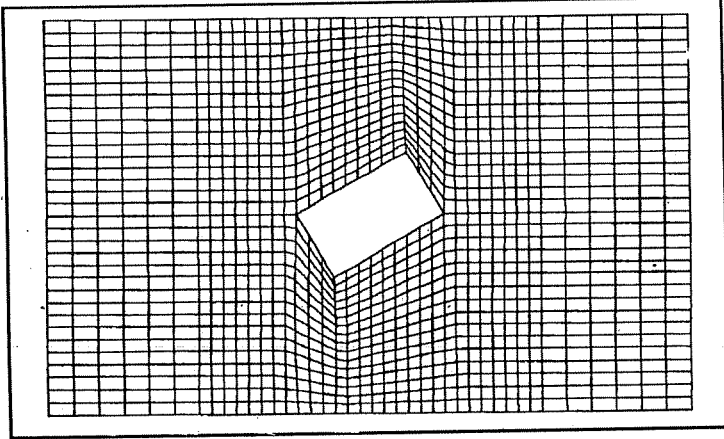
Şekil 5'te sinuzoidal bir cidar için üretilen ağ yapısı gösterilmektedir. Bu tasarımda 71x42 boyutlarında ağ üretilmiştir. Tasarım 2870 iç ağ noktasını ve 113 sınır sabit noktasını içermektedir.

Şekil 6'da sinuzoidal ve elipsten oluşan bir geometri için ağ üretimi yapılmıştır. Oluşturulan ağ yapısı 145x21 boyutlarında olup 2800 iç ağ noktasını ve 166 sınır sabit noktasını içermektedir.

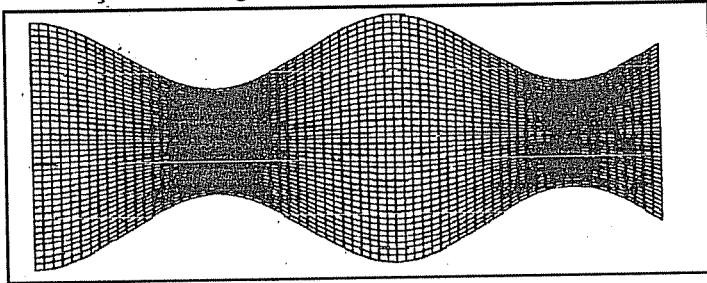
Şekil 7'deki geometride ise silindirik boru içine yerleştirilmiş konik halka için 156x61 boyutlarında ağ üretimi yapılmıştır. Tasarımda 9300 iç ağ noktası ve 217 sınır sabit noktası vardır.



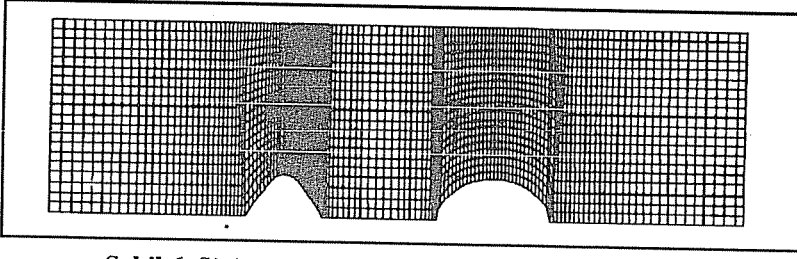
Şekil 3. Kompleks bir geometri için ağ üretimi



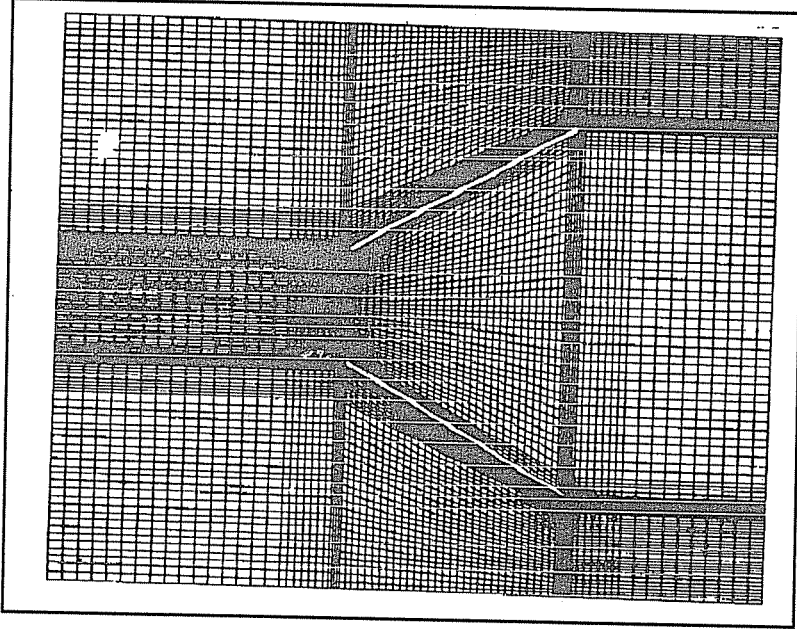
Şekil 4. Dörtgen bir cisim için üretilen ağ yapısı



Şekil 5. Sinizoidal bir cidar etrafında ağ üretimi



Şekil 6. Sinizoidal ve elips geometriler için ağ üretimi



Şekil 7. Silindirik boru içine yerleştirilmiş konik halka için ağ üretimi

Şekil 3-7'den de anlaşıldığı üzere cisim uyumlu ağ yapısı tasarımı karmaşık geometriler için ağ üretimine elverişlidir. Cebrik bir yöntem olması sebebiyle ağ üretim süresi çok kısadır. Sayısal çözüm yöntemi olarak sonlu hacimler yöntemi kullanıldığında, oluşturulan her bir ağın orta noktasının ve alanının bulunması mümkündür. Sonlu elemanlar yöntemi kullanıldığında kodlama tablosunun oluşturulması, dörtgen eleman yerine üçgen eleman kullanılması ve lineer ağ elemanı yerine kuadratik eleman kullanılması mümkündür.

### 3. SONUÇ

Bu çalışmada, karmaşık geometriler etrafında üretilen cisim uyumlu ağ yapısı incelenmiştir. Herhangi bir cisim etrafında veya bölge üzerinde üretilen ağ yapısı, sonlu

hacimler veya sonlu elemanlar yöntemlerinin uygulanmasına elverişlidir. Yöntemin çözüm yapılacak bölge üzerinde istenildiği kadar ağ üretimine izin vermesi ve bölge üzerinde istenilen kısımlarda daha sık veya daha seyrek ağ üretimine elverişli olması yöntemin avantajlarından. Ayrıca, kullanılan matematiksel modelin basitliği ve bilgisayar ile programlamaya yatkın oluşu bu yöntemin tercih edilmesindeki en önemli sebeplerdendir.

#### 4. KAYNAKLAR

1. Moretti, G., "Ortogonal Grids Around Difficult Bodies", *AIAA Journal*, Vol.30, No.4, pp.933-938, 1992.
2. Subiah, S., Trafford, D.L., and Güçeri, S.I., "Non-isothermal Flow of Polymers into Two-dimensional, Thin Cavity Molds, A Numerical Grid Generation Approach", *Int.J. Heat and Mass Transfer*, Vol.32, No.3, pp.415-434, 1989.
3. Stewart, M.E.M., "Domain-Decomposition Algorithm Applied to Multielement Airfoil Grids", *AIAA Journal*, Vol.30, No.6, pp.1457-1461, 1992.
4. Cook, A.W., "Body Oriented (Natural) Co-ordinates for Generating Three Dimensional Meshes", *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol.8, pp.27-43, 1974.
5. Batina, T.J., "Unsteady Euler Airfoil Solutions Using Unstructured Dynamic Meshes", *AIAA Journal*, Vol.28, No.8, 1990.
6. Ghassemi F., "Automatic Mesh Generation Scheme for a Two or Three Dimensional Triangular Curved Surface", *Computers and Structures*, Vol.15, No.6, pp.613-626, 1982.
7. Pirzadeh, S., "Structured Background Grids for Generation of Unstructured Grids by Advancing-Front Method", *AIAA Journal*, Vol.31, No.2, pp.257-265, 1993.
8. Roache, P.J., "Computational Fluid Dynamics", *Aerodynamics Research Department, Sandia Laboratories, Albuquerque, New Mexico, Hermosa Publishers.*
9. Thompson, F.J., Narsi, Z.M.A., and Mastin, C.W., "Numerical Grid Generation, Foundations and Applications", *Elsevier Science Publishing Co., 1985, The Netherlands.*
10. Wendt, F.J., "Computational Fluid Dynamics", *Von-Karman Institute Book, Springer, Verlag, 1992, Belgium.*

## NÜMERİK KONTROLLU TEZGAHLARDA KAPALI DEVRE KONTROL SİSTEMİ UYGULAMASI

Erdem KOÇ

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

Ömer EMİR

Ç. Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana/Türkiye

**ÖZET:** Bu çalışmada masa üstü bir torna tezgahı optik enkoder kullanılarak geri beslemeli nümerik kontrollu hale getirilmiştir. Kesici takım hareketi adım motorlarıyla ayna hareketi ise AC motorla kontrol edilmiştir. Geliştirilen PASCAL dilindeki üretim ve kontrol programıyla değişik yüzey formuna sahip parçaların 0.005 mm hassasiyette işlenmesi gerçekleştirilmiştir. Üretim anında kesici takımın izlediği yol geliştirilen simülasyon programı yardımıyla bilgisayar ekranında gösterilmektedir.

## AN APPLICATION OF CLOSED CIRCUIT CONTROL SYSTEM ON NUMERICAL CONTROLLED MACHINE TOOLS

**ABSTRACT:** In this study, a bench type lathe has been converted into a numerical controlled type by using optical encoder. Cutting tool motion has been controlled by stepper motors, whereas the spindle motion has been controlled by AC motor. By a production and control program developed in PASCAL language, machining of work pieces having different surface profiles has been performed with an accuracy of 0.005 mm. During the manufacturing process, the path being traced by cutter was shown on the PC monitor by a simulation program developed.

## 1. GİRİŞ

Bir takım tezgahından istenen, imalat zamanının kısa olması, yüzey kalitesinin yüksek olması, tezgahtan mümkün olduğunca yararlanma, işçiliğin ve maliyetin asgariye indirilmesi, aynı hassasiyette seri üretim yapabilmek gibi konulardır. Bu isteklerin büyük ölçüde gerçekleştirildiği takım tezgahları nümerik kontrollü takım tezgahlarıdır.

Nümerik kontrollü (NC) tezgahlar, kontrol sistemi, kontrol devresi ve tezgah olmak üzere üç kısımdan meydana gelir. Kontrol sisteminde belirlenen bilgiler, elektrik ikazı şeklinde kontrol devresine iletilir ve buradan ilgili motor ile tezgahın hareket elemanı uyarılır. Nümerik kontrollü tezgahlarda açık devre ve kapalı devre kontrol sistemi olmak üzere iki tür kontrol sistemi mevcuttur (1,2).

Nümerik kontrollü bir tezgahta, bir parçanın imalatı için hazırlanan program okuyucu birim tarafından okunur; alınan bilgiler kontrol merkezine gönderilir. Burada işleme tabi tutularak geometrik ve teknolojik bilgiler ayrılır. Geometrik bilgiler tezgahın hareketli elemanlarına (kesici takım, tabla), teknolojik bilgiler ise hız kutularına gönderilir. Kontrol merkezi tarafından gönderilen bu bilgilerin, yerlerine istenilen değerde gidip gitmediğinin denetlenmediği kontrol sistemi açık devre kontrol sistemi olarak bilinir.

Kapalı devre kontrol sisteminde yapılması istenen işin yapılıp yapılmadığını denetleyen ve tamamlanmasını sağlayan bir geri besleme devresi mevcuttur. Geri besleme sisteminde kesici takımın veya iş parçasının bağlı olduğu tablanın konumunu belirlemek için doğrusal, döner v.b.sistemler ile bu sistemlerden elde edilen bilgileri kuvvetlendirici cihazlar kullanılır.

Bu çalışmada, optik enkoder kullanılarak elde edilen geri beslemeli kontrol sistemi masa üstü küçük bir torna tezgahına uygulanmıştır. Kurulan deney düzeneğinde matematiksel olarak ifade edilebilen tüm yüzeylerin bilgisayar yardımıyla işlenmesi mümkün olabilmektedir.

## 2. TEZGAH TAHRİK ELEMANLARI VE KONTROL

Nümerik kontrollü ve bilgisayar nümerik kontrollü (NC ve CNC) tezgahlarda tahrik elemanı olarak doğru akım motorları, adım motorları ya da hidrolik motorlar kullanılmaktadır. Bu motorların dışında kontrol yöntemleri henüz deneme aşamasında olmasına rağmen alternatif akım motorları da nümerik kontrollü tezgahlarda kullanım alanı bulmaktadır.

### 2.1. Alternatif Akım (AC) Motorları

Alternatif Akım motorları Senkron ve Asenkron olmak üzere iki tiptir. Senkron motorlar sabit devirlerde çalışan ve özel amaçlar için kullanılan motorlardır. Asenkron motorlarda ise motorun hızını değişik yöntemlerle ayarlamak mümkündür (3).

Asenkron motorları basit yapılı, ucuz olması, işletilmesi ve tamiratının kolay

olması nedeniyle endüstride geniş kullanım alanı bulmuştur. Rotorun yapısına göre bu motorlar kısa devre rotorlu ve rotoru sargılı (döner bilezikli) olmak üzere iki tiptir (3,4). Geliştirilmiş bir çok hız ayar yöntemi arasında, son yıllarda endüstride yaygın olarak kullanılan diyotlar asenkron motorun hız ayarında etkin olarak kullanılmaktadır.

Darbe genişliği modülasyonu (PWM) olarak bilinen yöntem ile hız kontrolunun istenilen şekilde yapılması AC motorların nümerik kontrollu tezgahlarda kullanılmasını sağlamıştır (5).

## 2.2. Adım Motorları

Adım motorları, girişlerine uygulanan darbe dizilerini eşit aralıklı açısız harekete dönüştüren elektromagnetik elemanlardır. Adım motorlarının sürücüsüne uygulanacak bir sayısal darbe motorun belirli bir açı kadar hareket etmesine neden olur. Günümüzde kullanılan adım motorları Değişken Relüktanslı, Daimi Mıknatıslı ve Karma (Hibrit) olmak üzere üç ana gruba ayrılır (6).

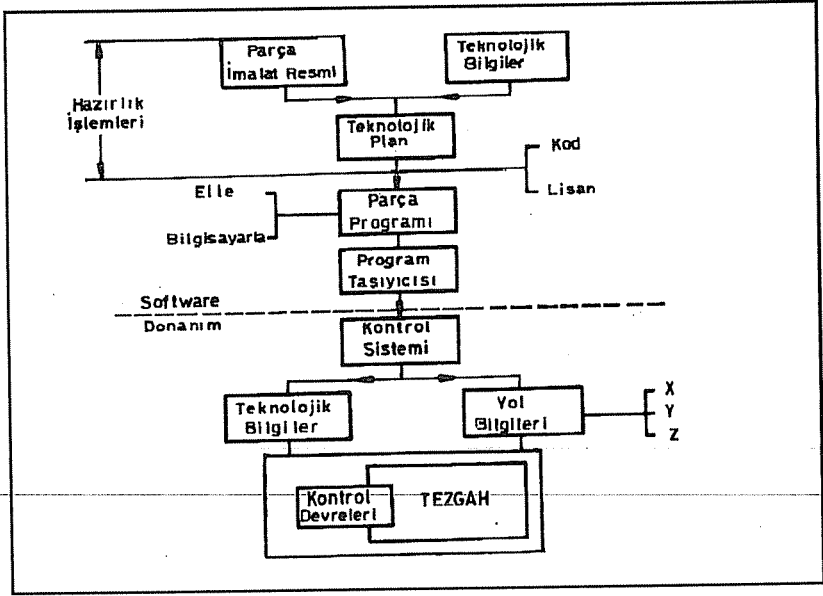
Değişken Relüktanslı (VR) adım motorları, uyarılan bir stator kutbunun rotor çekirdeğini magnetik olarak çekmesi esasına göre çalışan motorlardır ve atalet momentleri küçüktür. Daimi mıknatıslı adım motorlarının stator yapısı, tek katlı değişken relüktanslı adım motorunun aynıdır. Fakat rotorunda dış bulunmayan ve rotoru daimi mıknatıs materyalinden oluşan bir yapıya sahiptir. İki kutuplu rotor ve dört kutuplu statora sahip olan bu motorda akım stator sargılarını sırayla uyarılmaktadır. Karma adım motorunun yapısı , değişken relüktanslı ve daimi mıknatıslı motorların bileşimi şeklindedir. Adım motorları tipleri, çalışma prensipleri, sürücü devreleri ve karakteristikleri önceki çalışmalarda detaylı incelenmiştir (7,8).

## 3. NÜMERİK KONTROLLU TEZGAHLARIN KONTROL SİSTEMLERİ

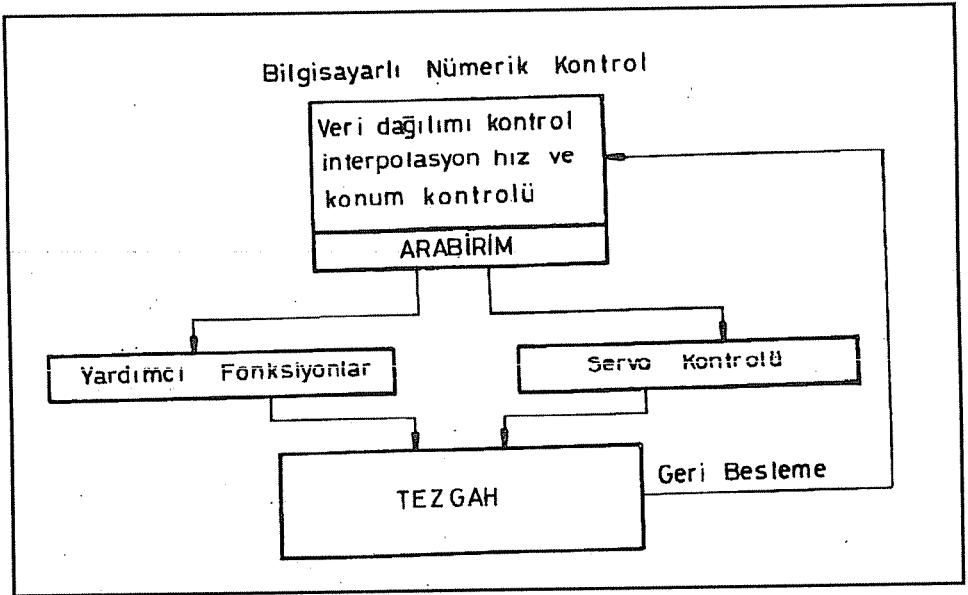
### 3.1. Kontrol Sisteminin Genel Yapısı

Nümerik kontrollu takım tezgahlarında, kontrol edilen elemanın önceden belirlenen bir yol izlemesini sağlayan, mekanik elemanlardan ve konum belirleyici elemanlardan oluşan elektronik devreye kontrol sistemi adı verilir. Kontrol sisteminin görevleri; verileri anlama, mantıksal işlemleri gerçekleştirme, ana kumanda cihazı (bilgisayar) ile motorlar arasında irtibatı sağlamak ve motorları istenilen şekilde tahrik etmektir. Şekil 1 NC tezgahların genel işleyişini özetlemektedir.

Konvansiyonel nümerik kontrollu tezgahlarda kontrol sistemi yalnızca donanımdan oluştuğu için esnek değildir. kontrol sisteminde en küçük bir değişiklik için yeni bir donanım oluşturmak gereklidir ki bu da çok zaman alıcı ve pahalı bir yoldur. CNC tezgah adı verilen tezgahlarda amaç , donanım yerine mümkün olduğu kadar fazla yazılım (Soft-ware) kullanmak sisteme esneklik kazandırmak ve fonksiyon kapasitesini arttırmaktır. Sisteme ait çeşitli tezgah kontrol fonksiyonları, yazılım ve donanım arasında ; yönetici bir program ile paylaşılırak koordine edilir. Şekil 2 'de bilgisayar nümerik kontrollu sisteme sahip bir tezgahın genel şeması verilmiştir.



Şekil 1. NC Tezgahların Genel Blok Diyagramı



Şekil 2. CNC Tezgahların Genel Şeması



### 3.2. Kontrol Tipleri

NC veya CNC tezgahlarda, talaş kaldırma işlemi için ; ya iş parçası bağlama tablasının kontrolü yada kesici takımın hareketinin kontrolü yapılır. Parça imalat işlemi için gerekli olan bu hareket sistemi, üç tür kontrolla yapılabilmektedir.

Noktasal nümerik kontrole sahip bir makinada kesici uç veya iş parçası istenilen yere gerekli hız veya katedilen yol dikkate alınmadan hareket ettirilmektedir. Kontrol işlemi sadece hedef noktada yapılmaktadır.

Doğrusal nümerik kontrolde, kontrol işlemi hareketin her anında yapılmaktadır. Kesici uç veya iş parçası istenilen eksen boyunca hareket ettirilebilmektedir. Hareketin tüm aşamaları kontrol edildiği için noktasal nümerik kontrole oranla daha yavaştır. Eğrisel nümerik kontrolde, kontrolü yapılan elemanın aynı anda iki veya üç eksende hareketi sağlanabilmektedir. Kesici ucun kesme işlemi esnasında izlediği yol, devamlı olarak istenilen iş parçasının geometrisine göre kontrol edilmektedir. Kontrol sistemi doğrusal ,konik, dairesel,eğrisel kısaca matematiksel olarak ifade edilebilen tüm parçaları işlemeye imkan sağlamaktadır (9).

### 3.3. Kontrol Sistemleri

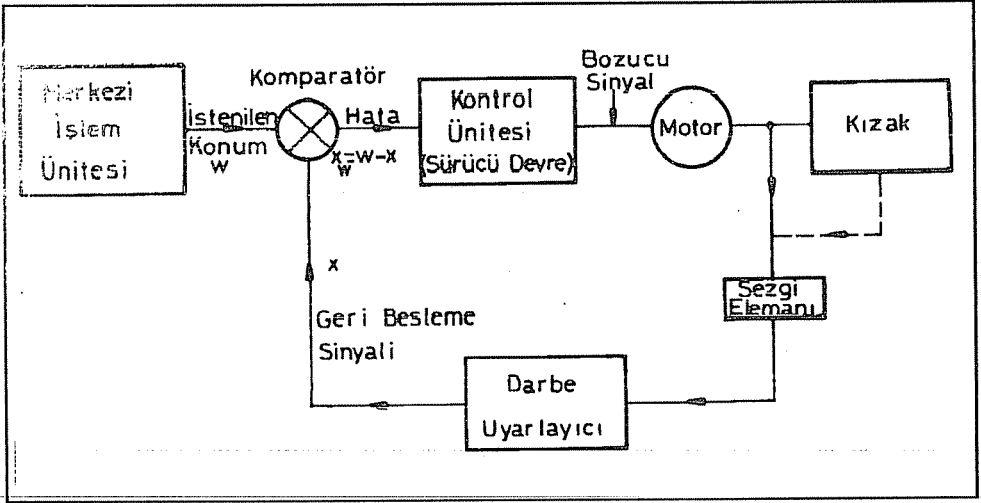
Nümerik kontrollu tezgahlar kullanım yerine göre açık devre veya kapalı devre kontrol sistemi ile kontrol edilmektedir.

#### 3.3.1. Açık Devre Kontrol Sistemi

NC bir tezgahta kullanılan motorlar, tezgah kızakları ile hareket iletiminde oluşan sürtünme kuvvetlerini ve talaş kaldırmadaki kesme kuvvetlerini yenebilecek güçte ise açık devre kontrol sistemi kullanmak yeterlidir. Motor hız kontrol sistemlerinde istenilen hız veya moment değerinde bir değişiklik oluyorsa, güç kaynağını yeni bir değere ayarlamak gerekir. Ancak açık hız devreli sistemlerde meydana gelebilecek benzer değişiklikleri anlamak mümkün olmadığından bu ayarlama yapılamaz. Bu nedenle açık devre kontrol sistemleri, uygulama sırasında büyük ölçüde durum değişikliği oluşmayan yerlerde kullanılmaktadır. Bazı NC tezgahlarda açık devre kontrol sistemi uygulandığında , tezgahın hareket iletim tertibatındaki boşlukları en aza indirecek vida-somun mekanizmaları tasarlanmaktadır.

#### 3.3.2. Kapalı Devre Kontrol Sistemi

Kapalı devre kontrol sisteminde yapılması istenen işin yapılıp yapılmadığını denetleyen ve tamamlanmasını sağlayan bir geri besleme devresi mevcuttur. Bu kontrol sistemi, açık devre kontrol sistemine göre oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir ve maliyeti oldukça pahalıdır. Şekil 3, tipik bir kapalı devre kontrol sistemini göstermektedir.



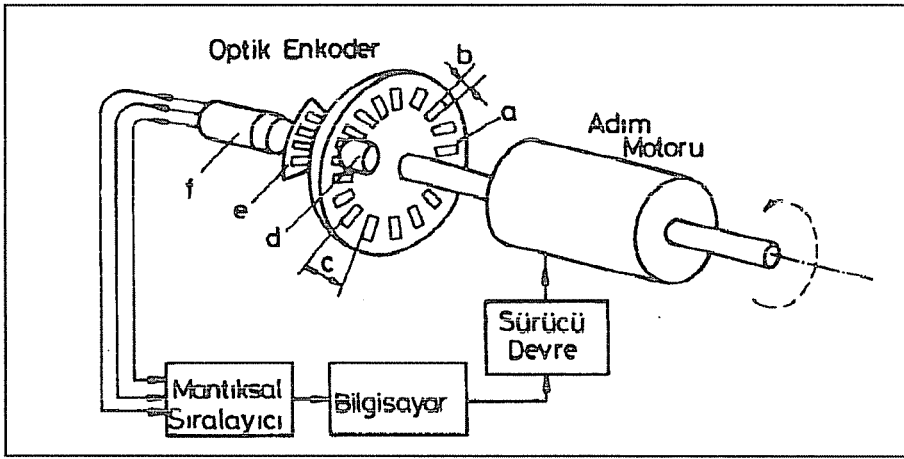
Şekil 3. Kapalı Devre Kontrol Sistemi

Bu tür kontrol sisteminde bilgisayardan komparatöre bilgiler gönderilir. Komparatörden çıkan bilgiler sürücü devreye, buradan da motorlara ulaşır ve kesici takım veya iş parçası hareket ettirilir. Gerçek konum sezgi elemanları ile tespit edilir, komparatöre geri gönderilir. Burada istenilen konumla karşılaştırılır ve belirlenen fark kadar tahrik elemanlarının tekrar hareket ettirilmesi sağlanır.

Kapalı devre kontrol sistemlerinde ölçme işlemi sezgi elemanları ile yapılmaktadır. Kullanılan sezgi elemanının yapısına ve kullanım yerine göre ölçme sistemleri; doğrudan veya dolaylı analog veya digital, mutlak veya eklemeli olabilmektedir (10). Faz akımı algılanarak rotor konumunun saptanması, doğrusal konum ölçme sistemleri ve döner optik enkoder ile konum belirleme gibi sistemlerle rotorun konumu belirlenerek ölçme yapılabilir. Bu çalışmada optik enkoder ile konum belirleme metodu uygulanmıştır.

Döner optik enkoder, doğrudan veya dolaylı ölçme sistemlerinde kullanılmaktadır. Ölçme sisteminin esasını; rotor şaftına bağlanmış, üzerinde radyal yarıklar bulunan bir diskin döndürülmesi ve bir taraftaki ışık kaynağından gönderilen ışınların, diskin diğer tarafındaki fotoseller veya fotodiyodlar tarafından algılanarak sinyallerin belli bir koda göre kodlanması oluşturur. Işık duyarlı cihaz motorun her adımına karşılık bir sinyal üretir. Şekil 4'de bir optik döner enkoderin prensip şeması görülmektedir.

Şekilde gösterilen enkoderde, üzerinde yarıklar bulunan disk (a), radyal olarak eşit aralıklarda açılmış ışık geçiren kısım (b genişliğinde),  $2b$  genişliğinde adım (şekilde c olarak gösterilmiştir) ışık kaynağı (d) üzerinde yarıklar bulunan kodlama diski (e) ve fotoseller (f) bulunur.



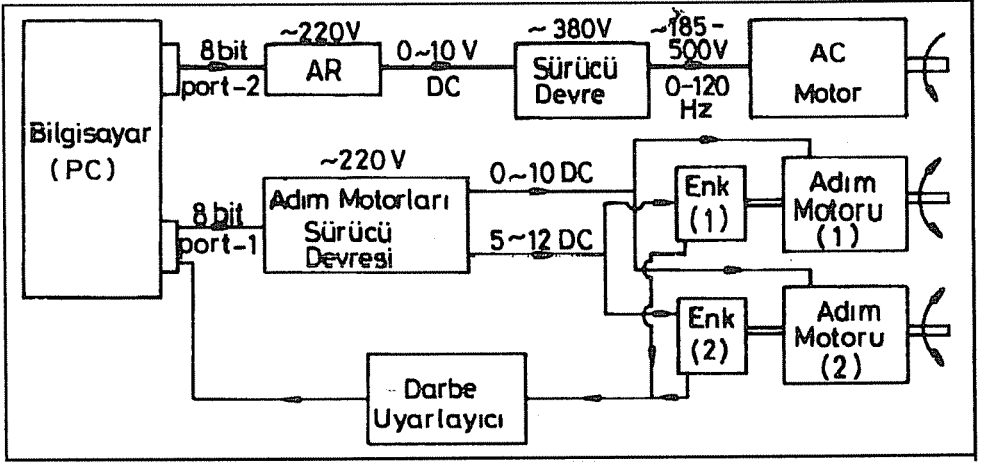
Şekil 4. Optik Döner Enkoder Prensi Şeması

#### 4. DENEY DÜZENEGİ VE DEVRE ELEMANLARI

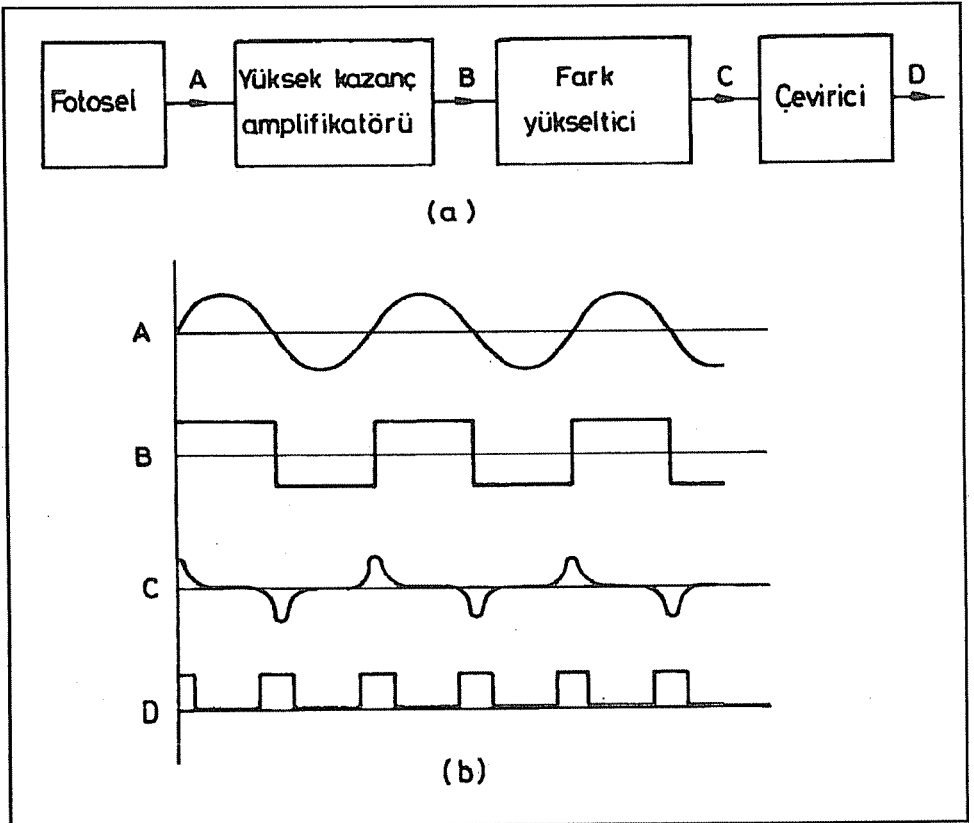
Bu çalışmada, laboratuvarında mevcut masa üstü konvansiyonel bir torna tezgahı gerekli düzenlemeler yapılarak bilgisayarla kontrollu hale getirilmiştir. Şekil 5 ' te prensip şeması görülen deney seti; masa üstü bir torna tezgahı, bilgisayar, adım motorları, alternatif akım motoru ile bu motorların sürücü devrelerinden ve geri besleme düzeneğinden oluşmaktadır.

Önceden hazırlanan bir program (Software) yardımıyla, torna tezgahında işlenecek bir parça şekli için gerekli büyüklükler bilgisayar klavyesinden girilir. Bilgisayar tarafından üretilen veriler, AC motor için ana devre-sürücü devre, adım motorları için ise sürücü devre vasıtasıyla iletilir. AC motor, tezgahın aynasının istenilen değerlerde dönmesini sağlar. Adım motorlarının bağlı bulunduğu suportun ve arabanın, sürücü devreden gönderilen verilere göre hareket ettirilmesi ile istenilen yüzey şekilleri elde edilir. Adım motorlarının attığı her adım döner optik enkoderlerle kontrol edilir. Eğer kesici takıma veya arabaya ctki eden kuvvetler artarsa ve motorlar adım atmazsa, bu durum geri besleme düzeneği tarafından fark edilir. Bu hatanın giderilmesi için gerekli komutlar tekrar gönderilir. Böylece istenilen parça şekli çok küçük toleranslarda hassas olarak işlenmiş olur. Deney düzeneği, devre elemanları ve karakteristikleri önceki çalışmalarda özetlenmiştir (10,11).

Kullanılan enkoderler , bir devirde 200 darbe üretmektedir. Enkoderlerin içerisinde 100 yarık bulunan ışık geçirmez bir disk ve bu disk karşısında iki fotosel vardır. İki fotosel, 90° faz farkı yaratacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Disk bir yönde döndürüldüğünde, bir fotosel aydınlatılmadan önce diğer fotosel aydınlatılmaktadır. Bu bilgi yardımıyla hareket miktarını hesap etmek mümkün olmaktadır. Şekil 6 geri besleme devresinin blok diyagramını ve oluşturulan dalga formlarını göstermektedir.



Şekil 5. Devre Elemanları Prensi Şeması



Şekil 6. a) Geri Besleme Devresinin Blok Diyagramı b) Dalga Formları

Her iki enkoder için kullanılan devre elemanları adım motoru sürücü devresi kutusu içerisine yerleştirilmiştir. Enkoderlerle veri alışverişi ile bağlantı, sürücü devrenin ön paneli üzerine takılan soketlerle yapılmaktadır. Adım motorlarının her adımı enkoder tarafından sayılmakta ve atılması istenen adımla bu değer karşılaştırılmaktadır. Bu işlem, atılması istenen adım ile enkoder tarafından sayılan adım arasındaki fark sıfır olana kadar devam etmektedir.

## 5. KONTROL PROGRAMI VE ÜRETİM

Kontrol programı PASCAL dili ile yazılmış olup, alternatif akım motorunun (ayna hızını kontrol etmektedir) ve adım motorlarının (kesici takım hareketini kontrol etmektedir) istenildiği gibi hareket ettirilerek, torna tezgahı ile değişik geometrideki parçaları işleyebilecek şekilde geliştirilmiştir. Yapılan çalışmada, kanal açma, yüzey, alın, konik, küresel ve elde tornalama işlemleri için ayrı ayrı alt programlar hazırlanmıştır. Alt programlar, biri bittikten sonra bir diğeri çalışacak şekilde hazırlanmış ve bir defada iş parçasının sahip olduğu değişik geometrik yüzeylerin sırayla işlenmesi sağlanmıştır.

Kontrol programı ile motorlar kontrol edilmekte ve aynı zamanda kesici takımın izlediği yol bilgisayar ekranında gösterilmektedir. Yapılan simulasyon sonucu, tezgah ile üretim yapılmadan da değişik geometrilerdeki parça boyutları girilerek, yapılan işlemler ekranda görülmektedir. Geliştirilen kontrol programının akış diyagramı Şekil 7'de gösterilmiştir. Torna tezgahı kontrol programı, veri girişlerinin olduğu menüler, girilen parça boyutlarının istenildiğinde saklandığı dosyalama bölümü, motorların istenilen yüzey şekline göre kontrolünün yapıldığı bölümler ve yapılan üretimin ekranda gösterildiği simulasyon bölümleri olmak üzere dört ana kısımda hazırlanmıştır.

AC motorunun kontrolü ve aynanın istenilen hızlarda döndürülmesi için üç ayrı prosedür hazırlanmıştır. Bu prosedürlerin birbiri arasındaki ilişkiyi gösteren akış diyagramı Şekil 8 ' de gösterilmiştir. Prosedürlerin çalışma prensibi önceki çalışmada izah edilmiştir (10). Adım motorlarının dört yönde geri beslemeli kontrolü için dört ayrı prosedür hazırlanmıştır. Bu prosedürlerden, 1 nolu motorun pozitif yönde hareketi için gerekli olan akış diyagramı Şekil 9'da gösterilmiştir.

İş parçasının bir bölümünün yüzey tornalanması için Şekil 10' da akış şeması görülen yüzey tornalama prosedürü geliştirilmiştir. İş parçasının dış çapı, işlenecek yüzeyin boyu, işlemden sonra kalacak çap ve verilecek paso miktarı program başlangıcında kullanıcıdan istenmektedir. İş parçasının yüzeyini tornalamak için kullanılan yüzey prosedürünün yazılımı aşağıdaki gibidir:

PROCEDURE YÜZEY

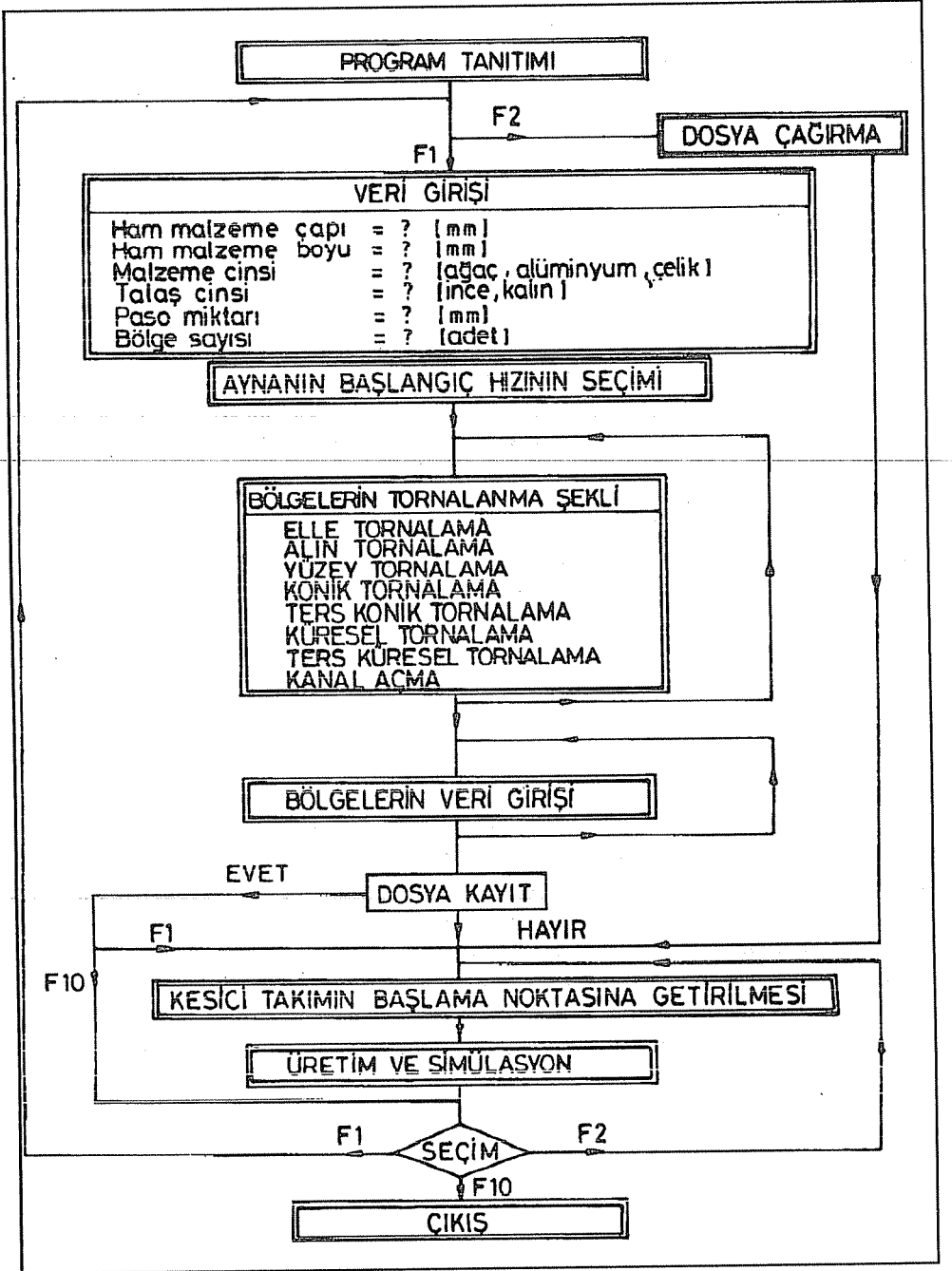
BEGIN

TOPLAM PASO:= DIŞÇAP- KALANÇAP;

REPEAT

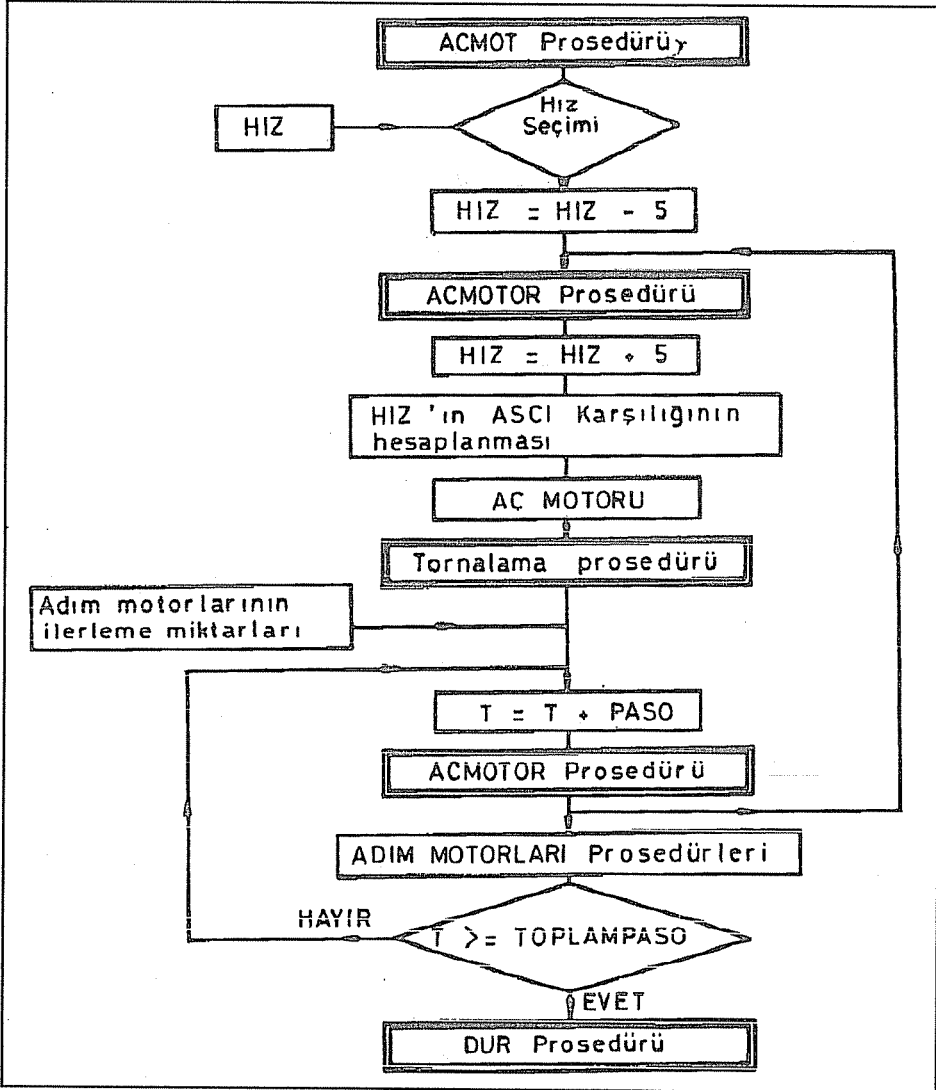
T:= T+PASO; ACMOTOR;

M1-X-POZİTİF (PASO);

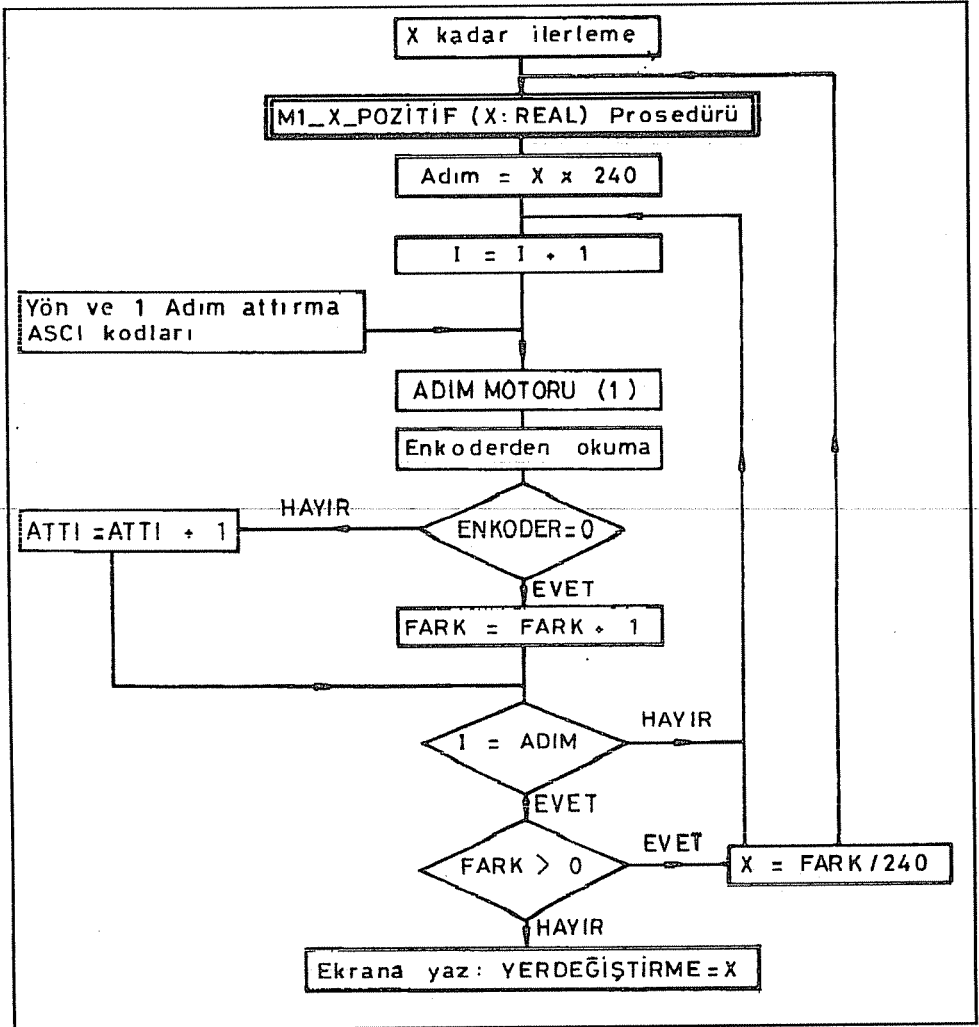


Şekil 7. Kontrol Programı Akış Diyagramı

M2-Z-POZİTİF (L);  
M2-Z-NEGATİF(L+1);  
M2-Z-POZİTİF (1);  
UNTİL T >= TOPLAM PASO;  
M1-X-NEGATİF (TOPLAM PASO+0,2);  
M1-X-POZİTİF (0,2);  
M2-Z-POZİTİF (L);  
END;



Şekil 8. AC Motor Kontrol Programları Akış Diyagramları



Şekil 9. Adım Motoru Kontrol Programı Akış Diyagramı

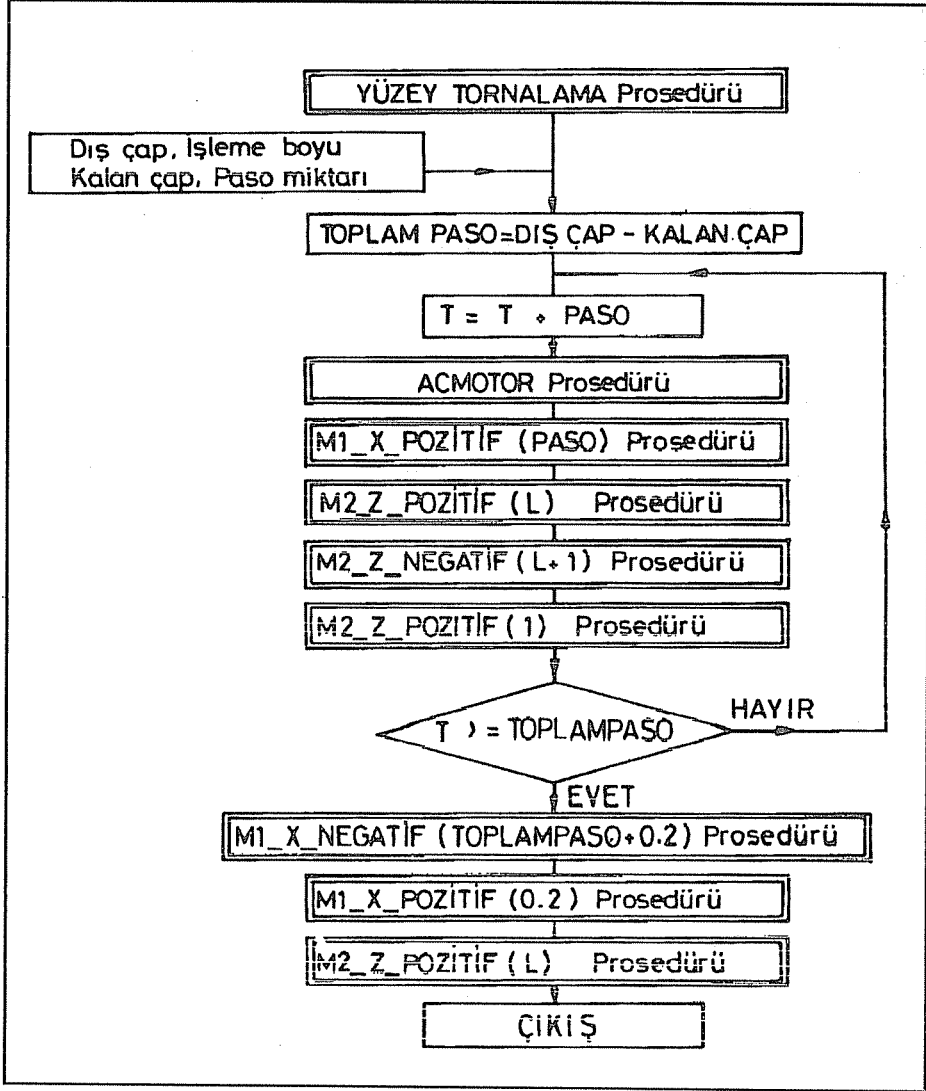
aktarma elemanlarındaki boşluğun alınıp, arabanın tekrar aynı noktaya gelmesini sağlamaktadır. Suport için boşluk alma ilerlemesi ise, deneysel verilerle 0.2 mm olarak belirlenmiştir.

Dış çaptan, kalan çap çıkarılarak alınacak TOPLAMPASO miktarı hesaplanmaktadır. REPEAT ile UNTIL arasının her çalışmasında, T sayacı paso miktarlarını toplamakta ve ACMOTOR deyimini ile, aynanın hızı 5 dev/dk artırılmaktadır. M1-X-POZİTİF (PASO), suportun paso kadar ilerlemesini sağlamaktadır. Araba M2-Z-POZİTİF (L) İLE, aynaya doğru (L) mesafesi kadar ileri giderek talaş kaldırmaktadır. Araba (L+1)



kadar geri çekilmekte ve 1mm kadar tekrar sola doğru ilerletilerek talaş alma noktasına getirilmektedir.

Arabanın 1 mm fazla geri çekilmesi ve tekrar 1 mm ileri gönderilmesi; hareket

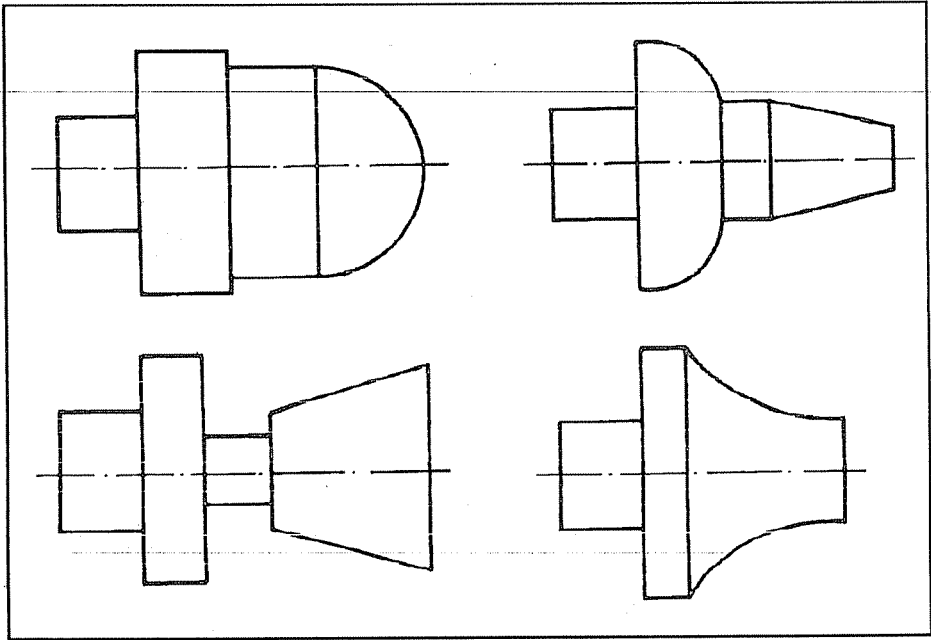


Şekil 10. Yüzey Tornalama Prosedürü Akış Diyagramı

Bilgisayarla geri beslemeli olarak kontrol edilen torna tezgahı ve geliştirilen kontrol programı ile birçok değişik geometrik şekillere sahip parçaların hassas olarak üretimi yapılmış ve üretim aşamalarının ekran üzerinde gösterimi sağlanmıştır. Bilgisayar ile

kontrol edilen tezgahta , elle, alın ,yüzey ,konik ve küresel yüzey şekillerini tornalamak mümkündür. Torna tezgahı ile üretilen iş parçalarında, temel yüzey şekillerinin hepsi tek tek olduğu gibi sırayla da yapılabilir. Yüzey şekillerinden birkaç tanesine sahip olan ve üretimi gerçekleştirilen iş parçaları Şekil 11 ' de görülmektedir. Şekilde görülen yüzey şekilleri dışında değişik geometrideki ve boyutlardaki parçaları üretmek mümkündür. Şekildeki iş parçalarının üretim zamanı ortalama 3-6 dakika arasında olmaktadır.

Kullanılan geri besleme düzeneği sayesinde, adım motorlarının kaybettiği adımlar telafi ettirilmekte ve meydana gelebilecek hatalar giderilmektedir. Ayrıca hareket aktarma elemanlarındaki boşlukları telafi etmek için kullanılan program mantığı sonucu, üretilen iş parçalarının boyutları istenilen şekilde olmaktadır. Yapılan deneyler ve üretimler sonucu elde edilen hassasiyetin  $\pm 0.005$  mm olduğu belirlenmiştir.



Şekil 11. Üretimi Yapılan Değişik Geometrideki İş Parçaları

## 6. SONUÇ

Bu çalışma ile masa üstü bir torna tezgahı geri beslemeli bilgisayar kontrollu hale getirilmiştir. Kesici takımın iki boyuttaki hareketi adım motorlarıyla geri beslemeli (kapalı devre) kontrol sistemi kullanılarak, ayna hareketi de alternatif akım motoruyla kontrol edilmiştir.

Aynanın 75-1030 dev/dk arasında istenilen hızda döndürülmesi gerçekleştirilmiştir. AC motorunun ve adım motorlarının istenilen şekilde kontrol edilmesi için, kullanımı

kolay ve esnek bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Kurulan deney düzeneği ile birçok değişik geometriye sahip iş parçası üretimi yapılmıştır. Yapılan üretimlerde ağaç, alüminyum ve değişik sertliklerdeki çelik malzemeler kullanılmıştır. Üretimler sonucu yapılan ölçümlerde hassasiyetin  $\pm 0.005$  mm olduğu ve elde edilen yüzeylerin düzgün olduğu görülmüştür.

## 7. KAYNAKLAR

1. Groover, M.P., Zimmers, E.W., *CAD/CAM Computer-Aided Design and Manufacturing*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs New Jersey, 1984, U.S.A.
2. Koç, E., Ünver, E., *Bilgisayar Sayısal Denetimli (CNC) İşleme Tipleri ve Kontrol Sistemleri*, Mühendis ve Makina Dergisi, Cilt 31, Sayı 369, 15-18, 1990.
3. Ünver, E., Koç, E., *Bilgisayar Kontrollu Tezgahlarda Hareket Sistemleri II- Alternatif Akım Motorları*, Hidrolik-Pnömatik Hareket Elemanları, Mühendis ve Makina Dergisi, Cilt 32, Sayı 374, 17-22, 1991.
4. Kutman, T., *Sincap Kafesli Asenkron Motorların Darbe Genişlik Modülasyonlu Frekans Çeviricilerle Hız Kontrolü*, Ç.Ü.Müh.Mim.Fak. -Elektrik Müh.Odası Adana Böl. Tem. Semineri, 1985, Adana.
5. Ünver, E., *Konvansiyonel Takım Tezgahlarının Bilgisayar Yardımıyla Kontrolü*, Ç.Ü.Fen Bilimleri Ens. Makina Müh. Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 1990, Adana.
6. Kenjo, T., *Stepping motors and Their Microcomputer Controls*, Oxford University Press, 1986, New York.
7. Ünver, E., Koç, E., *Bilgisayar kontrollu Tezgahların Hareket Sistemleri I-Adım motorları ve Doğru Akım Motorları*, Mühendis ve Makina Dergisi Cilt 31, Sayı 371, 9-13, 1990.
8. Koç, E. ve Öztürk, H., *Bilgisayar Kontrollu Tezgahlarda Kullanılan Adım Motorları Karakteristikleri ve Kontrol Çevrimleri*, Mühendis ve Makina Dergisi, Cilt 33, Sayı 386, 29-34, Mart 1992.
9. Pressman, R.S. and Williams, J.E., *Numerical Control and Computer - Aided Manufacturing*, University of Bridgeport, University of Connecticut, 1977, U.S.A.
10. Emir, Ö., *Konvansiyonel Torna Tezgahlarının Geri Beslemeli Kontrolünde AC ve Adım Motorları Kullanımı*, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kasım 1992. Adana.
11. Emir, Ö. ve Koç, E., *Konvansiyonel Torna Tezgahının Bilgisayar Yardımıyla Geri Beslemeli Kontrolü*, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 7,2, 123-132, 1992



## **HAVA KALİTESİNİN KORUNMASI YÖNETMELİĞİNDE SANAYİ TESİSLERİ ve BAZI ÖLÇÜM DEĞERLERİ**

**R. Tuğrul OĞULATA ve Beşir ŞAHİN**

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

**ÖZET :** *Büyük kentlerde artan hava kirliliği son yıllarda tehlikeli boyutlara ulaşmıştır. Bu nedenle özellikle sanayi tesislerinin bulunduğu bölgelerdeki hava kirliliği seviyesinin gözlenmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, izne tabii tesisler için incelenmiş ve Adana ilindeki bazı tesislerde emisyon ölçümleri alınmış, bunların üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır.*

## **INDUSTRIAL PLANTS AND SOME MEASUREMENTS OF EMISSION IN THE VIEW OF THE REGULATION OF AIR QUALITY PROTECTION**

**ABSTRACT:** *In recent years, air pollution has reached to a dangerous dimension in the highly populated cities. Therefore, the rate of air pollution level observation is substantially important especially in the industrialised regions. In this study, The regulation of Air Quality Protection for Industrial Plants is examined and emission measurements of some industrial plants are taken in the province of Adana and evaluations have been done upon these results.*

## 1. GİRİŞ

Sanayileşmiş ve sanayileşme yolunda olan ülkelerde, yaşam standardı ve artan nüfusa paralel olarak enerji tüketimine daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun sonucu olarak konutlardan, sanayi kuruluşlarından ve ulaşım sektöründeki çeşitli araçlardan giderek çoğalan miktarda hava kirleticiler, atmosfere atılmakta, doğal denge her geçen gün olumsuz yönde bozulmakta ve bazı bölgelerde insan sağlığını tehdit eder boyutlara ulaşmaktadır (1, 2).

Bilindiği gibi meteorolojik olaylar neticesinde hareket eden hava kütlesi, ülkeler arası sınır tanımamakta, komşu olmayan bir ülkenin neden olduğu kirlilikten bile etkilenme durumu olabilmektedir. Bu nedenle her ülke kendisinin neden olduğu hava kirliliğinin, insan ve canlı sağlığına zarar vermeyecek sınırlar içerisinde kalmasını sağlayacak tedbirler almak zorundadır. İşte bu sebeple Türkiye'de Kasım 1986'da "Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği" yayımlanmış ve konu üzerinde ciddi olarak durulmaya başlanmıştır.

Hava kirliliği genel olarak, ısıtma ve güç üretimi için fosil yakıtların yakılması nedeniyle; ulaşım araçlarının eksozlarından çıkan gaz ile konut ve sanayi kuruluşlarının bacalarından çıkan atık gazlar sebebiyle oluşmaktadır (3). Sanayi tesislerinin bacalarından çıkan atık gazlar (yüksek bacaların da etkisi nedeniyle) konut ve ulaşım araçlarına göre daha geniş bir alanı etkilemektedir. Bu nedenle bu çalışmada, söz konusu yönetmeliğin kirletici vasfı yüksek ve izne tabi tesisler üzerindeki değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca Adana ilindeki değişik sanayi kuruluşlarının baca gazları emisyon değerleri ölçülmüş ve bunlardan önemli görülenler diyagramlar halinde sunulmuştur.

## 2. İZNE TABİ TESİSLERDE EMİSYONLAR

Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, havanın tabii bileşimini değiştiren, is, duman, toz, gaz gibi atmosfere yayılan hava kirleticilerini emisyon olarak tanımlamıştır (4). Yönetmelik emisyon değerleri açısından, çalışmaları ve yapısı uyarınca insan sağlığı ve çevre üzerinde önemli olumsuz etkileri olan, ısı üretimi, maden, enerji, çelik, demir ve diğer metallerin üretilmesi, işlenmesi, kimyasal ürünlerin eldesi, mineral yapıların rafinerisi işlenmesi, çöp benzeri atık maddelerin değerlendirilmesi gibi pek çok sahada kullanılan tesisler için bazı sınırlamalar getirmiştir. Kirletici vasfı yüksek, kurulması ve işletilmesi yönetmelikte belirtilen yetkili merciler tarafından izne tabi tesislerin geniş listesi söz konusu yönetmeliğin 8. ekinde verilmiştir (4). Yönetmeliğin 7. maddesinde genel olarak emisyonlar için, 8. maddesinde ise atık gazların atmosfere verilmiş şekli açısından bazı sınırlama ve düzenlemeler belirtilmektedir. Ancak kirletici vasfı yüksek ve izne tabi tesislerde özel emisyon sınırları getirilmiştir. Bu sınırlar, yönetmeliğin 9. maddesi 7. ekinde, yönetmeliğin diğer kısımlarında verilen emisyon sınırlarından daha öncelikli uygulanmak üzere, yakma tesislerinde yakılan yakıtın türüne göre verilmiştir.

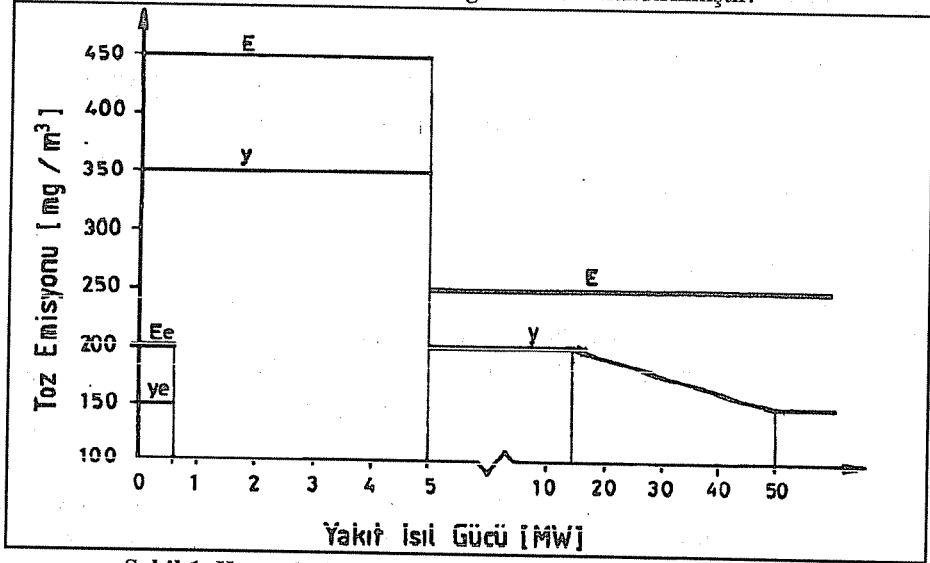
Burada sanayi kuruluşlarında yaygın olması bakımından sadece katı ve sıvı yakıt yakan tesislerin emisyonlarına değinilmiştir.

## 2.1 Katı Yakıtlı Yakma Tesisleri

Katı yakıtlı yakma tesislerinde, yakıt ısı gücü (birim zamanda yakılan yakıt miktarının yakıt alt ısı değerinin çarpılması suretiyle bulunan değer) 150 kW'a kadar olan tesislerde islilik ön plana çıkmakta, islilik derecesi Ringelmann skalasına göre en çok 2, eski tesislerde (yönetmeliğin yayınlanmasından önce kurulmuş veya kurulmakta olan tesisler) ise en çok 3 olmaktadır. Daha büyük tesislerde islilik yerine toz emisyonları önem kazanmaktadır. Bunların yakıt ısı gücüne göre olması gereken sınır değerleri ise Şekil 1'de eski ve yeni tesisler için gösterilmiştir. Ancak bu değerler orijinal kömürde kül miktarı %18'in üzerinde olan linyit kömürüyle çalışılmak zorunda kaldığında Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü tarafından % 200 oranında artırılabilir.

Baca gazlarındaki Karbonmonoksit (CO) emisyonları için sınır değer 250 mg/m<sup>3</sup> dür. Azot oksit emisyonları ise ısı kapasitesi 50 MW ve üzerinde olan yeni tesislerde baca gazında 800 mg/m<sup>3</sup>, eski tesislerde 1000 mg/m<sup>3</sup> dür. Ancak toz halinde taş kömürü ergimiş kül bırakarak yakılıyorsa bu değer yeni tesislerde 1800 mg/m<sup>3</sup>, eski tesislerde 2000 mg/m<sup>3</sup> ile sınırlandırılmıştır.

Kükürtdioksit emisyonları ise yakıt ısı gücü 300 MW'a kadar olan ızgaralı ve toz yakmalı tesislerde baca gazında 2000 mg/m<sup>3</sup>, akışkan yataklı tesislerde 400 mg/m<sup>3</sup>, 300 MW ve üzerinde olan tesislerde ise 1000 mg/m<sup>3</sup> ile sınırlandırılmıştır.



Şekil 1. Katı yakıtlar için baca gazlarındaki toz emisyon sınırları  
E: eski, Y: yeni tesis (e elle yüklemeli)

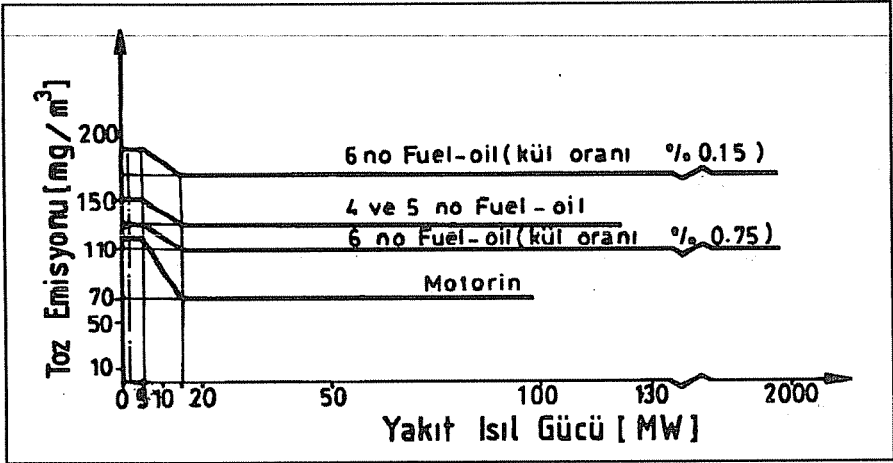
## 2.2 Sıvı Yakıtlı Yakma Tesisleri

Yakıt ısı gücü 2 MW'a kadar olan tesislerde toz emisyonu yerine ısılık derecesi gözönüne alınmaktadır. Bu tesislerden motorin yakanlarda ısılık derecesi Bacharach skalasına göre 2, 4 ve 5 nolu fuel-oil yakanlarda 3, 6 nolu fuel-oil yakanlarda ise 4'ü geçmemelidir. Ancak eski tesisler için bu değerler 1 artırılabilir.

Yakıt ısı gücü 2 MW'ın üzerinde olan tesislerin baca gazlarındaki toz emisyonları sınır değerleri yakıt türlerine göre Şekil 2'de verilmiştir.

Baca gazındaki Karbonmonoksit emisyonu bütün tesisler için  $175 \text{ mg/m}^3$  ile sınırlandırılmıştır. Azot oksit emisyonları ise yine yakıt ısı gücü 50 MW ve üzerindeki tesisler için verilmiştir. Bu tesislerin baca gazlarındaki azot oksit emisyonları sınırı ( $\text{NO}_2$  cinsinden)  $800 \text{ mg/m}^3$  değerinde, eski tesislerde ise  $1000 \text{ mg/m}^3$  değerindedir.

Kükürtdioksitler emisyonu ise baca gazındaki  $\text{SO}_2$  ve  $\text{SO}_3$  oranı (eşdeğer  $\text{SO}_2$  olarak verilmiştir) yakıt ısı gücü 300 MW'a kadar olan tesislerde  $1700 \text{ mg/m}^3$ , 300 MW ve üzerinde olan tesislerde  $800 \text{ mg/m}^3$  değeri ile sınırlandırılmıştır.



Şekil 2. Sıvı yakıtlar için baca gazlarındaki toz emisyon sınırları

## 3. ÖLÇÜM DEĞERLERİ

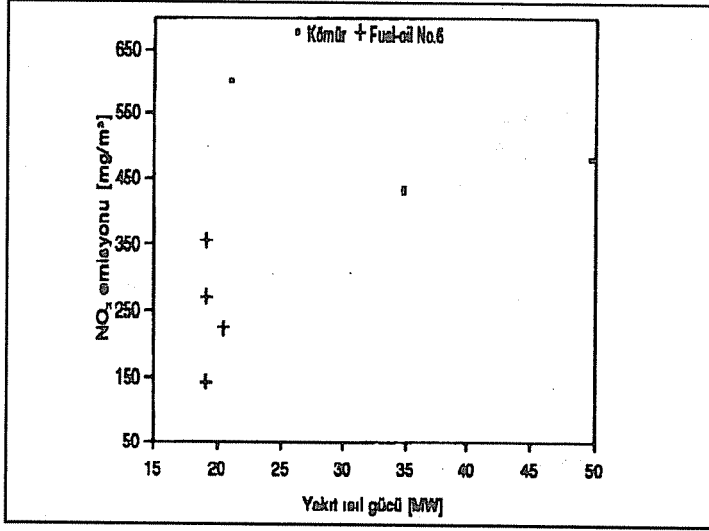
Adana ilindeki sanayi tesislerinden, emisyon değerleri açısından izne tabi olanlarının yönetmelik gereği emisyon raporlarının hazırlanması için 1991-1993 yılları arasında Ç.Ü. Müh.Mim.Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü tarafından değişik işletmelerde ölçümler yapılmıştır. Ölçümler her tesis ve işletme durumu için yönetmelikteki baca gazı oksijen miktarının verilen hacimsel yüzdesi değerinde yapılmıştır (4).

Söz konusu yönetmelikte, Azot oksit ( $\text{NO}_x$ ), Karbonmonoksit (CO) ve Kükürtdioksit ( $\text{SO}_2$ ) emisyonları ölçüm sınırları verildiğinden, burada da bu ölçüm değerleri verilmiştir.

Şekil 3'de Azot oksitlerin, yakıt ısı gücüne göre tespit edilen değerleri verilmiştir.



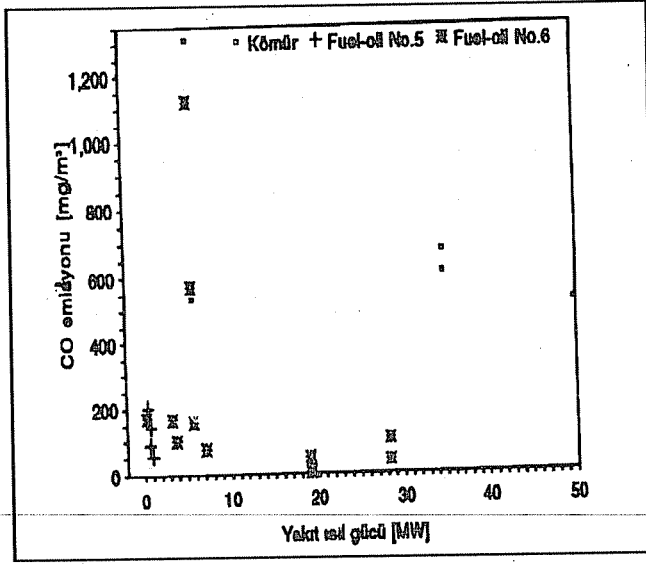
Daha önce de belirtildiği gibi hem katı yakıtlı hem de sıvı yakıtlı tesislerdeki Azot oksitleri emisyonları, yakıt ısı gücü 50 MW'ın üzerindeki tesisler için sınırlandırılmıştır. Zaten görüldüğü gibi ölçüm değerleri, yakıt ısı gücü 50 MW'ın üzerindeki tesisler için verilen sınır değerlerinin de çok altında kalmaktadır. Ölçümlerin tamamı yakıt ısı gücü 50 MW'ın altındaki tesislerde yapılmış ve hemen hepsinin fazla havayla çalıştırıldığı tespit edilmiştir. Bu nedenle yanma odası sıcaklığının normal çalışma değerlerinden küçük olması sonucu, NO<sub>x</sub> değerleri de doğal olarak küçük çıkmaktadır (5).



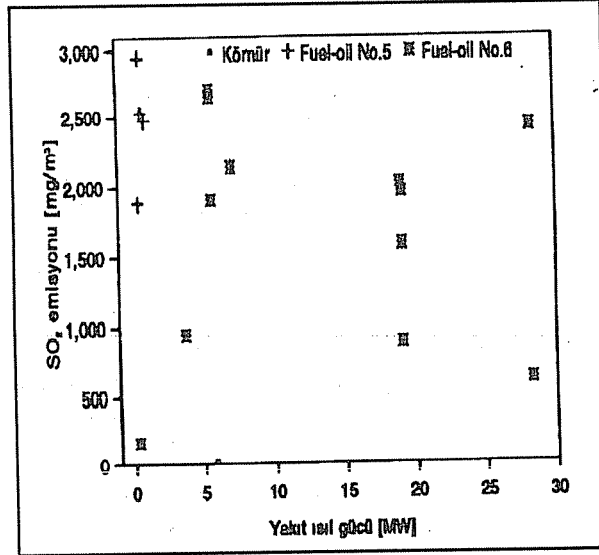
Şekil 3. Baca gazlarındaki Azot oksitleri emisyonu miktarı

Şekil 4'de Karbonmonoksit emisyonunun tesisin yakıt ısı gücüne göre belirlenen değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi sıvı yakıtlı tesislerdeki CO oranı büyük oranda sınır değerinin altında kalmaktadır. Kömür yakan tesislerdeki CO oranının sınır değerleri aşması ise, yine NO<sub>x</sub>'lerde olduğu gibi kazanların uygun olmayan hava dağılımı ve hava fazlalık katsayısının çok yüksek olduğu durumlarda çalıştırılması dolayısıyla, yanma odası sıcaklığının normalden düşük olması nedeniyledir (5).

Şekil 5'de ise Kükürtdioksit emisyonunun tesisin yakıt ısı gücüne göre ölçülen değerleri gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi sıvı yakıtlı tesislerdeki SO<sub>2</sub> emisyon değeri genel olarak verilen sınır değerini aşmaktadır. Ancak burada şuna dikkat etmek gerekmektedir. SO<sub>2</sub> emisyonu yakıtın cinsine bağlıdır. Türkiye'de kullanılan yakıtın kükürt oranı da oldukça yüksektir. Bu nedenle SO<sub>2</sub> emisyonlarının yüksek çıkması daha ziyade yakıttan dolayı meydana gelmektedir. Zaten söz konusu yönetmelikte de katı ve sıvı yakıtla çalışan eski tesislerde, tesisin geri kalan ömrüne göre oldukça esnek SO<sub>2</sub> emisyon sınırlandırmaları yapılmıştır.



Şekil 4. Baca gazlarındaki CO emisyonları miktarı



Şekil 5. Baca gazlarındaki SO₂ emisyonları miktarı

#### 4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Sanayi tesislerindeki yanmadan dolayı meydana gelen baca gazlarındaki emisyon değerlerinin, bazı tesislerde sınır değerleri çok aştığı görülmektedir. Yanmadan

kaynaklanan ve sanayinin yoğun olduğu büyük şehirlerdeki hava kirliliğine en büyük etken olan bu emisyonların azaltılması veya daha az etkili hale getirilmesi üzerinde önemle durulmalıdır. Yanmadan dolayı kaynaklanan bu kirlilik; tesiste tüketilen yakıt miktarına, yakıtın kimyasal özelliğine, yanma özelliğine, yakma sistemleri ve işletme durumuna, emisyonların atmosfere verilmiş şekline ve meteorolojik faktörlere bağlı olarak değişmektedir (6).

Türkiye'deki sanayi kuruluşları genel olarak enerji darboğazlarından önce, ekonomik faktörler pek gözönüne alınmadan kurulduklarından, enerji tüketimi genel olarak fazladır. Bu nedenle, enerji geri kazanımı, yanmanın iyileştirilmesi, güneş enerjisinden yararlanma gibi yollarla enerji ekonomisi yoluna gidilmelidir. Nitekim endüstriyel işlemlerde ihtiyaç duyulan ısıdan, ısı geri kazanımı, yanmanın iyileştirilmesi, üretim yöntemlerinin geliştirilmesi gibi yollarla % 30 tasarruf yapılabileceği tespit edilmiştir (6). Bu suretle daha az yakıt tüketimi, daha az kirlenme sağlanabilecektir.

Bir diğer özellik kirletici özelliği az olan yakıt kullanımı teşvik edilmelidir. Bilindiği gibi yanma olayında en uygun yakıt sıvı ve gaz yakıtlardır. Bu nedenle yakma sistemlerinde kükürt oranı az olan doğal gaz veya sıvı yakıt kullanımı uygun olmaktadır. Katı yakıt kullanımının zorunlu olduğu tesislerde ise kükürt ve kül oranı düşük taş kömürü veya linyit kullanılmalıdır. Ancak Türkiye'de kullanılan sıvı ve katı yakıtların kükürt oranının çok yüksek olması yanma sonunda baca gazlarındaki SO<sub>2</sub> emisyonunun da genel olarak çok fazla olmasını sağlamaktadır (5). Bu nedenle özellikle büyük güç santrallerine sahip tesislerin baca gazlarındaki SO<sub>2</sub> emisyonlarını değişik yöntemlerle azaltma yoluna gidilmelidir (7). Ayrıca toz emisyonu, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub>'lerin yanma odasında tutulması yöntemleri uygulanmalıdır (6). Özellikle CO miktarını küçük tutmak için uygun yakma usulleri tatbik edilmelidir. Bunun yanında bacalara filtre takılması ve çıkan gazların olabildiğince geniş bir alana daha az oranda etkili olabilecek şekilde dağılmasını sağlayacak, uygun gaz hızı ve baca yüksekliği göz önüne alınmalıdır. Bunun için Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğine göre baca gazındaki her emisyon için, belirlenen baca yüksekliklerinde, en büyüğünün seçilmesi gibi kriterlerin dikkate alınması doğru olacaktır.

Bugün için ülkemizde gözardı edilmekte olan yeni kurulacak sanayi tesislerinin inşaa yerinin belirlenmesinde, ekonomik ve sosyal faktörlerin yanında, meteorolojik faktörlerin de hesaba katılması, kurulacak tesisin bulunduğu yerin meteorolojik şartlarının böyle bir tesis için uygun olup olmadığının da araştırılması gereklidir (8).

## 5. KAYNAKLAR

1. Uslu, T., *Türkiye'deki Kömüre Dayalı Termik Santraller, Çevreyi Olumsuz Etkileyen Faktörleri ve Yarattığı Çevre Sorunları I, Mühendis ve Makina, Cilt 32, Sayı 377, (13-19), Haziran 1991.*

2. Uslu, T., *Türkiye'deki Kömüre Dayalı Termik Santraller, Çevreyi Olumsuz Etkileyen*

*Faktörleri ve Yarattığı Çevre Sorunları II, Mühendis ve Makina, Cilt 32, Sayı 378, (22-28), Temmuz 1991.*

3. Kuleli, Ö., *Çevre Sorunları, Maliyetleri ve Yeni Bir Ekonomiye Yönelme, Makina Mühendisleri Odası Sanayi Kongresi Bildirileri, (351-3707), Ankara, 9-15 Kasım 1987.*

4. *Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, 2 Kasım 1986 tarih ve 19269 sayılı Resmi Gazete.*

5. Ercan, Y., Durmaz A., Sivrioğlu M. ve arkadaşları, *Türk Sanayisinde Hava Kirlenici Emisyon Ölçümleri, Mühendis ve Makina, Cilt 34, Sayı 401, (12-17), Haziran 1993.*

6. Durmaz, A., *Yanmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü, Uluslararası Yanmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Sempozyumu, (1-74), Ankara, 23-25 Eylül.*

7. Selçuk, N., Somer T.G., *Baca Gazlarından Kükürtdioksidi Giderme Yöntemleri, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt 10, Sayı 2, (35-40), Mayıs 1987.*

8. Ayyaz, Z., *Meteoroloji ve Hava Kirliliği, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt 14, Sayı 3, (30-34), Eylül 1991.*

## **YERDEN ISITMA SİSTEMLERİ ve TASARIM ÖZELLİKLERİ**

**R. Tuğrul OĞULATA ve Ayşe KÜÇÜK**

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

**ÖZET:** *Bu çalışmada yerden ısıtma sistemi tanıtılmış, sistemin tasarımı hakkında bilgiler verilmiştir. Yerden ısıtmadaki ısı transfer kapasitesine etki eden faktörler gösterilmiştir. Ayrıca sistemin olumlu yönleri izah edilerek, döşemeden ısıtma sisteminin ekonomikliği analiz edilmiştir.*

## **THE FLOOR HEATING SYSTEMS and THEIR DESIGN PROPERTIES**

**ABSTRACT:** *In this study, the floor heating system is introduced and general information about the design of system is given. The parameters being effective upon the heat transfer capacity of the floor heating system are explained. In addition to this, the advantages of the system are summarised and the economical aspects of the floor heating system are examined.*

## 1. GİRİŞ

Türkiye'de son yıllarda gittikçe yaygınlaşmaya başlayan yerden ısıtma sistemleri; basit konstrüksiyonları, uzun ömürlü oluşları ve konfor koşullarını çok iyi sağlamaları nedeniyle tercih edilir duruma gelmiştir. Bilindiği gibi yerden ısıtma, en ideal ısıtma şeklidir ve mahal içerisinde homojen bir sıcaklık dağılımı gerçekleştirir. İnsan ayağının doğrudan teması söz konusu olabileceğinden ısıtma, düşük zemin sıcaklığında gerçekleştirilir. Dolayısıyla ısıtma sisteminde dolaştırılan akışkan sıcaklığı da klasik ısıtma sistemlerindeki ısı taşıyıcı akışkan sıcaklığından oldukça düşüktür. Isıtma, ısı taşıyıcı akışkanın; döşeme altında, uygun malzemeden yapılmış belirli bir şekilde yerleştirilen borulardan geçirilmesi suretiyle yapılmaktadır. Sistemde genelde 40-60°C gibi düşük sıcaklıklarda akışkan kullanılması ısı pompası, jeotermal enerji gibi temiz enerji kaynaklarının da kullanımını mümkün kılmaktadır (1). Türkiye'de enerji tüketiminin yaklaşık %40'ı konutlarda harcanmaktadır (2). Konutlardaki ısı kaybının, yaklaşık %30'u da infiltrasyon yoluyla gerçekleşmektedir (3). Yerden ısıtma sisteminde, mahal yüksekliği boyunca sıcaklık değişimi ihmal edilebilir olduğundan infiltrasyon kayıpları da dikkate alınmaz (4). Bu nedenle yerden ısıtma sisteminde, tüketilen enerjiden de büyük oranda tasarruf sağlanmaktadır.

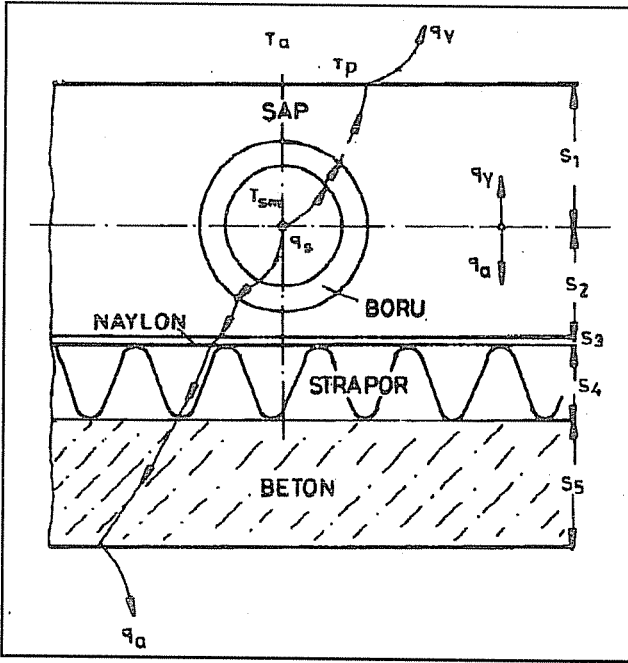
Sistem çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Konutlar, spor salonları, tiyatro, cami, fabrika gibi her türlü kapalı mekanın yanında, soğuk kış şartlarında buzlanmanın görüldüğü yol, köprü, hava alanı gibi açık alanlarda da kullanılabilir.

## 2. SİSTEMİN TANITIMI

Yerden ısıtma sistemleri ısı taşıyıcı akışkana göre değişik şekillerde tasarlanabilmektedir. Genel olarak;

- Döşeme içindeki borulardan sıcak su veya yağ geçirilmesi ile yapılan ısıtma,
- Döşeme altından sıcak hava, yanmış gazlar veya buhar geçirilmesi ile yapılan ısıtma,
- Döşemeden sıcak su ve sıcak havanın geçirilmesi suretiyle ısıtma şeklinde olabilmektedir (5). Ancak yaygın kullanımı nedeniyle burada döşeme içerisine sıcak su borularının yerleştirilmesi ile yapılan ısıtma üzerinde durulacaktır.

Sistemde değişik tür malzemelerden yapılmış borular kullanılabilir. Beraber, yüksek sıcaklık ve basınca dayanıklı, uzun ömürlü, montajı kolay olması nedeniyle, Polibütlen (PB), Polipropilen-Kopolimer (PP-C), Cross-link işleminden geçmiş Polietilen (PE-X) gibi termoplastik malzemeler kullanılmaktadır. Şekil 1'de yerden ısıtmada kullanılan basit bir döşeme modelinin kesiti şematik olarak verilmiştir.



Şekil 1. Yerden ısıtmada kullanılan döşeme modeli

Kat betonunun üzerine ısı yalıtımı amacıyla genel olarak ara katlarda 2 cm kalınlığında strapor döşenmekte, bunun üzerine buhar tutucu olarak naylon branda çekilmektedir. Termoplastik boru (17-20 mm çapındaki), boru tutuculara projeye göre yerleştirilerek üzerine minimum 5 cm kalınlığında şap dökülmekte bunun üzerine de normal zemin kaplamaları kullanılmaktadır (6).

### 3. UYGULAMA ŞEKİLLERİ

Yerden ısıtma sistemlerinde uygulama şekilleri, boruların döşemeye yerleştiriliş şekline göre belirlenmektedir. Borular döşemeye genel olarak paralel ve spiral modülasyon olmak üzere iki şekilde yerleştirilebilmektedir. Şekil 2'de paralel ve spiral döşeme modülasyonları (desenleri) gösterilmiştir. Modülasyon aralığı (Boru aralığı) M, termoplastik boruların kırılganlıkları da göz önüne alınarak 100, 150, 200, 250, 300 mm değerlerinde alınmaktadır. Modülasyon aralığı ne kadar az olursa döşemenin birim ısıtma kapasitesi o oranda artmaktadır. Ayrıca mahalın soğuk bölgelerinde özellikle dış pencere kenarlarında daha sık boru döşenebilmekte veya oda içerisinde birden fazla ve farklı şekilde modülasyon kullanılabilir.

Yapı elemanı kalınlığı

$$S_1 = 0.04 \text{ m}$$

$$S_2 = 0.01 \text{ m}$$

$$S_3 = 0.0015 \text{ m}$$

$$S_4 = 0.02 \text{ m}$$

$$S_5 = 0.1 \text{ m}$$

Isı iletim katsayıları

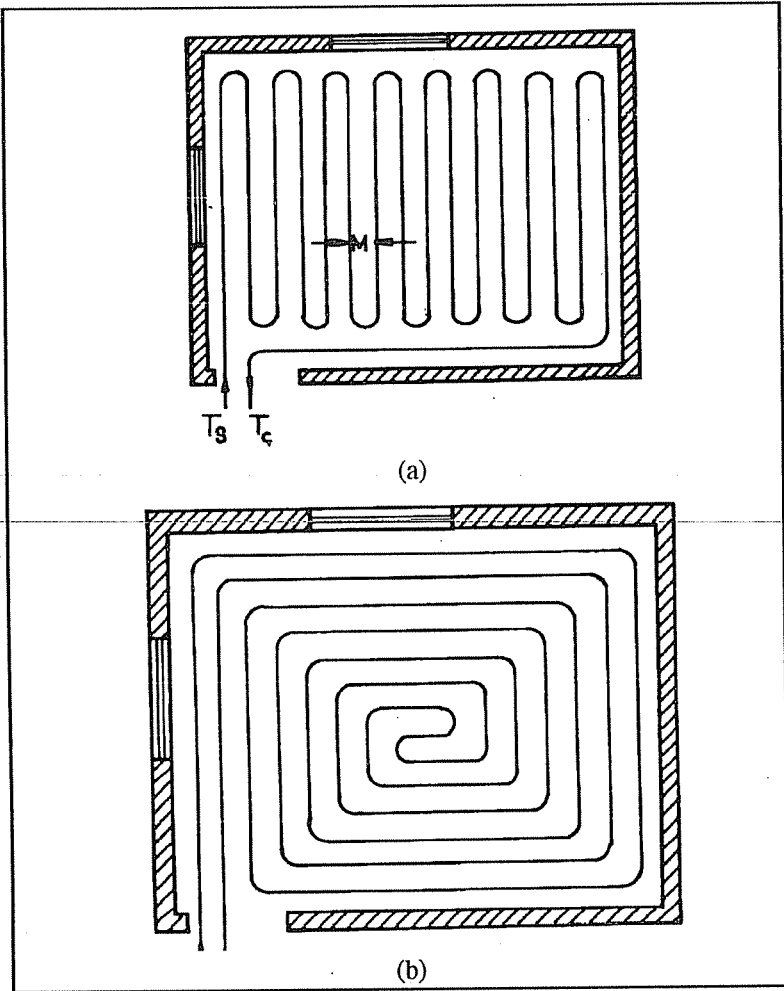
$$\lambda_1 = \lambda_2 = 1.395 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$\lambda_3 = 0.465 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$\lambda_4 = 0.0395 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$\lambda_5 = 1.512 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$\lambda_{\text{boru}} = 0.221 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$



Şekil 2. Boruların döşemeye yerleştiriliş şekli  
(a) paralel modülasyon, (b) spiral modülasyon

Paralel modülasyonlu döşeme şeklinde, döşeme sıcaklığı sabit kalmamakta, örneğin şekil 2-a'daki yerleştiriliş şekline göre dış duvardan iç duvara doğru (su girişinden çıkışına doğru) sıcaklıkta azalma olmaktadır. Bu nedenle döşeme üzerinde üniform sıcaklık dağılımının elde edildiği spiral modülasyon tercih edilmektedir.

#### 4. ISIL TASARIM

Döşemeden ısıtma sistemlerinde, borulardan geçen sıcak suyun ısısı, borudan döşeme yüzeyine döşeme yüzeyinden de odaya geçmektedir. Döşeme yüzeyinden odaya transfer edilen ısı, radyasyon ve konveksiyon suretiyle gerçekleşmektedir. Bilindiği gibi



klasik kaloriferli ısıtma sisteminde odaya transfer edilen ısınn yaklaşık % 80'i konveksiyonla gerçekleşmektedir. Yerden ısıtma sisteminde ise bu oran % 30-40 seviyesine inmekte ve ısı transferi radyasyon ağırlıklı olmaktadır.

Sistemin kullanılabilmesi için döşeme tarafından odaya sevk edilen ısı akımının, mahalın toplam ısı kaybının döşeme yüzey alanına bölünmesi suretiyle bulunan birim ısı yükünden daha büyük olması gerekmektedir. Proje hesaplamalarında mahalın ısı kaybının ve sistem ısı yükünün hesap şekilleri referans (8)'de detaylı olarak açıklanmıştır.

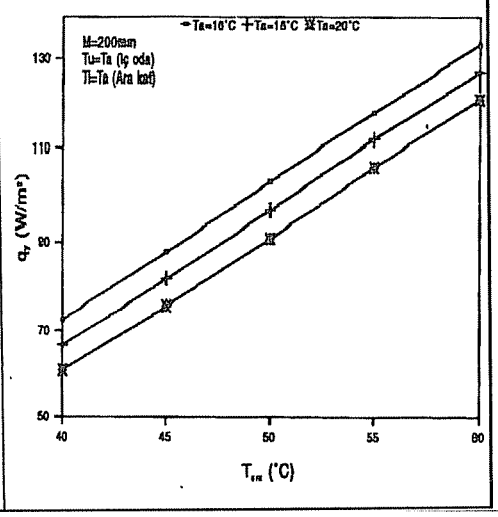
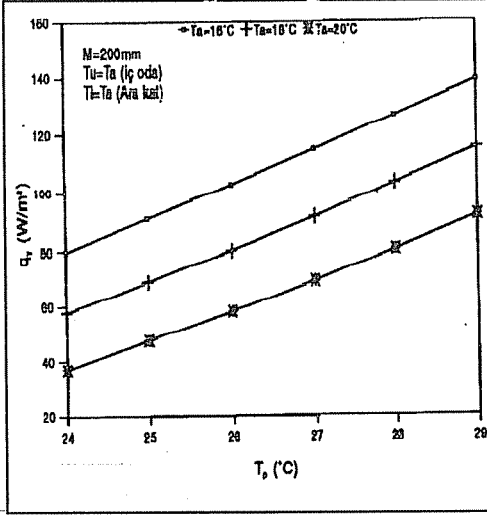
Şekil 1'de döşeme yüzeyinden iç ortama geçen ısı akısı  $q_y$ , ısıtma yapılan döşemeden aşağıya doğru olan ısı akısı ise  $q_a$  ile gösterilmiştir. Borularda ısı taşıyıcı akışkan olarak kullanılan suyun sağlaması gereken ısı  $q_s$  ise bu iki ısınn toplamı şeklinde tanımlanmıştır.  $q_y$ ,  $q_a$  ve  $q_s$ 'nin hesap yöntemleri referans (9)'da açıklanmıştır. Bu hesap yöntemlerinde bulunan bazı faktörlerin, yerden ısıtma sistemine etkisi incelenmiş ve şekil 1'de verilen döşeme detayı için elde edilen diyagramlar şekil 3-4-5-6-7'de gösterilmiştir.

Şekil 3-4-5' de sırasıyla döşeme ısıtma kapasitesine; döşeme yüzey sıcaklığı ile ortalama su sıcaklığının değişik iç ortam sıcaklıklarındaki ve farklı modülasyon aralıklarındaki etkisi gösterilmektedir. Doğal olarak ortalama su sıcaklığı ve buna bağlı olarak döşeme yüzey sıcaklığının artması, sabit iç ortam sıcaklığında döşeme ısıtma kapasitesine olumlu katkı yapmaktadır. Yerden ısıtma sistemlerinde, insan ayağının rahatsızlık duymadığı konfor şartı olarak döşeme yüzey sıcaklığı maksimum 29°C ile sınırlandırılmakta (10) ve dolayısı ile ortalama su sıcaklığının da en fazla 55-60°C'ye çıkmasına müsaade edilmektedir (4). Modülasyon aralığının azalması ise birim döşeme alanına daha çok boru yerleştirilmesini sağladığından, döşeme yüzeyinden daha fazla ısınn iç ortama transferini temin etmektedir.

Şekil 6'da ortalama su sıcaklığının seçilen yapı elemanında, istenen ortam sıcaklığı gözönüne alınarak olması gereken döşeme yüzey sıcaklığının tespitini mümkün kılmaktadır. Şekil 7'de döşeme yüzey sıcaklığının, döşeme altına kaybedilen ısı akımı üzerindeki, şekil 8'de sistem tarafından verilen toplam ısı akısı üzerindeki tesiri iç ortam sıcaklığına bağlı olarak gösterilmiştir. Doğal olarak yüzey sıcaklığı arttıkça toplam ısı ve kaybedilen ısı artmaktadır. Görüldüğü gibi kaybedilen  $q_a$  ısı, sistemin toplam ısınnın % 5'i civarında olup, oldukça küçük değerdedir.

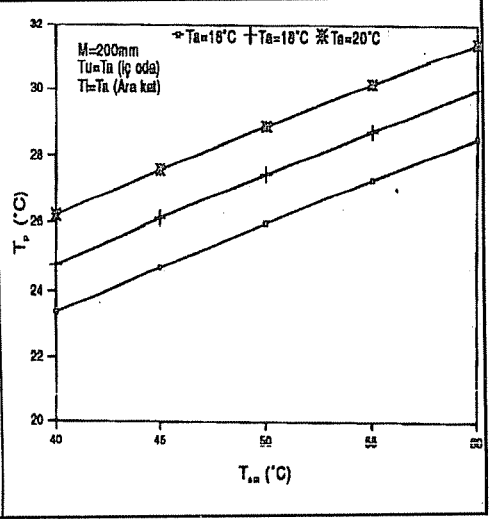
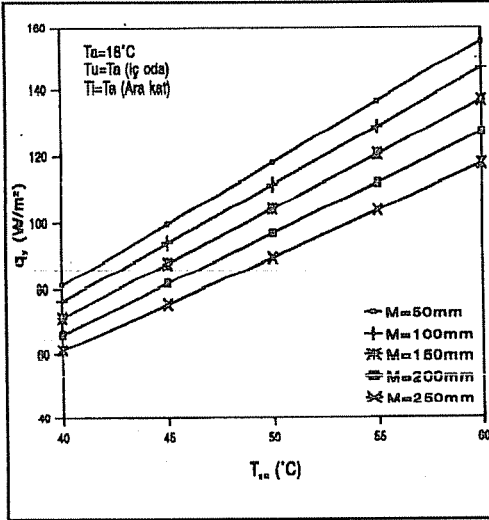
## 5. SONUÇ ve TARTIŞMA

Isıl konfor açısından, homojen bir sıcaklık dağılımı elde etmesiyle insan fizyolojik yapısına en uygun ısıtma şekli olarak gözüken yerden ısıtma sistemleri, uygulama kolaylıkları bakımından da kullanışlı olduğundan özellikle yeni yapılan binalarda ısıtma sistemi olarak tercih edilmelidir. Sistemin genel değerlendirilmesinden şu sonuçlar çıkarılabilmektedir.



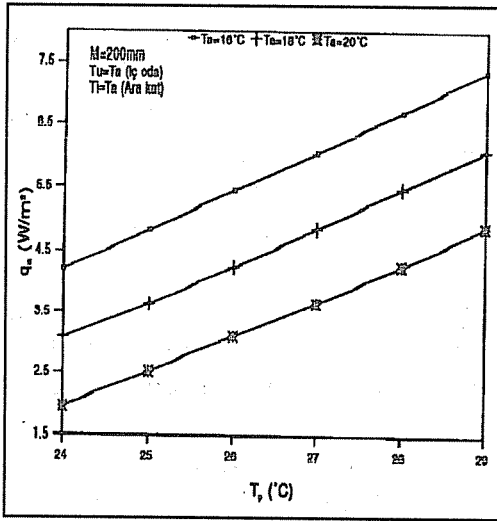
Şekil 3. Döşeme yüzey sıcaklığının iç ortam sıcaklığına bağlı olarak döşeme ısıtma kapasitesine etkisi

Şekil 4. Ortalama su sıcaklığının iç ortam sıcaklığına bağlı olarak döşeme ısıtma kapasitesine etkisi

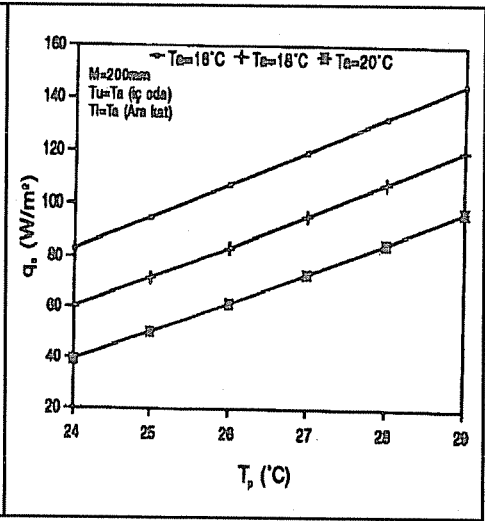


Şekil 5. Ortalama su sıcaklığının modülasyon aralığının tesiriyle döşeme ısıtma kapasitesine etkisi

Şekil 6. Ortalama su sıcaklığının iç ortam sıcaklığına bağlı olarak döşeme ısıtma kapasitesine etkisi



Şekil 7. Döşeme yüzey sıcaklığının iç ortam sıcaklığına bağlı olarak döşeme altına doğru olan ısı akısı üzerine etkisi



Şekil 8. Döşeme yüzey sıcaklığının iç ortam sıcaklığına bağlı olarak sistem tarafından verilen ısı akısı üzerine tesiri

1. Yerden ısıtma sistemlerinde, oda yüksekliği boyunca sıcaklık gradyanı ihmal edilebilir olduğundan, iklim bölgelerine bağlı olarak % 30 düzeyinde olan infiltrasyon ısı kaybı meydana gelmemektedir. Buna ilave olarak sıcak havanın tavana birikmeyip, insan seviyesinde ısıtma gerçekleştiğinden, iç ortam sıcaklığı 1-2°C daha düşük alınabilmektedir (4). Bu iç-dış ortam sıcaklık farkının 20°C olduğu bir yerde ısı kaybında % 10 azalma demektir. Dolayısıyla yerden ısıtma sistemlerinde % 40'a varan bir enerji tasarrufu gerçekleşmektedir.
2. Yerden ısıtma sistemlerinde yüksek sıcaklıklar elde edilmediğinden ve konveksiyonla ısı transferi oranı az olduğundan, oda içinde hava sirkülasyonu oluşmamakta, bundan dolayı tabanda bulunan toz ve mikroorganizmaların hareketi engellenmektedir.
3. Yerden ısıtma sistemlerinde duvar iç yüzey sıcaklıkları kaloriferli ısıtma sistemine göre birkaç derece daha yüksek olmaktadır. Bu da insanla duvar arasındaki radyasyonla ısı transferini olumlu yönde etkilemektedir.
4. Sistemde kullanılan termoplastik borular hafif, montajı kolay ve uzun ömürlüdür (50 yıla kadar). Su sıcaklığının yüksek olmaması ve malzemenin yüzey özelliğinden ötürü borularda kireçlenme söz konusu olmamaktadır.
5. Yerden ısıtma sisteminde kazanda ısıtılan suyun katlara dağılımı tek kolonla yapılmaktadır. Böylelikle her daireye ısı sayacı bağlanabildiği gibi, daha az boru ve

bağlantı elemanları kullanılmaktadır. Bu nedenle radyatör ısıtıcı sisteme göre ilk yatırım masrafları daha azdır (11).

6. Yerden ısıtma sistemlerinde boru ağının altına izolasyon malzemesi konulduğundan, katlar arasındaki gürültü geçişi de azalmaktadır.

7. Döşemeden ısıtmada, mahal içerisinde klasik ısıtma sistemlerinde olduğu gibi ısıtıcı elemanların olmaması, sözkonusu hacimden daha etkili faydalanma imkanı da yaratmaktadır.

8. Yerden ısıtma sistemleri, yaz dönemlerinde soğutma sistemi olarak da kullanılabilir. Bu durumda borular içerisinde 16-18°C sıcaklığında su geçirilerek ortam sıcaklığının 2-3°C düşürülmesi sağlanabilir. Ancak yerden soğutma sisteminde ısı taşınım katsayısı yarıyarıya azalmaktadır.

9. Döşemeden ısıtma sistemlerinde ısı taşıyıcı akışkan olarak kullanılan suyun sıcaklığının fazla yüksek olmaması, güneş ve jeotermal enerji gibi temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından da faydalanmayı mümkün kılmaktadır.

## 6. SEMBOLLER

- $q_a$  : Döşemeden aşağı doğru ısı akısı [ $W/m^2$ ]  
 $q_s$  : Suyun sağlaması gereken ısı akısı [ $W/m^2$ ]  
 $q_y$  : Döşeme yüzeyinden iç ortama geçen ısı akısı [ $W/m^2$ ]  
 $T_a$  : Mahal iç ortam sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]  
 $T_i$  : Döşeme altı mahal sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]  
 $T_p$  : Döşeme yüzey sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]  
 $T_{sm}$  : Ortalama su sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]  
 $T_u$  : Duvar iç yüzey ortalama sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]  
 $M$  : Modülasyon (boru eksenleri arasındaki) aralığı [mm]  
 $S$  : Yapı elemanı kalınlığı [m]  
 $\lambda$  : Yapı elemanı ısı iletim katsayısı [ $W/m^{\circ}C$ ]

## 7.KAYNAKLAR

1. Kibarer E., *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Döşemeden Isıtmada Kullanımı, Termodinamik, Sayı 14, (42-45), Ekim 1993.*
2. Altaş M., Fikret H., Çelebi E., *Enerji İstatistikleri, Türkiye 5. Enerji Kongresi, Ankara, 1990.*
3. Tanrıbilir H., Yener C., *Yapılarda Hava Sızmaları ve Hava Sızdırmazlığının Enerji Kullanımına Etkisi, Türkiye 4. Enerji Kongresi, (239-244), İzmir, 1986.*
4. Kılış B., *Döşemeden Isıtma Sistemi Hakkında Genel Bir Değerlendirme, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt 11, Sayı 3, (39-42), Eylül 1988.*
5. Azak T., *Yerden Isıtma Sistemleri, Termodinamik, Sayı 14, (46-47), Ekim 1993.*

6. Akpınar M., *Döşemeden Isıtma Sisteminde Türkiye, Termodinamik, Sayı 14, (31-32), Ekim 1993.*
7. Çalışkan H., *Döşemeden Isıtma Sistemlerinin Uygulanmasında Dikkat Edilecek Konular, Termodinamik, Sayı 14, (54-58), Ekim 1993.*
8. Kalorifer Tesisatı Proje Hazırlama Teknik Esasları, MMO Yayın No: 84, 9. Baskı.
9. Yeşilata B., Biçer Y., Yıldız C., *Binalarda Yüzey Isıtma ve Soğutma Prensiplerinin İncelenmesi, 2. Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Kongresi, (279-287), Adana, 6-8 Mayıs 1992.*
10. Kılış B., *Döşemeden Isıtma Tasarımında Yeni bir Yaklaşım, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt 13, Sayı 4, (33-49), Aralık 1990.*
11. Acar M., *Döşemeden Isıtma Sistemi ve Ekonomikliği, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt 10, Sayı 3, (43-52), Kasım 1987.*



## ORİFİSLERDE LAMİNAR AKIŞIN SONLU FARKLAR YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

Hüseyin CEYHAN ve Beşir ŞAHİN

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

**ÖZET :** Bu çalışmada, orifis etrafındaki akış için iki boyutlu, sıkıştırılamaz, daimi, viskoz ve tam gelişmiş akış kabul edilerek Navier-Stokes ve Süreklilik denklemleri Akım Fonksiyonu-Girdap Metodu formülasyonu ile çözülmüştür. Çözümlerin yapılabilmesi için Sonlu Farklar açılımları kullanılmış ve Gauss-Seidel iterasyon metodu uygulanmıştır. Boyutsuz hale getirilen Navier-Stokes ve Süreklilik denklemlerinden orifis etrafındaki Akım Fonksiyonu ve Girdap dağılımları bulunmuş ve debi katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen teorik sonuçlarla literatürden alınan analitik ve deneysel sonuçların karşılaştırması yapılmıştır ve uyum içinde oldukları görülmüştür.

## INVESTIGATION OF LAMINAR FLOW AROUND SQUARE-EDGED ORIFICES

**ABSTRACT :** In this study, the Navier-Stokes and Continuity equations are solved in order to investigate the flow characteristics of orifice. The flow was assumed to be two-dimensional, incompressible, steady, viscous, fully developed and laminar. Finite differences method was employed to solve the differential equations using Gauss-Seidel iteration. Stream function and vorticity distributions around orifices were calculated from dimensionless Stream Function-Vorticity equations. Discharge coefficients were also predicted. Present numerical results were compared with the experimental and analytical results taken from the literature. These comparisons showed that there is a good agreement.

## 1. GİRİŞ

Orifisetreler ile debi ölçümü bilinen en eski debi ölçme metodlarından biridir. İlk olarak Romalılar tarafından evlere giden su miktarını kontrol etmek için kullanıldığına kayıtlarda rastlanmaktadır (1).

18. YY'nın son çeyreğinde orifisetreler ile ilgili çalışmalar yapılmakla birlikte, ilk detaylı çalışma Johansen (2) tarafından yayınlanmıştır. Johansen (2) orifis debi katsayılarının değişimini orifis kalınlığını parametre olarak deneysel olarak incelemiştir.

Rouse ve Abul-Fetouh (3) eksenel simetrik orifislerin dönümsüz akış karakteristiklerini incelemiştir. Bu çalışmada rölaksasyon metodu ile çalışmalar yapıp, orifis çapının boru çapına oranı olan ( $\beta$ ) için debi katsayısının değişimini incelemiştir.

Mills (4) boru içine yerleştirilmiş orifis etrafında viskoz, sıkıştırılmaz, eksenel simetrik, laminar akış için iki boyutlu Navier-Stokes denklemlerini çözerek, akım çizgilerinin ve girdap eğrilerinin dağılımlarını hesaplamıştır. Mills (4) bu çalışmada orifis çapının boru çapına oranı olan  $\beta=0.5$  için debi katsayısının Reynolds sayısı ile değişimini, Reynolds sayısının  $0 < Re \leq 50$  aralığında teorik olarak incelemiştir.

Greenspan (5) aralarında orifislerin de bulunduğu değişik akışölçer geometrileri için sadece akım fonksiyonu eğrilerini, geliştirdiği iteratif bir metod kullanarak hesaplamıştır.

Morrison, De Otte, Panak ve Nail (1) orifis etrafında, yüksek Reynolds sayılarında basınç ve hız dağılımlarını deneysel olarak incelemiştir.

Çekici (6) ise açıklık oranı  $\beta=0.5$  için Reynolds sayısının  $Re=0-350$  aralığında, kartezyen koordinatlara göre, iki boyutlu Navier-Stokes denklemlerini kullanarak, daire kesitli borularda orifis giriş ve çıkışında akım çizgilerini bulmuştur.

Bu çalışmada ise orifisin giriş ve çıkış kesitlerindeki statik basınç bulunarak debi katsayısı sayısal olarak hesaplanmıştır. Elde edilen teorik değerlerin literatürden alınan analitik ve deneysel sonuçlarla mukayesesi yapılmıştır.

## 2. ÇALIŞMADA KULLANILAN DENKLEMLER

Bu çalışmada daire kesitli boru içine yerleştirilmiş orifis etrafında akış yapısı incelenmiştir. Akış; daimi, eksenel simetrik, tam gelişmiş, iki boyutlu, laminar ve sıkıştırılmaz kabul edilmiştir. Bu kabullerin yanı sıra, akış üzerinde dış kuvvetlerin etkisinin olmadığı da dikkate alınırsa  $r$  ve  $z$  yönündeki Navier-Stokes denklemleri aşağıdaki şekilde yazılır.



$$v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} + \nu \left( \frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_r}{r^2} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

$$v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

Son yıllarda bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesi ve sayısal metotların yaygınlaşması, problemlerin çözümünün sayısal olarak yapılmasını ön plana çıkırmıştır. Ancak akışın fiziksel yapısını ifade eden diferansiyel denklemlerin de uygun şekilde yazılması ve uygun sayısal metodlarla çözülmesi gerekmektedir. Bu nedenle, Eş. 1 ve 2'de verilen Navier-Stokes denklemlerinin boyutsuz olarak yazılması gerekmektedir. Boyutsuzlaştırma için aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

$$v_r^* = \frac{v_r}{u} \quad (3)$$

$$v_z^* = \frac{v_z}{u} \quad (4)$$

$$r^* = \frac{r}{R} \quad (5)$$

$$z^* = \frac{z}{R} \quad (6)$$

$$P^* = \frac{P}{\rho u^2} \quad (7)$$

Navier-Stokes denklemleri  $r^*$  ve  $z^*$  yönleri dikkate alınarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$v_r^* \frac{\partial v_r^*}{\partial r^*} + v_z^* \frac{\partial v_r^*}{\partial z^*} = - \frac{\partial P^*}{\partial r^*} + \frac{2}{Re} \left( \frac{\partial^2 v_r^*}{\partial r^{*2}} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial v_r^*}{\partial r^*} - \frac{v_r^*}{r^{*2}} + \frac{\partial^2 v_r^*}{\partial z^{*2}} \right) \quad (8)$$

$$v_r^* \frac{\partial v_z^*}{\partial r^*} + v_z^* \frac{\partial v_z^*}{\partial z^*} = - \frac{\partial P^*}{\partial z^*} + \frac{2}{Re} \left( \frac{\partial^2 v_z^*}{\partial r^{*2}} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial v_z^*}{\partial r^*} + \frac{\partial^2 v_z^*}{\partial z^{*2}} \right) \quad (9)$$

Daimi, aksenel simetrik, sıkıştırılmaz ve laminar akış için süreklilik deklemini silindirik koordinatlara göre boyutsuz olarak aşağıdaki şekildedir.

$$\frac{\partial v_z^*}{\partial z^*} + \frac{\partial v_r^*}{\partial r^*} + \frac{v_r^*}{r^*} = 0 \quad (10)$$

## 2.1 Girdap Transport Denklemi

İki boyutlu akış için silindirik koordinatlarda girdap ifadesinin aşağıdaki gibi olduğu bilinmektedir.

$$\omega = \frac{\partial v_r}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial r} \quad (11)$$

Girdabın boyutsuz sayı olarak tanımı ise şöyledir:

$$\omega^* = \frac{\omega r}{u} \quad (12)$$

Bu girdap ifadesi boyutsuz olarak aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\omega^* = \frac{\partial v_r^*}{\partial z^*} - \frac{\partial v_z^*}{\partial r^*} \quad (13)$$

Hız bileşenlerinin akım fonksiyonu cinsinden ifadesi de aşağıda silindirik koordinatlara göre verilmiştir.

$$v_z = -\frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \quad (14)$$

$$v_r = \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z} \quad (15)$$

Hız bileşenlerini boyutsuz olarak yazabilmek için akım fonksiyonunun da boyutsuz olarak tarif edilmesi gerekir.

$$\psi^* = \frac{\psi}{u R^2} \quad (16)$$

Böylece hız bileşenleri boyutsuz olarak yazılabilir.

$$v_z^* = -\frac{1}{r^*} \frac{\partial \psi^*}{\partial r^*} \quad (17)$$

$$v_r^* = \frac{1}{r^*} \frac{\partial \psi^*}{\partial z^*} \quad (18)$$

Eş. 17 ve 18'de verilen hız bileşenlerinin sırasıyla,  $r^*$  ve  $z^*$ 'a göre türevleri alınıp, Eş. 11'de yerine koyulursa, Akım Fonksiyonu Deklemi elde edilir.

$$\omega^* = \frac{1}{r^*} \left[ \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial r^{*2}} - \frac{1}{r^*} \frac{\partial \psi^*}{\partial r^*} + \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial z^{*2}} \right] \quad (19)$$

Bu eşitlik, gerekli düzenlemeler yapılarak, aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\frac{\partial^2 \psi^*}{\partial r^{*2}} + \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial z^{*2}} = r^* \omega^* + \frac{1}{r^*} \frac{\partial \psi^*}{\partial r^*} \quad (20)$$

İki boyutlu akışkan hareketini ifade eden  $r^*$  ve  $z^*$  yönünde Navier-Stokes denklemleri silindirik koordinatlara göre Eş. 8 ve 9'da verilmiştir. Bu iki eşitliğin sırasıyla  $z^*$  ve  $r^*$ 'a göre kısmi türevleri alınır ve elde edilen eşitlikler birbirinden çıkarılırsa Eş. 21 elde edilir.

$$\left( \frac{\partial^2 v_r^*}{\partial z^* \partial r^*} + v_r^* \frac{\partial^2 v_r^*}{\partial z^* \partial r^*} + \frac{\partial v_z^* \partial v_r^*}{\partial z^{*2}} + v_z^* \frac{\partial^2 v_r^*}{\partial z^{*2}} \right) - \left( \frac{\partial^2 v_z^*}{\partial z^* \partial r^*} + v_r^* \frac{\partial^2 v_z^*}{\partial r^{*2}} + \frac{\partial v_z^* \partial v_r^*}{\partial r^{*2}} + v_z^* \frac{\partial^2 v_z^*}{\partial z^* \partial r^*} \right) =$$

$$\frac{2}{\text{Re}} \left( \frac{\partial^3 v_r^*}{\partial z^* \partial r^{*2}} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial^2 v_r^*}{\partial z^* \partial r^*} - \frac{1}{r^{*2}} \frac{\partial v_r^*}{\partial z^*} + \frac{\partial^3 v_r^*}{\partial z^{*3}} - \frac{\partial^3 v_z^*}{\partial r^{*3}} + \frac{1}{r^{*2}} \frac{\partial v_z^*}{\partial r^*} - \frac{1}{r^*} \frac{\partial^2 v_z^*}{\partial r^{*2}} - \frac{\partial^3 v_z^*}{\partial r^* \partial z^{*2}} \right) \quad (21)$$

Eş. 21'de Eş.17 ve 18 ile verilen eksenel ve radyal hız bileşenleri yerine konur ve Eş. 13 de dikkate alınırsa Girdap Transport Denklemi'nin son hali bulunmuş olur.

$$\frac{\partial^2 \omega^*}{\partial r^{*2}} + \frac{\partial^2 \omega^*}{\partial z^{*2}} = \frac{1}{r^*} \left( \frac{\omega^*}{r^*} - \frac{\partial \omega^*}{\partial r^*} \right) + \text{Re} \left( \frac{1}{r^*} \frac{\partial \psi^*}{\partial z^*} \frac{\partial \omega^*}{\partial r^*} - \frac{1}{r^*} \frac{\partial \psi^*}{\partial r^*} \frac{\partial \omega^*}{\partial z^*} - \frac{\omega^*}{r^{*2}} \frac{\partial \psi^*}{\partial z^*} \right) \quad (22)$$

## 2.2 Basınç Denklemleri

Eşit. 8 ve 9'dan da görülebileceği gibi Navier-Stokes denklemleri basınç terimlerini de içermektedir. Bu denklemlerin, integrali alınarak basınç dağılımları bulunabilir.

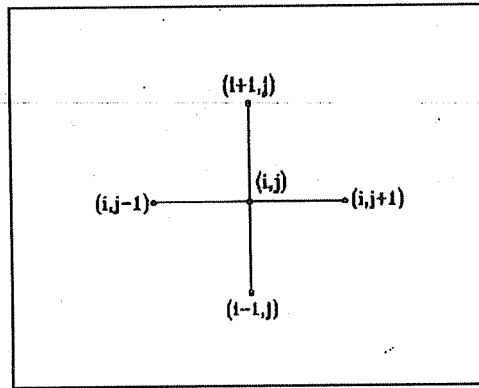
$$\frac{\partial P^*}{\partial r^*} = \frac{2}{\text{Re}} \left( \frac{\partial^2 v_r^*}{\partial r^{*2}} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial v_r^*}{\partial r^*} - \frac{v_r^*}{r^{*2}} + \frac{\partial^2 v_r^*}{\partial z^{*2}} \right) - \left( v_r^* \frac{\partial v_r^*}{\partial r^*} + v_z^* \frac{\partial v_r^*}{\partial z^*} \right) \quad (23)$$

$$\frac{\partial P^*}{\partial z^*} = \frac{2}{\text{Re}} \left( \frac{\partial^2 v_z^*}{\partial r^{*2}} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial v_z^*}{\partial r^*} + \frac{\partial^2 v_z^*}{\partial z^{*2}} \right) - \left( v_r^* \frac{\partial v_z^*}{\partial r^*} + v_z^* \frac{\partial v_z^*}{\partial z^*} \right) \quad (24)$$

Burada, Navier-Stokes Denklemlerinde yapılan düzenlemelerle elde edilen Eşit. 23 ve 24'de integral almak için sonlu fark açılımları ve gerekli düzenlemeler ilerideki bölümde verilmektedir.

## 2.3 Sonlu Fark Açılımları

Diferansiyel denklemlerin çözülebilmesi için sonlu fark açılımlarının yapılması gerekmektedir. Çözüm ağının herhangi bir noktası ve etrafındaki noktalar Şekil 1'deki gibi olsun.



Şekil 1. Sonlu Fark Ağında Bir Nokta.

Herhangi bir fonksiyon olan  $f$ 'nin  $z$  gibi bir değişkene göre 1. ve 2. türev formüllerinin merkezi fark açılımı cinsinden aşağıdaki gibi olduğu bilinmektedir.

$$\frac{df}{dz} = \frac{f_{z+\Delta z} - f_{z-\Delta z}}{2\Delta z} + O(h^2) \quad (25)$$

$$\frac{d^2f}{dz^2} = \frac{f_{z+\Delta z} - 2f_z + f_{z-\Delta z}}{\Delta z^2} + O(h^2) \quad (26)$$

Akım Fonksiyonu denklemi ve Girdap Transport denklemi Eş. 20 ve 22 ile verilmiştir. Bu iki denklem, akım fonksiyonu ve girdaba ve bunların 1. ve 2. dereceden  $r^*$  ve  $z^*$ 'a göre kısmi türevlerine bağlıdır. Eş. 25 ve 26 kullanılarak, Eş. 20 ve 22 sonlu farklara açılabilir. Eş. 20 ve 22 sonlu farklara açıldıktan sonra gerekli düzenlemeler yapılarak programlanabilir hale getirilebilir.

$$\Psi_{i,j}^* = 0.25 \left( \Psi_{i+1,j}^* + \Psi_{i-1,j}^* + \Psi_{i,j+1}^* + \Psi_{i,j-1}^* - \frac{h}{2r_i^*} (\Psi_{i-1,j}^* - \Psi_{i+1,j}^*) - h^2 r_i^* \omega_i^* \right) \quad (27)$$

$$\omega_{i,j}^* = 0.25 \left[ \left( \omega_{i+1,j}^* + \omega_{i-1,j}^* + \omega_{i,j+1}^* + \omega_{i,j-1}^* \right) - \frac{h}{8r_i^*} (\omega_{i-1,j}^* - \omega_{i+1,j}^*) - \frac{Re}{32r_i^*} (\Psi_{i,j+1}^* - \Psi_{i,j-1}^*) \right. \\ \left. \left( \omega_{i-1,j}^* - \omega_{i+1,j}^* \right) - (\Psi_{i-1,j}^* - \Psi_{i+1,j}^*) (\omega_{i,j+1}^* - \omega_{i,j-1}^*) \right] / \left[ 1 + \frac{h^2}{4r_i^{*2}} - \frac{Re h}{16r_i^*} (\Psi_{i,j+1}^* - \Psi_{i,j-1}^*) \right] \quad (28)$$

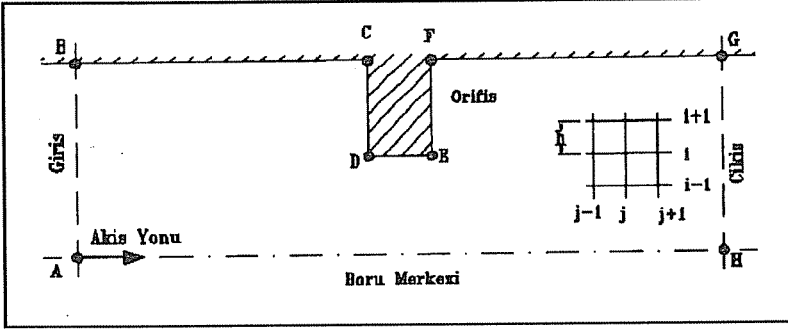
Eş. 23 ve 24'de verilen basınç dağılımı denklemlerinde düzenleme yapılır, basit integraller analitik olarak alınır ve geriye kalan terimlerin nümerik integrali alınır. Bu amaç için aşağıdaki denklemler kullanılır.

$$(P_{i+1,j}^* - P_{i-1,j}^*) = \frac{v_{ri+1,j}^{*2} - v_{ri-1,j}^{*2}}{2} - \frac{v_{zi+1,j}^{*2} - v_{zi-1,j}^{*2}}{2} - \frac{Re}{2} \int_{i-1}^{i+1} \left( \frac{\partial \omega}{\partial z} - \frac{Re}{2} v_z^* \omega^* \right) dr^* \quad (29)$$

$$(P_{i,j+1}^* - P_{i,j-1}^*) = \frac{v_{ri,j+1}^{*2} - v_{ri,j-1}^{*2}}{2} - \frac{v_{zi,j+1}^{*2} - v_{zi,j-1}^{*2}}{2} - \frac{Re}{2} \int_{j-1}^{j+1} \left( \frac{\partial \omega}{\partial r} + \frac{\omega}{r} - \frac{Re}{2} v_r^* \omega^* \right) dz \quad (30)$$

#### 2.4. Başlangıç ve Sınır Şartları

Ele alınan diferansiyel denklemin çözümünde bağımlı olan değişkenler için sınır ve başlangıç şartları uygun olarak verilmelidir. Ele alınan bölge Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Sınır Şartlarının Gösterilmesi İçin Şematik Orifis Şekli.

Problemlerin çözülebilmesi için akışın tam gelişmiş, viskoz, sıkıştırılamaz ve daimi olduğu kabulü yapılmıştır.

Gerçek akışlarda boru ve diğer katı cisimlerin cidarlarında hızlar sıfırdır. Böylece BC, CD, DE, EF ve FG sınırları boyunca  $v_r^* = 0$  ve  $v_z^* = 0$  olur.

$$v_z^* = 0 \Rightarrow \frac{\partial \psi^*}{\partial r^*} = 0 \quad (31)$$

$$v_r^* = 0 \Rightarrow \frac{\partial \psi^*}{\partial z^*} = 0 \quad (32)$$

Eşit. 31 ve 32'den, katı cidarlarda  $\psi^* = \text{sabit}$  olduğu bulunur. Şekil 2'de AB ve GH ele alınan bölgenin başlangıç ve bitiş kesitlerini göstermektedir. Boru giriş ve çıkışlarında akış tam gelişmiş olarak kabul edildiğinden hız dağılımı paraboliktir.

$$v_z = 2 \bar{u} \left( 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right)$$

$$v_z^* = \frac{v_z}{u} \quad \text{ve} \quad r^* = \frac{r}{R} \quad \text{tanımlanarak,}$$

$$v_z^* = 2 \left( 1 - r^{*2} \right) \quad (33)$$

yazılır. Eş. 33 ve 17 kullanılarak Akım Fonksiyonu için AB ve GH sınır şartları bulunur.

$$\Psi_i^* = r_i^{*2} \left( 1 - \frac{r_i^{*2}}{2} \right) \quad (34)$$

Eş. 34 kullanılarak, katı cidarlar ve merkez çizgisi için sınır şartları aşağıda olduğu gibi bulunur.

$$r^* = 1 \Rightarrow \Psi^* = 0.5 \quad (35)$$

$$r^* = 0 \Rightarrow \Psi^* = 0 \quad (36)$$

Girdap ifadesine ait sınır şartlarının bulunması için Eş. 13 kullanılır. Şekil 2'de gösterilen akışın incelendiği bölgenin başlangıç ve bitişinde,

$$\frac{\partial v_r^*}{\partial z^*} = 0 \quad (37)$$

olduğu bilinmektedir. Eş. 37, Eş. 13'de yerine konur ve

$$\omega^* = - \frac{\partial v_z^*}{\partial r^*} \quad (38)$$

bulunur. Bu eşitliğin integrali alınarak girdap için bir ifade elde edilir.

$$\omega_i^* = 4 r_i^* \quad (39)$$

Eş. 39'a göre,

$$r^* = 0 \Rightarrow \omega^* = 0 \quad (40)$$

olur. AB ve GH sınırlarında da Eş. 39'dan faydalanılır. Akış alanının her noktasında akım fonksiyonu için sınır şartları belli iken, girdap için durum farklıdır. Girdap için duvar sınır şartlarının çıkarılması gereklidir. Duvarda girdap sınır şartlarının çıkarılması için Lester'in (7) çalışmasından faydalanılmıştır.

Girdap için duvar sınır şartları:

Yatay duvar için,

$$\omega_{i,j}^* = \frac{\frac{6}{h^2 r_i^*} (\Psi_{i\pm 1,j}^* - \Psi_{i,j}^*) - \frac{r_{i\pm 1}^*}{r_i^*} \omega_{i\pm 1,j}^*}{2 \mp \frac{h}{r_i^*} - \frac{h^2}{4 r_i^{*2}}} \quad (41)$$

Dikey duvar için,

$$\omega_{i,j}^* = \frac{3}{h^2 r_i^*} (\Psi_{i,j\pm 1}^* - \Psi_{i,j}^*) - \frac{1}{2} \omega_{i,j\pm 1}^* \quad (42)$$

olarak verilir. Yukarıdaki Eş. 41 ve 42'de üstteki işaretler alt duvarı, alttaki işaretler üst duvarı ifade etmektedir. Programda yakınsamanın kolay sağlanabilmesi için, ağ üzerindeki bütün noktalara, ağ üzerinde karşılık gelen giriş değerleri atanmıştır. Cidarlardaki noktalara ise yukarıda açıklanan değerler atanmıştır.

Yukarıda izah edilen diferansiyel denklemin çözümü için geliştirilen programın algoritması Şekil 3'te verilmiştir.

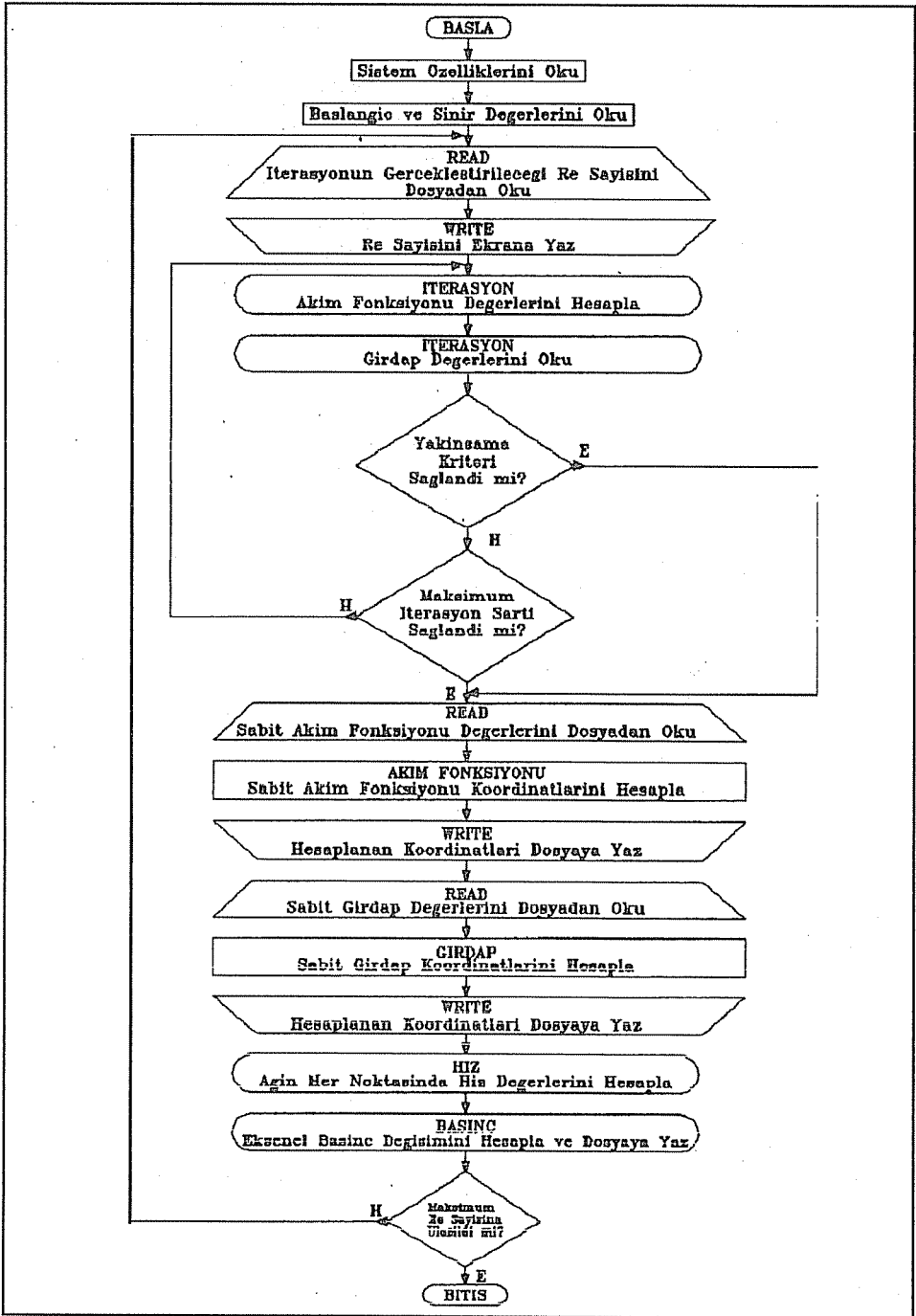
### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada, boru içine yerleştirilmiş olan kare köşeli orifis etrafında akış karakteristikleri  $Re=0-145$  değerleri arasında, değişen orifis kalınlık oranları için hesaplanmıştır. Elde edilen teorik sonuçların Johansen'in (2) deney sonuçları, Nigro'nun (8) deney sonuçları ve Grose'un (9) analitik sonuçları ile mukayesesi yapılmıştır.

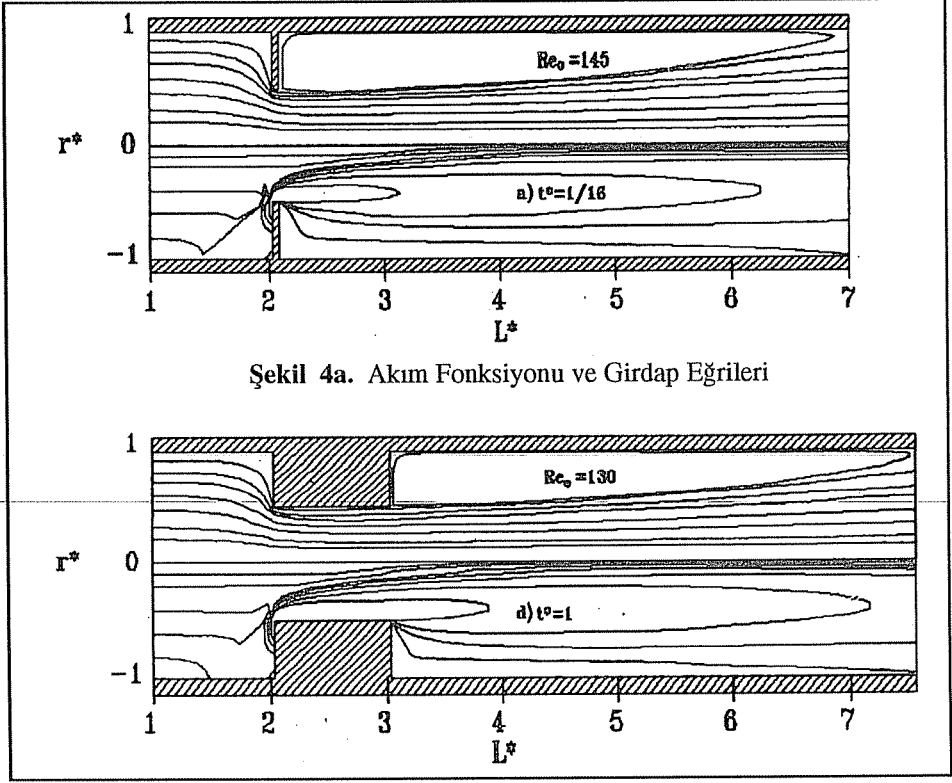
Geliştirilen bilgisayar programı ile çözümler yapılmadan önce sonuca yakınsama hızını görebilmek amacı ile hesap ağının her noktasındaki değerler bir kez sıfır ve bir kez de giriş durumunda karşılık gelen değerler atanarak, iterasyon sayısı izlenmiştir. Hesap ağının her noktasına, karşılık gelen akım fonksiyonu ve girdap değerleri atandığında sonuca daha hızlı ulaşıldığı görülmüştür.

Akım fonksiyonu ve girdap dağılımlarının şekilleri çizilmiştir. Şekil 4'de görüldüğü gibi ele alınan bölgenin başlangıcındaki paralel akım fonksiyonu ve girdap eğrilerinin formu değişmekte, birbirlerine yaklaşmaktadırlar. Orifisin arka kısmında,  $Re=130-145$  için yaklaşık  $4.5 R^*$  uzunluğunda ölü akış bölgesi oluşmaktadır. Orifisin öncesinde, köşe civarında ise girdap için bir kararsızlık görülmektedir. Şekil 4.a ve b'ye bakıldığında,  $t^*=1/16$  için akışın en dar kesitinin orifis dışında,  $t^*=1$  için ise orifis içinde oluştuğu gözlenmiştir.





Şekil.3. Kullanılan Bilgisayar Programının Algoritması



Şekil 4a. Akım Fonksiyonu ve Girdap Eğrileri

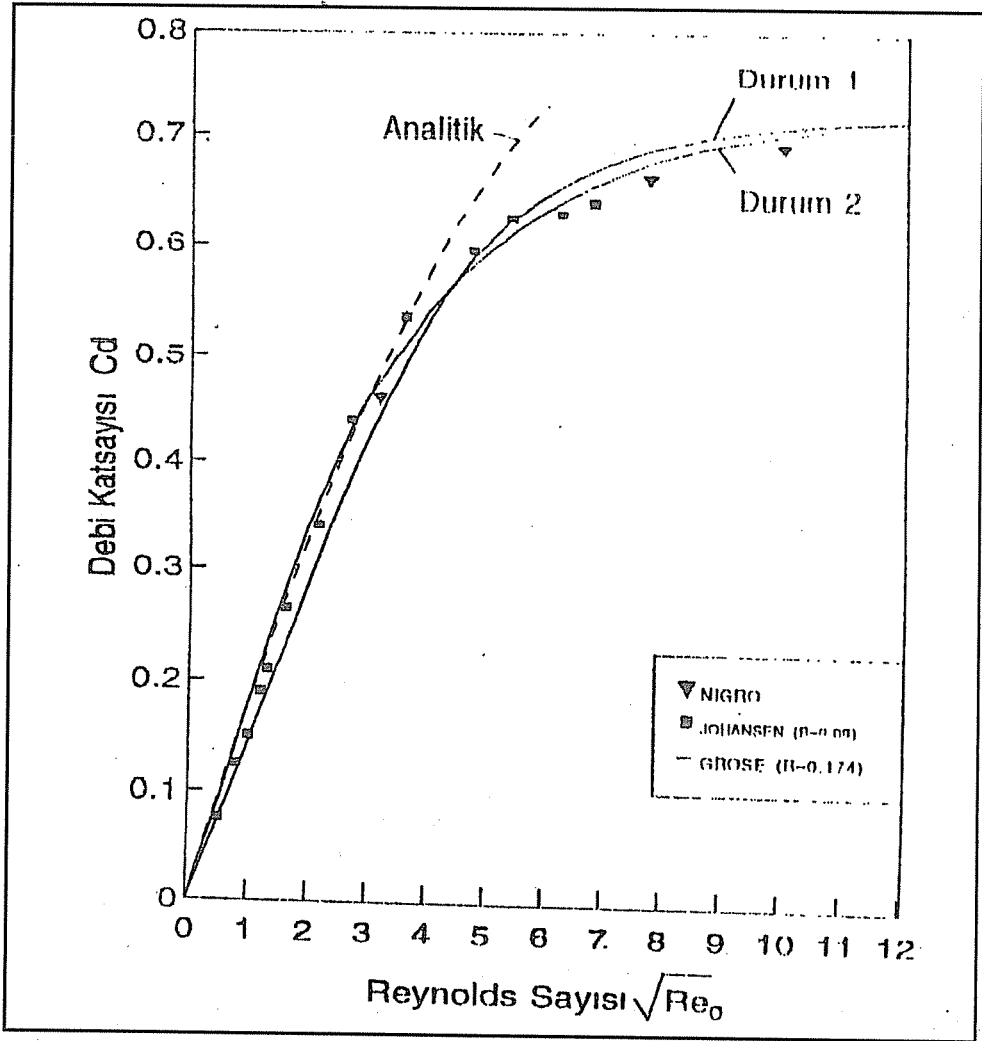
Şekil.4.b. Akım Fonksiyonu ve Girdap Eğrileri

Bernoulli ve süreklilik denklemlerinden faydalanılarak debi katsayısı ifadesi bulunur.

$$C_d = \frac{1}{2\sqrt{2}} \left( \frac{1}{\beta} \right)^2 \left( 1 - \beta^4 \right)^{1/2} \frac{1}{\sqrt{\Delta P^*}} \quad (43)$$

Eşitlik 43 kullanılarak debi katsayıları hesaplanmıştır ve sonuçlar Şekil 5'te verilmiştir.

Yapılan çalışmada elde edilen debi katsayılarının, Johansen (2), Nigro (8) ve Grose'un (9) sonuçları ile uyum içinde olduğu Şekil 5'te görülmektedir. Bu şekilde Durum 1 ve Durum 2 olarak adlandırılan eğriler, D-D/2 ve D-Vena Contracta (En Dar Kesit) prizlerine ait eğrilerdir. Yani, Durum 1 eğrisi, orifisin ön yüzünden D kadar önce ve D/2 kadar sonraki mesafelerde basınç değeri alınarak hesaplanmıştır. Durum 2 eğrisi ise orifis ön yüzünden önce D mesafede ve orifisin ön yüzünden sonra en dar kesitin olduğu noktadaki basınç değerleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil. 5. Debi Katsayısının Reynolds Sayısı ile Değişimi Grafikleri Karşılaştırılması

#### 4. SONUÇLAR

Geliştirilen bilgisayar programı kullanılarak orifis açıklık oranının  $\beta=0.5$  değeri için  $0 \leq Re \leq 145$  aralığında çözümler yapılmıştır. Sonuç olarak akım fonksiyonu ve girdap değerlerinin orifis etrafındaki dağılımları bulunmuş ve bu dağılımlardan faydalanılarak boru boyunca basınç değişimi ve debi katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi incelenmiştir. Hesaplanan bu teorik sonuçlar orifis kalınlığının çapına oranı olan  $t^*=1/16-1$  değerleri için gerçekleştirilmiştir.

Sonlu fark çözümlerinde ağ aralığı küçüldükçe hassasiyet artmaktadır. Yapılan

çalışmada radyal yönde 32 ve aksenal yönde 384 nokta seçilerek çözümler yapılmıştır. Eşit adım seçilmiştir ve ağ aralığı,  $h=1/32$  olarak belirlenmiştir. Çözüm metodu olarak Gauss-Seidel iterasyon metodu kullanılmıştır. Bu çalışmada geliştirilen bilgisayar programı ile Reynolds sayısının  $Re=145$  değerine kadar çözümler yapılabilmiştir. Hesaplanan teorik debi katsayılarının literatürden alınan deneysel debi katsayıları sonuçlarıyla uyum içinde oldukları görülmüştür.

## 5. SEMBOLLER

$\psi$	Akım Fonksiyonu
$\omega$	Girdap
$v_z$	Eksenel Hız
$v_r$	Radyal Hız
$\bar{u}$	Ortalama Hız
$r$	Radyal Koordinat
$z$	Eksenel Koordinat
$t^*$	Orifis Kalınlık Oranı
$\beta$	Orifis Açıklık Oranı
$\nu$	Kinematik Viskozite
$f$	Herhangi Bir Fonksiyon
$L^*$	Boyutsuz Boru Boyu
$C_d$	Debi Katsayısı
$Re$	Reynolds Sayısı
$P$	Basınç
$h$	Sonlu Fark Ağ Aralığı
$D$	Boru Çapı

## 6. KAYNAKLAR

1. Morrison, G.L., De Otte, R.E., Panak, D.L., ve Nail, G.H., *The Flow Field Inside an Orifice Flow Meter*, Chemical Engineering Progress, Vol. 86, pp.75-80, 1990.
2. Johansen, F.C., *Flow Through Pipe Orifices at Low Reynolds Numbers*, Pro. R. Soc., Vol. 126(Series A), 231, 1930.
3. Rouse, H., ve Abul-Fetouh, A., *Characteristics of Irrotational Flow Through Axially Symmetric Orifices*, Journal of Applied Mechanics, pp.421-426, 1950.
4. Mills, R.D., *Numerical Solutions of Viscous Flow Through a Pipe Orifice at Low Reynolds Numbers*, Journal Mechanical Science, Vol. 10, No: 2, pp.133-140, 1968.
5. Greenspan, D., *Numerical Studies of Viscous, Incompressible Flow Through an Orifice for Arbitrary Reynolds Number*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 6, pp.489-496, 1973.
6. Çekici, V., *Orifislerde Düşük Reynoyds Sayılarındaki Akış Karakteristiklerinin İncelenmesi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bil. Enst. Yüksek Lisens Tezi, 1991.

7. Lester, W.G.S., *Some Convergence Problems in the Numerical Solution of the Navier-Stokes Equations, Report and Memoranda Aeronautical Research Committee, No:3239, pp.1-10, 1960.*

8. Nigro, F.B.E., Strong, A.B., Alpay, S.A., *A Numerical Study of the Laminar Viscous Incompressible Flow Through a Pipe Orifice, Journal of Fluids Engineering, Vol. 100, pp.467-472, 1978.*

9. Grose, R.D., *Orifice Flow at Low Reynolds Number, Journal of Pipelines, Vol. 3, pp.207-214, 1983.*



**BAKIRIN ATMOSFERİK KOROZYONUNA KLORÜR İYONU \*  
ETKİSİNİN BAĞIL NEME BAĞLILIĞI****İlyas DEHRİ ve Mehmet ERBİL**

Ç. Ü., Kimya Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** Bu çalışmada bakırın korozyonu üzerine klorür iyonu etkisinin derişime ve bağıl neme bağıllığı araştırılmıştır. Bu amaçla farklı bağıl nemliliklerdeki 0,5 , 1,0 ve 2,0 M lık NaCl çözeltilerinde anodik akım-potansiyel eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan bakırın bütün derişim ve bağıl nemliliklerde akım değerleri denge potansiyelinden 0,150 V daha pozitif potansiyele kadar yaklaşık aynı olurken bu potansiyelden sonra farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Korozyonun klorür iyonu derişimi ve bağıl nemin artması ile arttığı gösterilmiştir.

**DEPENDENCE ON RELATIVE HUMIDITY OF THE EFFECT OF CHLORIDE  
IONS ON THE ATMOSPHERIC CORROSION OF COPPER**

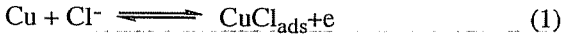
**ABSTRACT :** In this study, the effect of chloride ions on copper under varying concentration and relative humidity has been investigated. For this purpose, anodic current-potential curves have been obtained in 0.5 , 1.0 and 2.0 M NaCl solutions. The results indicated that, in all relative humidities and concentrations the current values of copper has the same until at 0.150 V more positive potential after equilibrium potential, but, current values have been different after this potential. It has been observed that the corrosion of copper has increased by increasing chloride concentration and relative humidity.

\* Bu çalışma Ç.Ü. Araştırma Fonu'na desteklenmiştir (FBE.90.6).

## 1. GİRİŞ

Bakır ve alaşımları, tuz çözeltilerinde korozyona karşı direnç gösterdiklerinden deniz atmosferinde yaygın olarak kullanılmaktadır (1). Bakır ve alaşımlarının klorür ve sülfat çözeltilerinde pasiflik gösterdiği bildirilmektedir (1). Bakırın klorür çözeltisinde Tafel bölgesi yakınlarında  $\text{CuCl}_{\text{ads}}$  şeklinde bir ara ürünün  $\text{CuCl}_2^-$  formuna dönüştüğü gösterilmiştir (2). Elektrod yüzeyinde  $\text{CuCl}_2^-$  nin transfer hızı ise korozyon hızını kontrol etmektedir.

Dolayısıyla  $\text{CuCl}_{\text{ads}}$  metal yüzeyinde kristal tabaka şeklinde bulunurken, ara reaksiyonla klorürün transferi sonucu oluşan  $\text{CuCl}_2^-$  nedeniyle yüzeyde poröz hale gelmektedir ve bu poröz tabaka korozyonun gidişini belirlemektedir. Bu olayla ilgili mekanizma aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:



Klorürlü ortamlarda bakırın elektrokimyasal davranışını inceleyen bir başka araştırmacı (3) klorürlü çözeltide bakırın korozyonunun  $\text{CuCl}_2^-$  şeklinde kompleks oluşarak gerçekleştiğini ve korozyon hızının  $\text{CuCl}_2^-$  nin yüzeyden uzaklaşmasına bağlı olduğunu, düşük klorür derişimlerinde ise yüzeyde çözünmeyen  $\text{CuCl}$  oluşabileceğini belirtmektedir. Klorürlü ortamda pirincin korozyonunun akım-potansiyel eğrileri yardımıyla araştırıldığı bir çalışmada (4) klorür derişiminin artmasıyla çinkonun seçimli korozyonunun arttığı belirtilmektedir. Pirinçteki çözünmenin önce çinkodan başladığı, çinkonun  $\text{ZnCl}_4^{2-}$  şeklinde çözeltiliye geçtiği ve yüzeyde  $\text{ZnCl}_2$  nin çözünürlük çarpımının aşılmasının birinci pasifleşmeye neden olduğu belirtilmektedir. Çinkonun çözünmesi sonucu yüzey bakırca zenginleştiğinde bakırın  $\text{CuCl}_2^-$  şeklinde çözeltiliye geçme potansiyelinde yeniden aktif çözünmenin başladığı ileri sürülmektedir. Seyreltik klorürlü ortamlarda çözünmeyen korozyon ürünlerinin, derişik klorürlü ortamlarda çözünür hale geldiği ileri sürülmektedir.

Bu çalışmada bakırın korozyonuna klorür iyonlarının etkisi potansiyokinetik yöntemle farklı bağıl nemliliklerde araştırılmıştır. Sulu ortamda bağıl nem ayarlaması yapılarak alan testleri şeklinde yapılacak bir çalışmanın laboratuvarda elektrokimyasal yöntemle de yapılabileceği gösterilmiştir.

## 2. DENEYLER

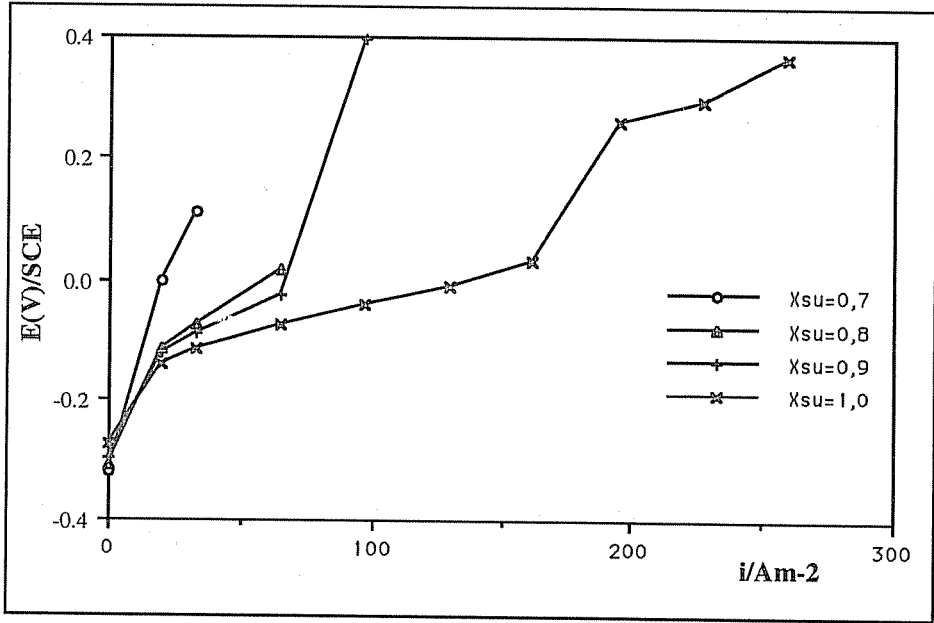
Akım-potansiyel eğrileri 1,3 cm çapında saf bakır çubuktan hazırlanan elektrotla 0,5 ; 1,0 ve 2,0 M lık NaCl çözeltilerinde üç elektrot tekniği ile potansiyokinetik olarak elde edilmiştir. Çözeltilerin bağıl nemi çözelti içine eklenen gliserinle istenilen değere ayarlanmıştır (5). Potansiyostat kullanılarak yapılan deneylerde çalışma elektrodunun



yanı sıra referans elektrod olarak doygun kalomel elektrot, yardımcı elektrot olarak ise platin kullanılmıştır. Çalışma elektrodu deneye başlamadan önce sırası ile 600 ve 800 nolu zımpara kağıdı ile parlatılmıştır. Çalışma elektrodu çözelti içinde 1,5 saat bekletildikten sonra denge potansiyeli tespit edilip bu potansiyelden başlayarak potansiyel pozitif yönde artırılmıştır. 6 mV/dak. hızla sağlanan bu potansiyel değişimi sırasında okunan akım büyüklükleri (mA) elektrod alanına bölünerek akım yoğunluğuna (A.m<sup>-2</sup>) dönüştürülmüştür.

### 3. DENEY SONUÇLARI

Farklı oranlardaki gliserin+su karışımına (X<sub>su</sub>=0,5-1,0) 0,5 mol L<sup>-1</sup> NaCl eklenerek oluşturulan Çözeltilerde (pH=4,5) elde edilen bakırın akım-potansiyel eğrileri Şekil 1 de verilmiştir.



Şekil 1. Farklı oranlardaki gliserin+su karışımına 0,5 mol L<sup>-1</sup> NaCl eklenerek oluşturulan çözeltilerde (pH=4,5) bakırın akım-potansiyel eğrileri.

Şekilden görüldüğü gibi X<sub>su</sub>= 0,7 den daha düşük olan çözeltilerde akım okunamadığından akım-potansiyel eğrileri çizilememiştir.

Çözeltideki suyun mol kesrinin artmasıyla denge potansiyellerinin daha pozitif değerlere kaydığı görülmektedir. X<sub>su</sub>=0,7 olan çözeltide (O) -0,320 V olan denge potansiyeli X<sub>su</sub>=0,8; 0,9 ve 1,0 olan çözeltilerde (sırayla Δ, + ve x işaretli eğriler) sırasıyla -0,310 V, - 0,298 V ve -0,276 V olmaktadır. X<sub>su</sub>=0,7 ve 0,8 olan çözeltilerde

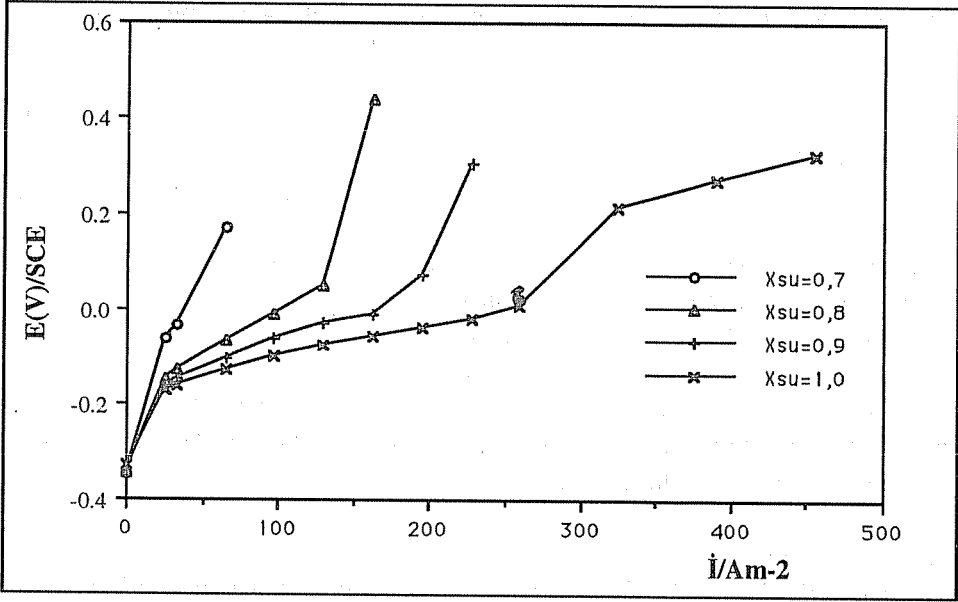
denge potansiyelinden itibaren potansiyelin anodik yönde arttırılmasıyla akımın fazla artmadığı görülürken (Bu çözeltilerde direnç faktörü etkin olduğundan IR düşmesinden dolayı daha yüksek potansiyellere çıkılamamıştır)  $X_{su}=0,9$  olan çözeltide yaklaşık 0,0 V potansiyele kadar arttığı ve bu potansiyelden itibaren yaklaşık sabit kaldığı görülmektedir.  $X_{su}=1,0$  olan çözeltide yine yaklaşık 0,0 V potansiyele kadar akım artması hızlı iken daha sonra artış azalmaktadır.

1,0 mol  $L^{-1}$  NaCl eklenerek aynı pH da elde edilen çözeltideki bakırın akım-potansiyel eğrileri Şekil 2 de verilmiştir.

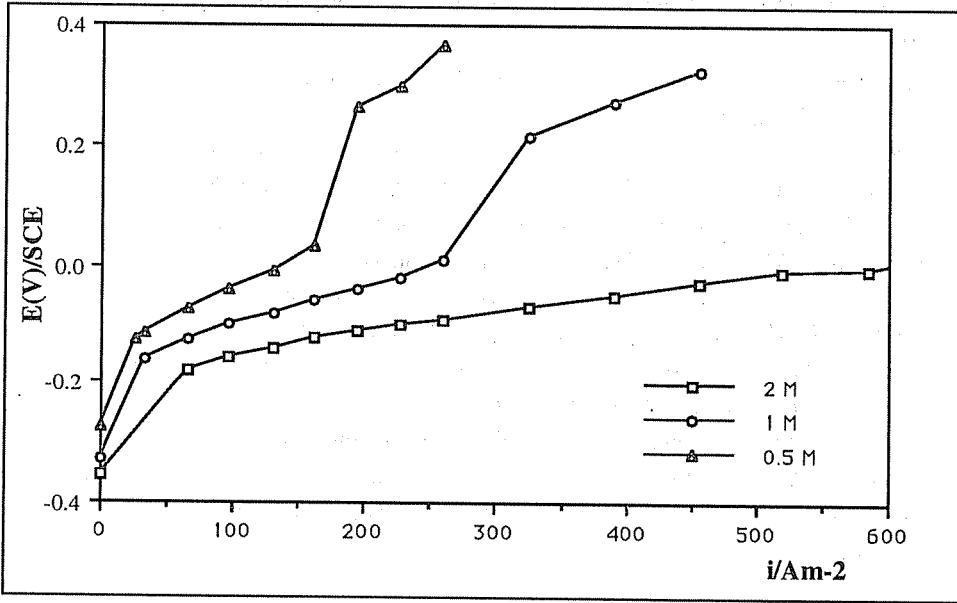
Şekil 2 deki eğrilerin görünümü Şekil 1 deki eğrilerin görünümüyle aynıdır. Fakat belirli bir sabit potansiyeldeki akım değerleri farklıdır. Örneğin  $X_{su}=0,7$  olan çözelti (O)  $-0,5$  mol  $L^{-1}$  NaCl içerdiğinde 0,100 V potansiyeldeki akım  $15$   $A.m^{-2}$  olurken NaCl derişimi 1,0 mol  $L^{-1}$  olduğunda  $20$   $A.m^{-2}$  olmaktadır (Şekil 1 ve 2 den). Aynı potansiyelde  $X_{su}=1,0$  olan çözeltide (x)  $0,5$  mol  $L^{-1}$  ve  $1,0$  mol  $L^{-1}$  NaCl derişiminde akım değerleri sırayla  $75$   $A.m^{-2}$  ve  $100$   $A.m^{-2}$  dir (Şekil 1 ve 2). Şekil 3 de verilen  $X_{su}=1,0$  olan ve farklı derişimlerde NaCl içeren çözeltilerdeki akım-potansiyel eğrilerinde,  $-0,100$  V da 2 M NaCl ( $\square$ ) çözeltisindeki akım değerinin  $227$   $A.m^{-2}$  olduğu görülmektedir. Aynı bağıl nemde  $0,5$  M ( $\Delta$ ),  $1,0$  M (O) ve  $2,0$  M ( $\square$ ) NaCl çözeltilerinde  $-0,100$  V daki akım değerleri derişimin artması ile artarken, derişimin  $2,0$  M olmasıyla birlikte akımdaki artış hızlanmaktadır.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

pH=4,5 olan  $0,5$  ve  $1,0$  M NaCl içeren farklı bileşimdeki çözeltilerde elde edilen anodik akım-potansiyel eğrileri sırayla Şekil 1 ve 2 de verilmiştir. Şekil 3 de ise  $X_{su}=1,0$  olan farklı derişimlerdeki NaCl çözeltilerinde elde edilen akım-potansiyel eğrileri görülmektedir. Şekil 1 ve 2 incelendiğinde her iki derişimdeki çözeltilerde de bakırın anodik çözünmesinin korozyon potansiyelinden yaklaşık  $0,150$  V daha pozitif potansiyelde başladığı görülmektedir. Bu potansiyelden sonra başlayan anodik çözünme ise çözeltideki suyun mol kesrine ve NaCl ün derişimine bağılı olmaktadır. Bakırın korozyon potansiyeli civarında bütün derişimlerde anodik olarak çözünmemesi Çundwell ve Kabasakaloğlu nun ileri sürdükleri, klorür iyonunun metal yüzeyinde adsorplanarak  $CuCl_{ads}$  şeklinde kristal yapıda bir tabaka oluşturarak yüzeyi koruduğu görüşü ile uygunluktur. Korozyon potansiyelinden yaklaşık  $0,150$  V daha pozitif potansiyelde bakırın anodik olarak çözünmeye başlaması ise yine aynı araştırmacıların  $CuCl_{ads}$  tabakasının  $CuCl_2^-$  formuna dönüşerek yüzeyden uzaklaştığı ve korozyon hızının da  $CuCl_2^-$  nin transfer hızına bağılı olduğu görüşünü desteklemektedir. Pozitif potansiyelerde anodik akım yoğunluğu değerlerinin çözeltideki suyun mol kesrine bağılı olarak artması ise, yüksek bağıl nemliliklerde  $CuCl_2^-$  kompleks iyonunun yüzeyden transfer hızının artmasıyla açıklanabilir. Bu sonuçlar klorür iyonunun bakır için korozyon potansiyeli yakınlarında korozif olmadığını, ancak korozyon potansiyelinden yaklaşık  $0,150$  V daha pozitif potansiyellere polarize olmuş bakır için



Şekil 2. Farklı oranlardaki gliserin+su karışımına 1,0 mol L<sup>-1</sup> NaCl eklenerek oluşturulan çözeltilerde (pH=4,5) bakırın akım-potansiyel eğrileri.



Şekil 3. Farklı derişimlerde NaCl içeren çözeltilerde bakırın akım-potansiyel eğrileri.

korozif olabileceğini göstermektedir. Bakırın çalışılan ortamlardaki korozyon davranışı bağıl nem faktörüne bağlı olarak, sulu çözeltideki davranışları ile paralellik göstermektedir.

## 5. SONUÇLAR

1. Anodik akım-potansiyel eğrilerine göre korozyon potansiyeli dolayında yüzey pasiftir.
2. Sonuçlar korozyon potansiyeli civarında oluşan kristal yapılı  $\text{CuCl}_{\text{ads}}$  nin yüzeyi kapattığı şeklindeki görüşleri doğrular niteliktedir.
3. Pozitif potansiyelerde akım yoğunluğunun artmasının  $\text{CuCl}_{\text{ads}}$  nin  $\text{CuCl}_2^-$  şeklinde yüzeyden uzaklaşmasından kaynaklandığı sanılmaktadır.
4. Bakırın korozyonunun klorür derişimi ve bağıl neme bağılı olduğu belirlenmiştir.
5. Bakırın atmosferik korozyonu, bağıl nem arttıkça sulu ortamlardaki korozyon davranışlarına uyar hale gelmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Crundwell, F.K., *The Anodic Dissolution of Copper in Hydrochloric Acid Solutions*, *Electrochimica Acta*, 38, 2/3, 319-324., 1992.
2. Kabasakaloğlu, M., *Klorürlü Ortamda Bakırın Elektrokimyasal Davranışı*, *Korozyon*, 3, 2, 43-48., 1991.
3. Kabasakaloğlu, M., *Klorürlü Ortamda Pirincin Korozyonu*, *Korozyon*, 3, 1, 23-27, 1991.
4. Graedel, T.E., *Copper Patinas Formed in the Atmosphere-II. A Qualitative Assesment of Mechanisms*, *Corr.Sci.*, 27, 7, 721-740., 1987.
5. Dehri, İ., Yazıcı, B., Erbil, M., Galip, H., *The Effects of SO<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub> on the Corrosion of Galvanized Iron Sheet*, *Corr. Sci.*, 36, 12, 2181-2191, 1994.
6. Crundwell, F.K., *The Anodic Dissolution of 90% Copper-10% Nickel Alloy in Hydrochloric Acid Solutions*, *Electrochimica Acta*, 36, 14, 2135-2141., 1991.
7. Graedel, T.E., Franey, J.P., Kammlott, G.W., *The Corrosion of Copper by Atmospheric Sulphurous Gases*, *Corr.Sci.*, 23, 11, 1141-1152., 1983.
8. Haagenrud, S.E., *Atmospheric Corrosion of Zinc as Measured by an Electrochemical Technique*, *Werkstoffe und Korrosion*, 31, 543-550. 1980.
9. Hodges, L., *Environmental Pollution*, Holt Rinehart and Winston Inc. London., 1973.
10. Johnson, B.J., Elliott, P., Winterbottom, M.A., Wood, G.C., *Short-Term Atmospheric Corrosion of Mild Steel at Two Weather and Pollution Monitored Sites*, *Corr. Sci.*, 691-700., 1976.

## SYNTHESIS OF A NOVEL CATALYST FOR ORGANIC REACTIONS IN AQUEOUS MEDIA

Osman SERİNDAĞ

Çukurova University, Chemistry Department, Adana/Türkiye

Raymond D.W.KEMMİTT

Leicester University, Chemistry Department, Leicester/England

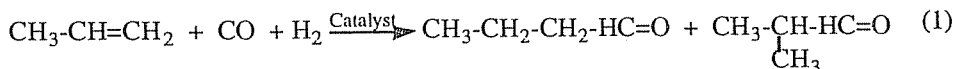
**ABSTRACT:** The use of organometallic compounds in hydrogenation and hydroformylation reactions of olefines as catalyst has been accelerated by applying new class of water soluble phosphine-metal complexes. In the present work, treatment of diphenylphosphine with formaldehyde in the presence of sodium N, N'-ethylenediaminediacetate performed a novel phosphine  $[Ph_2PCH_2N(CHCOONa)CH_2]_2$ , which might potentially dissolve in water or in aqueous media. The phosphine has been characterised by using  $^{31}P\text{-}\{H\}$  NMR and mass spectroscopy techniques and also by microanalytical data. The water soluble platinum(II) complexes of the phosphine ligand has also been synthesised and characterised in similar manner.

## SULU ORTAM ORGANİK TEPKİMELERİ İÇİN YENİ BİR KATALİZÖR SENTEZİ

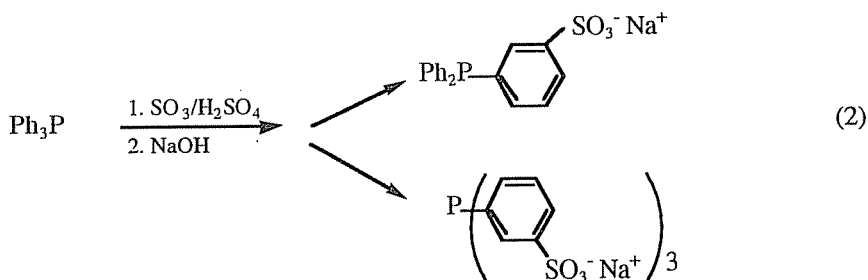
**ÖZET:** Organometalik bileşiklerin olefinlerin hidrojenasyon ve hidroformilasyon tepkimelerinde katalizör olarak kullanımları, suda ve sulu ortamda çözünebilen metal fosfin bileşiklerinin bu alanda uygulamaya girmesiyle yeni bir hız kazanmıştır. Bu çalışmada, difenil fosfinin sodyum N, N'-etilendiaminediasetat varlığında formaldehit ile etkileştirilmesi sonucu, suda veya sulu ortamda çözünebilecek yapıda yeni bir fosfin ligandı elde edilmiştir,  $[Ph_2PCH_2N(CHCOONa)CH_2]_2$ . Bileşiğin yapısı  $^{31}P\text{-}\{H\}$  NMR ve kütle ve spektroskopisi teknikleri ve elementel analiz verileri kullanılarak karakterize edilmiştir. Sentezlenen fosfinin ligandının suda çözünebilen platin (II) kompleksi hazırlanarak aynı yöntemlerle yapısı aydınlatılmıştır.

## 1. INTRODUCTION

The growing interest in the usage of organometallic compounds in organic synthesis as catalyst have been rapidly developed in the last three decades. Among the organometallics, the tertiary phosphine metal complexes are of interest since the electronic and stereochemical structure of the phosphines are effective on the reaction product. The tertiary phosphines shown as  $PR_3$  where R= alkyl or aryl, are named as mono-, di- and tridentate depending on the number of phosphorus atoms. Recently, studies on the phosphines have been focused on the synthesis of water soluble phosphines or their metal complexes of which usage as catalyst in hydrogenation or hydroformylation reactions of olefines might potentially provide benefits from the environmental and energy point of view (1, 2). When water or aqueous solvent systems are used in such reaction instead of organic solvents the costs, health and the explosion risks of the process could be minimised. The first industrial application of water soluble phosphines was performed by Ruhr Chemie and Rhone-Poulenc companies in 1984 to obtain n-butyraldehyde 100000 ton/year which is an essential compound in the produce of raw material in plastic industry (3) according to following reaction:



The water soluble phosphines are usually obtained via the introduction of highly polar functional groups such as sulphonates, carboxylic acids, hydroxides or amines (4). In 1958 Chatt synthesised the triphenylphosphine mono sulphonate to investigate stability constants of silver compounds of this phosphine together with aniline, arsine and other phosphine ligands. The transition metal complexes derived from sulphonated phosphines were later found to be catalytically active in homogenous olefin hydrogenation and hydroformylation reactions in water (5). A series of water soluble phosphines were derived from N, N-bis(diphenylphosphinoethyl)amine by reactions with molecules which contained hydrophilic ends like sulphonate or hydroxyl groups (6).



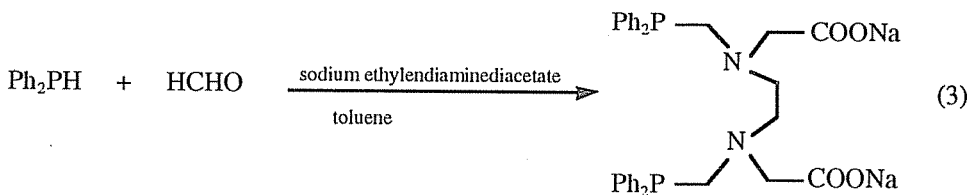
Triphenylphosphine m-trisulphonate, (TPPTS), Equation (2), has been technically

used as a metal complex in industrial processes since 1984 (3). In the 1980's, catalytic hydrogenation and hydroformylation reactions were increasingly examined particularly with chiral phosphine-metal complexes. The same reactions were investigated using two phase solvent systems with novel chiral sulphonated phosphines (7) which were prepared by sulphonation of known chiral phosphines.

The wide variety use and the importance of the water-soluble phosphines prompted our interest in aminomethylphosphine (8, 9, 10) to work on the synthesis of novel water-soluble aminomethylphosphines .

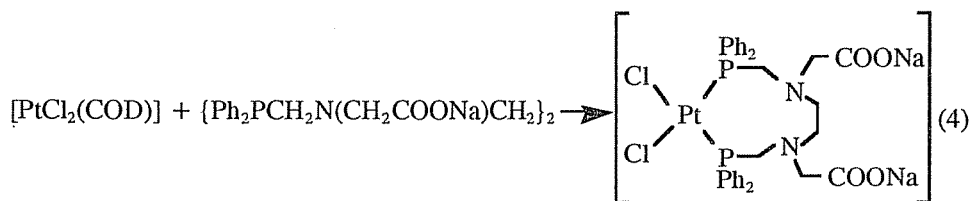
## 2. RESULTS AND DISCUSSION

In the present work in order to obtain novel water soluble phosphine or its transition metal compound, sodium salt of ethylenediaminediacetate was treated with diphenylphosphine in the presence of formaldehyde in toluene, Equation (3), to give aminomethylphosphine ( $\text{Ph}_2\text{PCH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{COONa})\text{CH}_2)_2$ . The new phosphine ligand was isolated as a solid from toluene/methanol at  $-20^\circ\text{C}$  together with its phosphine oxide which is also insoluble in common organic solvents.



Although the ethylenediamine derivatives of aminomethylphosphines similar to prepared compound are known (11), the novel carboxylic acid derivative type could have different chemical and physical properties which might allow it to dissolve in aqueous media. As it is seen from Equation (3), the phosphine might also form large chelating complexes with transition metals. The product was determined only by its  $^{31}\text{P}\{-1\text{H}\}$  NMR spectrum due to the air sensitivity of the ligand. The spectrum shows a singlet at  $\delta = -26.18$  ppm in aqueous ethanol whereas in toluene it shows a singlet at  $\delta = -28.18$  ppm .

Treatment of the ethylenediaminediacetate functionalised phosphine ligand with  $[\text{PtCl}_2(\text{COD})]$  in dichloromethane at room temperature afforded metal complex which was isolated as a white powdery solid on addition of diethylether in good yield and formulated as  $[\text{PtCl}_2\{(\text{Ph}_2\text{PCH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{COONa})\text{CH}_2)_2\}]$ , Equation 4. The metal complex obtained in this manner is soluble in water , ethanol and also in other polar organic solvents. The platinum (II) complex was characterised by its  $^{31}\text{P}\{-1\text{H}\}$  NMR, IR and mass spectra and microanalytical data.



The  $^{31}\text{P}$ -{ $^1\text{H}$ } NMR spectrum of the complex solution exhibits a singlet at  $\delta = -8.95$  ppm with a  $^{195}\text{Pt}$ - $^{31}\text{P}$  coupling constant of 3415 Hz which is in agreement with those of the dichloride complexes (12). The infrared spectrum of the complex shows C=O band at  $1585\text{ cm}^{-1}$  assigned to COONa group. The C=O vibration is at lower frequency when compared with free carboxylic acid. Thus, it is indicative for existence of sodium acetate (13). The spectrum also shows aromatic and aliphatic C-H vibrations at 3100 and  $2780\text{--}2980\text{ cm}^{-1}$ , respectively. The  $[\text{M}^+ - \text{Cl}]$  ion peak of the complex is observed at 847. The peak at 780 is assigned to the group [molecular ion - COONa]. The characteristic  $\text{Ph}_2\text{PCH}_2^+$  ion is present at 199.

### 3. CONCLUSION

A potentially water-soluble phosphine was obtained by treating the mixture of diphenylphosphine and formaldehyde with sodium ethylenediammine diacetate in toluene. Coordination of that phosphine to platinum(II) produced nine-membered chelating platinum (II) complex in good yield. The existence of ionic and hydrophilic end of the complex exhibits water solubility which is an important property in terms of the catalytic applications of such compounds in hydrogenation and hydroformylation reactions of olefines. The phosphine and its platinum (II) complex have been characterised by the spectroscopic methods and microanalytical analysis.

### 4. EXPERIMENTAL

The reported phosphine and its platinum(II) complex were characterised using micro analytical, NMR, IR and mass spectroscopic techniques, where appropriate. Microanalysis were carried out by Butterworth Laboratories Ltd., 54-56 Waldegrave Rd., Teddington, Middlesex, TW11 8LG. The melting point of the complex was recorded on a Reichert hot-stage apparatus and are not corrected. The mass spectra of the solid phosphine and the metal complex were obtained on a Kratos Concept Double Focusing Sector Mass Spectrometer. The  $^{31}\text{P}$  NMR were recorded in dichloromethane on a JEOL EM390 spectrometer operating at 36.24 MHz. with 85%  $\text{H}_3\text{PO}_4$  in [ $^2\text{H}_1$ ]-water (0.0 ppm.) as external reference, with positive values to high frequency (low field). The coupling constants, J, are in Hz. The IR spectra were recorded on a Bio-Rad FTS 40 FTIR spectrophotometer as KBr discs.

The preparations were carried out under a dry, oxygen free nitrogen atmosphere. The



solvents dichloromethane, diethyl ether, toluene were dried and distilled under nitrogen prior to use from the following drying agents: dichloromethane (calcium hydride); diethyl ether (sodium wire/benzophenone); toluene (sodium). The compounds diphenylphosphine, triethylamine, ethylenediaminediacetic acid, were used as supplied from Aldrich. Formaldehyde was supplied from commercial sources and the starting platinum compound  $[\text{PtCl}_2(\text{COD})]$  was prepared as reported in the literature (14).

#### Synthesis of $[\text{Ph}_2\text{PCH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{COONa})\text{CH}_2]_2$

An aqueous solution of ethylenediammine N, N'-diacetic acid sodium salt (0.270 g, 1.23 mmol) was added to a stirred mixture of diphenylphosphine (0.457 g, 2.45 mmol) and excess aqueous formaldehyde in toluene. The reaction mixture was refluxed for 3h. A white precipitate formed. The solvent volume was then reduced in vacuo and the mixture was kept at  $-20^\circ\text{C}$  for two days. The white solid was filtered off under a nitrogen atmosphere and dried in vacuo. Yield 0.145g. The product contained some phosphine oxide. NMR:  $^{31}\text{P}\{-1\text{H}\}$  (36.24 MHz)  $\delta = -28.18$  and  $+30.5$  ppm.

#### Synthesis of $[\text{PtCl}_2\{(\text{Ph}_2\text{PCH}_2\text{N}(\text{COONa})\text{CH}_2)_2\}]$ , $[\text{PtCl}(\text{dp-eddc})]$

A solution of the phosphine (0.065 g, 0.11 mmol) in dichloromethane was added to a stirred solution of  $[\text{PtCl}_2(\text{COD})]$  (0.039 g, 0.1 mmol) in dichloromethane (10  $\text{cm}^3$ ). The mixture was stirred for a further 1h. The product was precipitated with diethyl ether, filtered off and dried. Yield 0.060 g (66 % based on Pt). M.p:  $225^\circ\text{C}$  (decomp) (Found: C, 47.2; H, 3.74; N, 2.38.  $\text{C}_{32}\text{H}_{32}\text{Cl}_2\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_4\text{P}_2\text{Pt}$ .  $\text{C}_7\text{H}_8$  requires: C, 48.0; H, 3.80; N, 2.87).  $^{31}\text{P}\{-1\text{H}\}$  NMR.:  $\delta = -8.95$  [J(PPt) 3415 Hz] ppm. IR:  $\nu(\text{C-H arom.})$  3100,  $\nu(\text{C-H aliph.})$  2780-2970,  $\nu(\text{C=O})$  1585  $\text{cm}^{-1}$ . Mass spectrum: m/z; 874, (M+860), 847  $[\text{PtCl}(\text{dp-eddc})]$ , 780  $[\text{M}+\text{-COONa}]$ , 630  $[\text{Pt}\{(\text{Ph}_2\text{PCH}_2\text{N}(\text{CH}_2)\text{CH}_2)_2\}]$ , 199  $[\text{Ph}_2\text{PCH}_2]$ .

## 5. REFERENCES

1. J. Haggin, *Aqueous Media Offer Promises and Problems in Organometallic Catalysis*, C & EN, 10, 28-36, 1994.
2. E. G. Kuntz, *Homogeneous Catalysis in Water*, Chemtech, 570-575, 1987.
3. H. Bahrman, H. Bach, *Water - Soluble Phosphines As Ligands For Hydroformylation Catalysts*, Phosphorus and Sulfur, 30, 611-614, 1987.
4. T. Okano, Y. Moriyama, H. Konishi and J. Kiji, *Counter Phase Transfer Catalysis by Water- soluble Phosphine Complexes*, Chemistry Letters, 1463-1466, 1986.
5. E. G. Kuntz, Ger.-Patent, DE 2627354B2, 1976.
6. A.L. Casalnuova and J. C. Calabrese, *Palladium Catalysed alkylations in Aqueous Media*, J. Am. Chem. Soc., 112, 4324-4330, 1990.

7. R. G. Nuzzo, D. Feitler, G. M. Whitesides, *Water-Soluble Complexes of Tertiary Phosphines and Rh(I) as Homogeneous Catalysts*, *J. Am. Chem. Soc.*, 101, 3683-3685, 1979.

8. J. Fawcett, R.D.W. Kemmit, D.R. Russel, O. Serindag, *Zerovalent Palladium and Platinum Complexes of Aminomethylphosphines*, *J. Organomet. Chem.*, 486, 171-176, 1995.

9. O. Serindağ, *Synthesis of Crown Ether Functionalised Phosphine and Its Ni(II), Pd (II) and Pt(II) Complexes*, *Synth. React. Inorg. Met.-Org. Chem.*, 2, 1995.

10. O. Serindağ, *Synthesis of Some Pt(II) Diphosphine Complexes*, *Synth. React. Inorg. Met.-Org. Chem.* (in press).

11. S. O. Grim, D. P. Shah and L.Z. Matienzo, *Inorg. Chem.*, 19, 2475-2481, 1980.

12. O. Serindag, *Ph.D Thesis, Leicester University, Leicester, UK, 1993.*

13. L. J. Bellamy, *The Infrared Spectra of Complex Molecules*, Chapman and Hall, London, 1975.

14. J. X. McDermott, J.F. White and G.M. Whitesides, *Olefin Complexes of Platinum (II)*, *J. Am. Chem. Soc.*, 98, 6521-6529, 1976.

## TABİİ KISITLAYICILARDA (ORİFİS/KILCAL BORU) KÜÇÜK REYNOLDS SAYILARINDAKİ AKIŞIN DENEYSEL ANALİZİ

Suat CANBAZOĞLU ve Fazıl CANBULUT

Erciyes Ü., Makina Mühendisliği Bölümü, Kayseri / Türkiye

**ÖZET :** Hidrolik sistemlere pompalanan yağ debisini kısıtlayan direnç elemanları olarak, hidrolik direnci ayarlanabilen vanalar ile hidrolik direnci sabit tabii kısıtlayıcılar (orifis plaka ve kılcal boru) kullanılmaktadır. Orifis ve kılcal borudan geçen küçük Reynolds sayılarındaki akışın debisi esas olarak kısıtlayıcı geometrisine, basınç farkına, akışkanın fiziksel özelliklerine ve yağ sıcaklığına bağlıdır. Bu çalışmada literatürde fazla bilgiye rastlanmayan küçük Reynolds sayılarında ve esas itibarıyla daimi olmayan akışlar için farklı geometrilerdeki orifis ve kılcal boruların akış katsayıları; Reynolds sayısı, basınç katsayısı, orifis/boru çapı oranı ve kılcal boru uzunluk/çap oranı gibi boyutsuz parametrelerin fonksiyonu olarak deneysel yolla belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla değişik sıcaklık ve basınçta yağ sisteme pompalanarak, orifis ve kılcal borular için elde edilen sonuçların karşılaştırılmaları yapılmıştır.

### THE EXPERIMENTAL ANALYSIS OF FLOW WITH LOW REYNOLDS NUMBERS IN NATURAL THROTTLETS (ORIFICE/CAPILARY TUBE)

**ABSTRACT :** The valves having adjustable hydraulic resistance and natural throttlers or compensating elements such as orifice and capillary tube having constant hydraulic resistance, as the elements reducing the flow rate of oil pumped into hydraulic systems are used. The flow rate through orifice and capillary tube in low Reynolds numbers is basically as a function of throttler's geometry, pressure difference, physical properties of fluid and oil temperature. In the present experimental study, the flow coefficients of orifices and capillary tubes having different geometries in the unsteady flow conditions having low Reynolds numbers which can't found sufficient knowledge in literature was struggled to define as a function of dimensionless parameters such as Reynolds number, pressure coefficient, the ratio of orifice diameter to pipe diameter and the ratio of the capillary tube length to capillary tube diameter. For this purpose, the hydraulic oil in different temperature and pressure was pumped into system. In addition, the experimental results for orifices and capillary tubes were compared.

## 1. GİRİŞ

Genel olarak hidrostatik yataklara pompalanan yağ bir cebe gönderilmekte olup, kızaklarda ve radyal yataklarda ise birden fazla cep kullanılmaktadır (1). Çok cepli sistemlerde bir tek pompa kullanıldığında ceplere etkiyen yatak yükleri farklı ise bu fark nedeniyle bir tek yatak çalışır. Bu sakıncayı önlemek için ya her cebe ayrı birer pompa bağlanabilir ya da tek pompadan basılan basınçlı yağ orifis veya kılcal boru gibi tabii kısıtlayıcı elemanlardan geçirilerek ceplere gönderilir (1). Birinci çözüm pahalı ve karışık olduğundan pratikte genellikle ikinci yöntem kullanılır. Bu halde her iki yatak farklı yüklerle maruz kalsa bile, direnç elemanlarının akışı kısarak basınç dağılımını denkleştirici etkisiyle büyük kuvvetin tesirindeki cebdeki basınç büyür ve yatakların çalışması mümkün olur. Ayrıca kısıtlayıcılar yatak aralığının küçük olduğu aralıklarda basıncı büyütüp yatağın eğilmesini önleyerek, yataklarda metal-metal sürtünmelerine engel olurlar.

Hidrolik sistemlere pompalanan yüksek basınçtaki yağ çeşitli amaçlarla hidrolik direnç elemanları olan ayarlı vanalar ve tabii kısıtlayıcılar (orifis ve kılcal boru) yardımıyla kısıtlanarak debisinin azaltılması gerekebilir (2). Debi ayarı ile hız kontrolü da yapılmış olur. Pompa debisini ayarlamak her zaman mümkün olamayacağından, hidrolik silindire ve motora veya hidrostatik bir yatağa giden hidrolik yağın debisini ayarlamak gerekir (3). Bu amaçla hidrolik direncin kısılma miktarıyla ayarlanabilen vanalar ve hidrolik direnci sabit olan tabii kısıtlayıcılar (orifis ve kılcal boru) kullanılmaktadır (1). Ayarlı vanalar çalışma kabiliyeti bakımından tabii kısıtlayıcılardan üstündürler. Ancak sabit ve ucuz olmalarından dolayı endüstride tabii kısıtlayıcılar daha çok kullanılmaktadır. Tabii kısıtlayıcılardaki akış temelde daimi olmadığından deneysel bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Poiseuille (4), çok küçük çaplı kılcal borulardaki sıvı akımını deneysel olarak incelemiş ve küçük çaplı tüplerin kılcallık özelliği göstermeleri için uzunluk/çap oranı ( $L/d$ )'nın 20'den büyük veya eşit olması gerektiğini ifade etmiştir. Raimondi ve Boyd (5), hidrostatik yatakların performansı üzerinde dış devrenin (orifis ve kılcal boru) rolünü incelemiştir. Malonoski ve Loeb (6), orifis, kılcal boru ve akış denetim valflerinin hidrostatik yataklarda önemli bir parametre olan ve yük-film kalınlığı (çökme) eğrisinin eğimi olarak tanımlanan yatak rijitliği üzerindeki etkilerini teorik olarak incelemişlerdir. Koç (7) aksel pistonlu pompalarda hidrostatik kayıcı pabuç yatak davranışını ve orifis büyüklük etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Hooke, Hajihosseainloo ve Walton (8), silindir-piston aralığındaki annular (halka kesitli) orifis olarak ifade edilen farklı geometrideki orifislerde Re sayısının 500-4000 aralığındaki akış şartlarında, debi katsayısının Re sayısının fonksiyonu olarak değişimini, Şahin ve Çekici (9) ise Orifis plakalarda debi ölçümü için bir deney düzeneğinin tasarımı ve imalatını yaparak akış ve debi katsayılarının  $500 \leq Re \leq 30000$  aralığındaki Reynolds sayılarında değişimlerini incelemişlerdir.

Literatürde daha çok orifis ve kılcal borulardaki orta yüksek Reynolds sayılarında ( $Re \geq 500$ ) akış şartları için deneysel bilgiler bulunmaktadır. Küçük Re sayılarındaki ( $Re \leq 500$ ) akış için yeterli deneysel bilgiler bulunmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada küçük Re sayılarındaki ( $10 \leq Re \leq 650$ ) akış deneysel olarak incelenecektir.

## 2. BOYUT ANALİZİ

Bir orifisi veya kılcal boruyu geçen ve ortalama olarak daimi olan laminar akışın ortalama gerçek debisi  $Q_g$ ,

$$Q_g = f(V, d, D, L, \rho, \mu, \Delta P) \quad (1)$$

ifadesiyle tanımlanabilir. Burada V orifisi veya kılcal boruyu geçen akışın ortalama akış hızını, d orifis veya kılcal boru çapını, D kısıtlayıcı öncesi boru çapını, L orifis plaka kalınlığını veya kılcal boru uzunluğunu,  $\rho$  akışın yoğunluğunu,  $\mu$  akışkanın dinamik vizkositesini ve  $\Delta p$  ise orifis veya kılcal borudaki statik basınç farkını göstermektedir. Bu değişkenler arasında boyut analizi yapılırsa,

$$Q_g / (d^2 (\Delta p / \rho)^{1/2}) = f(\rho V d / \mu, d/D, L/d, \Delta p / \rho v^2) \quad (2)$$

boyutsuz ifadesi elde edilir. Denklemin sol tarafının paydasındaki  $d^2$  terimi alan boyutunda olup, yerine  $(\pi d^2)/4$  yani orifis veya kılcal boru için akışa dik kesit alanı alınabilir, ayrıca parantez içerisi 2 katsayısı ile çarpılabilir. Benzer şekilde denklemin sağ tarafındaki son terimin paydası 1/2 ile çarpılırsa dinamik basınç elde edilir. Bu düzenlemeler yapılırsa (2) denklemi,

$$C = Q_g / ((\pi d^2 / 4) (2 \Delta p / \rho)^{1/2}) = f(Re, d/D, L/d, C_p) \quad (3)$$

akış katsayısı C'nin; Reynolds sayısı Re, kısıtlayıcı çapı/boru çapı oranı, kısıtlayıcı uzunluk/çap oranı ve basınç katsayısı  $C_p$ 'nin fonksiyonu şeklinde ifadesi haline dönüşür. Burada tanımlanan akış katsayısı C; debi katsayısı, daralma katsayısı ve orifis/kılcal boru kesit alanının boru kesit alanına oranının fonksiyonu olarak da ifade edilebilmektedir (9). Gerçek debiyi belirlemedeki pratik kullanım kolaylığı açısından bu çalışmada akış katsayısı kullanılmıştır.

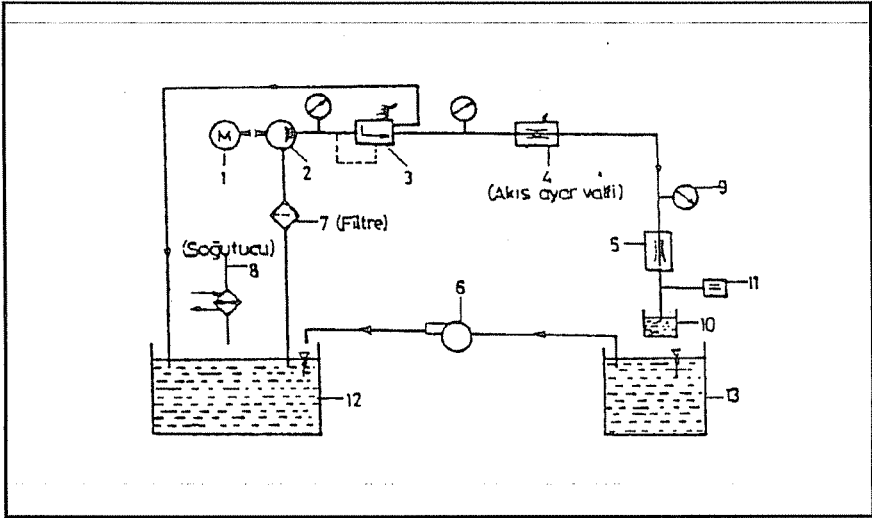
## 3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE DENEY DÜZENEGİ

Deneysel Şekil-1'de hidrolik devre şeması görülen sistem kullanılmıştır (10). (1) nolu elektrik motoru ile tahrik edilen (2) nolu hidrostatik pompayla (1) nolu ana depodan Shell Tellus-33 hidrolik yağı emilmiş ve (3) nolu basınç denetim valfiyle sistemdeki basınç ayarlaması yapılmıştır. (5) nolu tabii kısıtlayıcı (orifis veya kılcal boru) girişindeki basınç (9) nolu metal manometre ile belirlenmiştir. Kısıtlayıcı

çıkışında yağ atmosfere atıldığında, yağ atmosferik basınçtır ve bu basınç bir barometre ile ölçülmüştür. Kısıtlayıcı çıkışındaki yağ sıcaklığı (11) nolu termo-couple ile ölçülmüştür. Yağın farklı sıcaklıklardaki yoğunluk ve dinamik viskozite değerleri ölçülerek hesaplarda dikkate alınmıştır ve Tablo-1'de verilmiştir.

**Tablo-1.** Shell Tellus-33 hidrolik yağının fiziksel özellikleri.

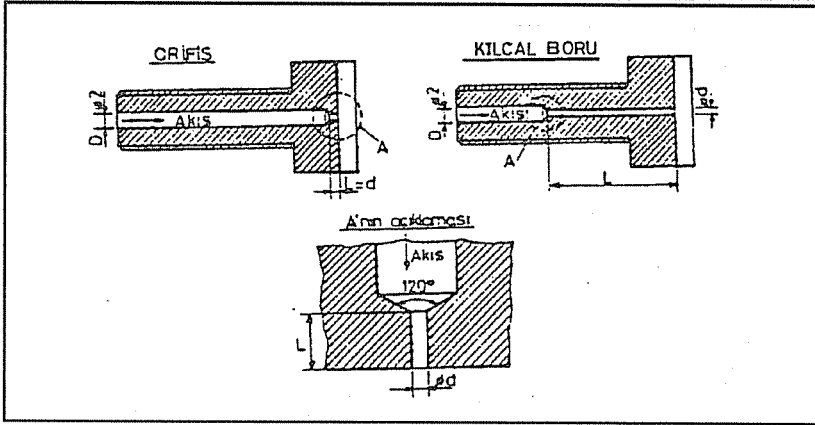
Sıcaklık T (°C)	Yoğunluk $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Dinamik Viskozite $\mu$ (Pa.s)
25	874	0.175
35	870	0.090
45	865	0.055
55	856	0.035



**Şekil 1.** Deney setinin hidrolik devre şeması.

Hidrolik yağın ortalama debisi (10) nolu dereceli kap ile 5-6 dakikalık uzunca bir zaman diliminde kronometre yardımıyla ölçüm yapılarak belirlenmiştir. Dereceli kabta biriken yağ (13) nolu ara depoya boşaltılıp, (6) nolu santrifuj pompayla (12) nolu ana depoya gönderilmiştir. Bu işlemler farklı yağ sıcaklığı ve sistem basınçlarında tekrarlanmıştır (10).

Şekil-2'de deneylerde kullanılan farklı geometrideki 3'er adet pirinçten yapılmış orifis ve kılcal boru resimleri görülmektedir.



Şekil 2. Deneylerde kullanılan orifis ve kılcal boruların geometrileri.

Tabii kısıtlayıcı öncesi boru çapı 2 mm sabit değerindedir. Kısıtlayıcı öncesi basınç ölçümünde kullanılan manometre 2 mm çaplı boru öncesindeki 5 mm çaplı ana besleme borusu üzerinde ve kısıtlayıcıdan akışa ters yönde 15 mm önce olacak şekilde yerleştirilmiştir. Boru içerisindeki akış hızı çok küçük (0.03-0.3 m/s mertebelerinde) olduğu için basınç kayıpları oldukça düşük olacak ve dolayısıyla iç çapı 2 mm olan basınç prizinin boru üzerindeki yerinin fazla bir önemi olmayacaktır. Deneyler 1-10 bar aralığındaki sistem basınçlarında ve (25-35-45 ve 55) °C'deki hidrolik yağ sıcaklıklarında yapılmıştır (10). Tabii kısıtlayıcıdan fışkıran yağ atmosfere çıktığından kısıtlayıcıdaki basınç farklı olarak ifade edilen  $\Delta p$ , aynı zamanda sistem basıncı veya kısıtlayıcı girişindeki basınçtır.

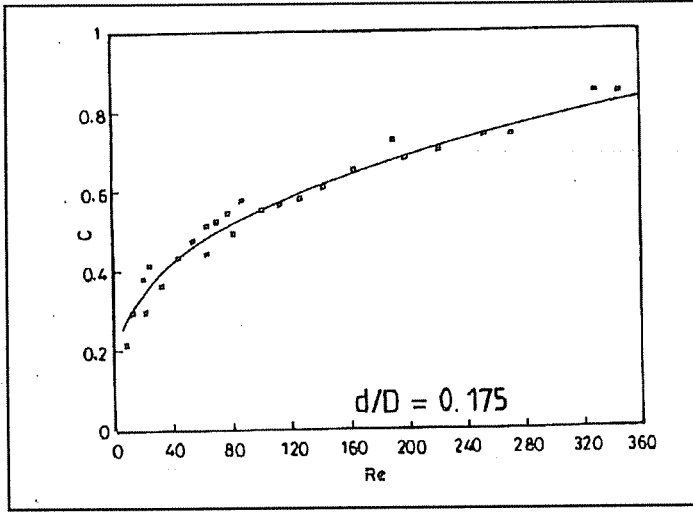
#### 4. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME

##### 4.1 Orifisler

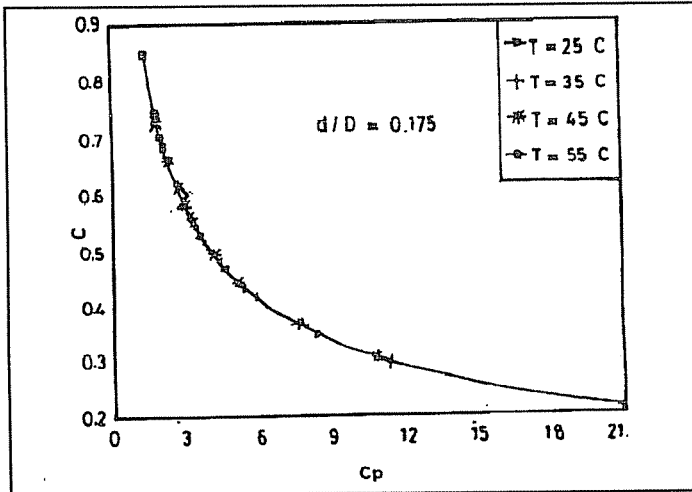
Şekil-3'de çapı ve plaka kalınlığı 0.35 mm olan orifisten dört farklı sıcaklıkta yağ akışı sağlandığında, orifis çapına ve ortalama akış hızına göre tanımlanan Reynolds sayısı  $Re (= \rho V d / \mu)$ ' na göre akış katsayısı C'nin değişimi görülmektedir.

Şekil-3'den artan yağ sıcaklığı ile Re sayısı ve akış katsayısı C'nin orantılı olarak arttığı görülmektedir. Bu Laminer akışta beklenen bir durumdur (8). Artan yağ sıcaklığı ile birlikte Re sayısı da artmakta ve C-Re değişim eğrisinin eğiminde bir miktar azalma görülmektedir. Maksimum akış katsayısı en büyük yağ sıcaklığı olan 55°C'de (C=0.80) görülmektedir. Bu durumun ortaya çıkmasının nedeni artan yağ sıcaklığıyla birlikte viskozitenin düşüp, yağın akıcılığının artmasıdır.

Şekil-4'de plaka kalınlığı ve çapı 0.35 mm olan orifis için akış katsayısı C'nin, basınç katsayısı Cp'ye göre değişimi görülmektedir.



Şekil 3. Çapı ve plaka kalınlığı 0.35 mm olan orifiste farklı yağ sıcaklıklarındaki akış için akış katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi.



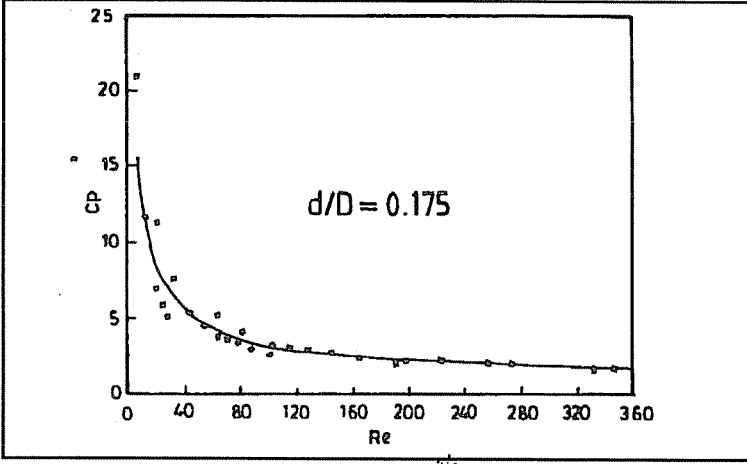
Şekil 4. Çapı ve plaka kalınlığı 0.35 mm olan orifiste farklı sıcaklıktaki yağ akışı için akış katsayısının basınç katsayısına göre değişimi.

Akış katsayısı C, artan basınç katsayısı Cp ile birlikte hızla azalmaktadır. Düşük sıcaklıklarda Cp'nin büyük olmasına karşılık C küçük, yüksek sıcaklıklarda ise Cp'nin küçük olmasına karşılık C büyük olmaktadır.

Şekil 5'de yine 0.35 mm'lik orifisten aynı akış şartlarındaki akış halinde basınç katsayısı Cp'nin Reynolds sayısı Re'ye göre değişimi verilmiştir.

Artan Re sayısı ile basınç katsayısı Cp hızla azalmaktadır. Ayrıca Şekil-5'den Cp-Re



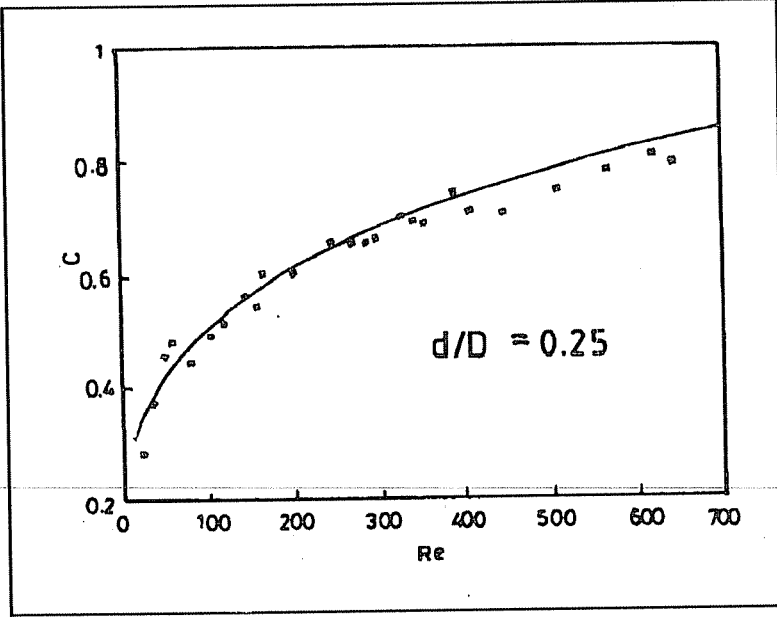


Şekil 5. Çapı ve plaka kalınlığı 0.35 mm olan orifiste farklı sıcaklıklardaki yağ akışı için basınç katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi.

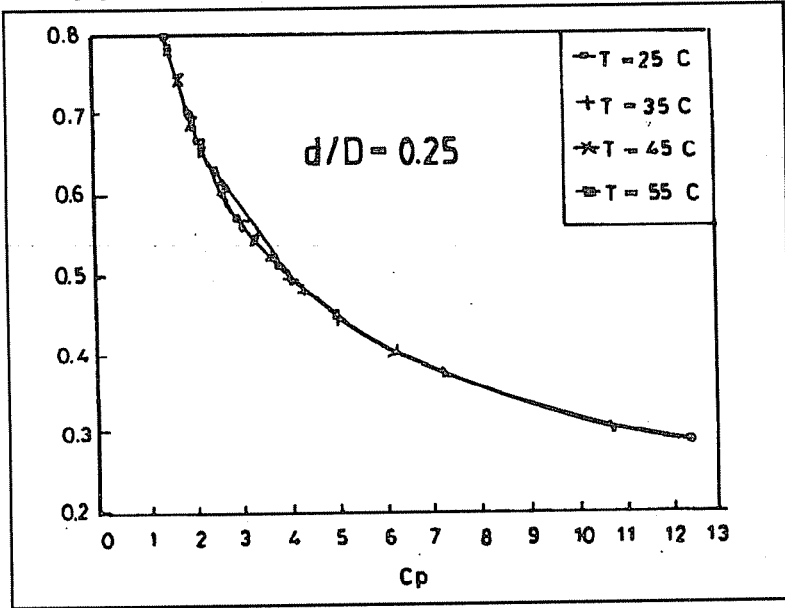
eğrisinin eğiminin artan sıcaklıkla birlikte azalmakta olduğu ve belirli bir Re sayısından sonra ise Cp'deki değişimin çok az olduğu görülmektedir. Minimum basınç katsayısı maksimum yağ sıcaklığı olan 55°C'de, maksimum basınç katsayısı ise minimum yağ sıcaklığı olan 25°C'de elde edilmektedir. Yağ sıcaklığı azaldıkça yağın viskozitesi yükselip, iç sürtünmeler arttığından orifisteki akışın ortalama akış hızı ve dolayısıyla akışkanın dinamik basıncı azalmaktadır. Bunun sonucu olarak orifisteki statik basınç farkının dinamik basınca oranı olarak tanımlanmış olan basınç katsayısı artmaktadır.

Şekil-6, 7 ve 8'de sırasıyla çapı ve plaka kalınlığı 0.50 mm olan orifis, Şekil-9, 10 ve 11'de ise çapı ve plaka kalınlığı 0.70 mm olan orifis için farklı sıcaklıklardaki yağ akışları için C - Re, C - Cp ve Cp-Re değişimleri görülmektedir.

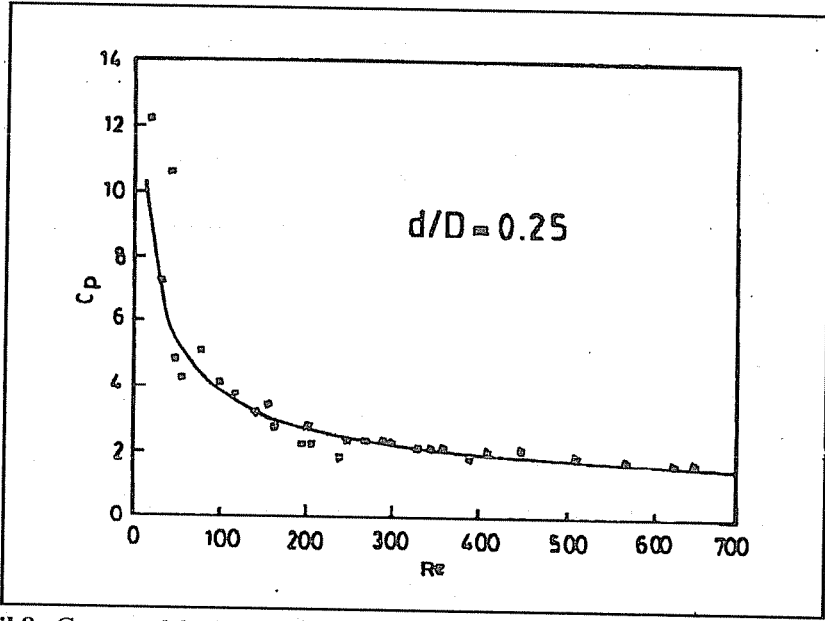
Şekil 3, 6 ve 9 karşılaştırılırsa aynı yağ sıcaklığı için ve aynı Re sayısında artan orifis/boru çapı oranı (d/D) ile C akış katsayısının da artmakta olduğu görülür. Artan d/D oranıyla birlikte akış katsayısı C'deki sapmalar da artmaktadır. Şekil 4, 7 ve 10 mukayese edilirse C'nin Cp'ye göre değişimlerinin orifis/boru çapı oranı olan d/D oranının farklı değerleri için birbirini tamamlayan tek bir eğriyi vermekte olduğu görülmektedir. Şekil 5, 8 ve 11 karşılaştırılırsa artan orifis/boru çapı oranı d/D ile Cp basınç katsayısındaki sapmaların fazlalaşmakta olduğu ve artan Re sayısı ile birlikte bu sapmaların azalmakta olduğu anlaşılmaktadır.



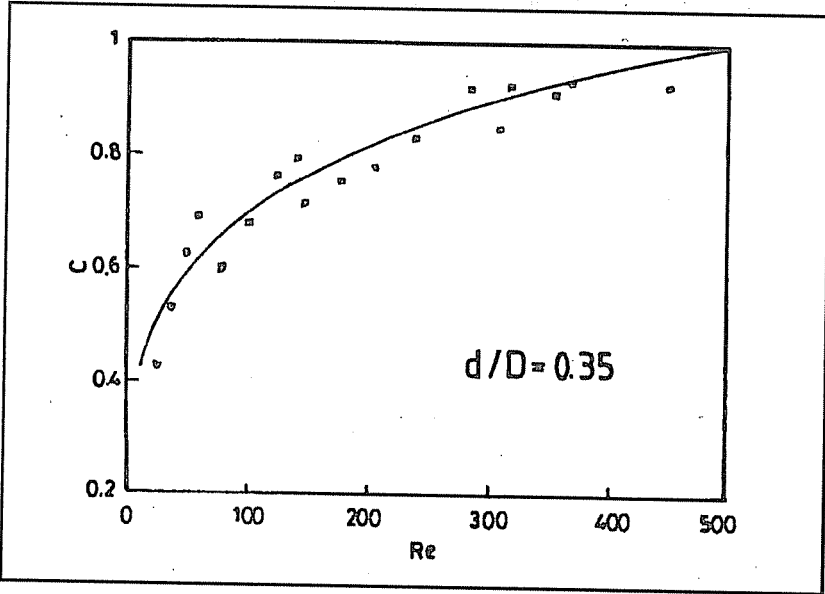
Şekil 6. Çapı ve plaka kalınlığı 0.50 mm olan orifiste farklı yağ sıcaklıklarındaki akış için akış katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi.



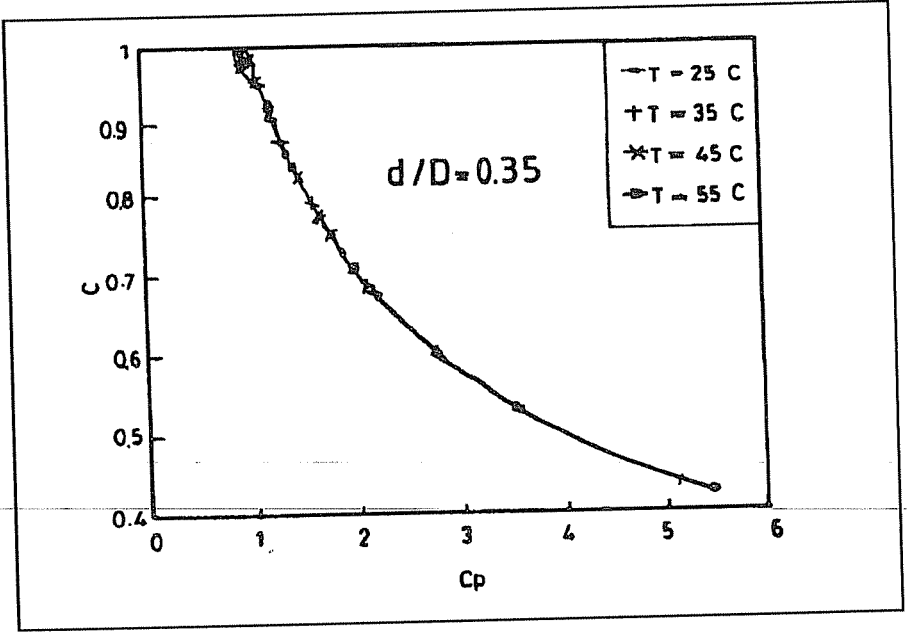
Şekil 7. Çapı ve plaka kalınlığı 0.50 mm olan orifiste farklı yağ sıcaklıklarındaki akış için akış katsayısının basınç katsayısına göre değişimi.



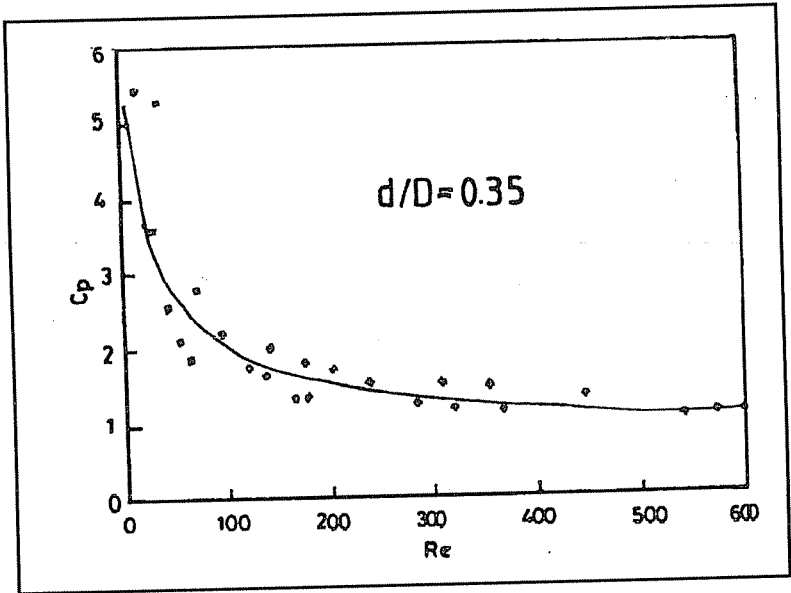
Şekil 8. Çapı ve plaka kalınlığı 0.50 mm olan orifiste sıcaklıklardaki yağ akışı için basınç katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi.



Şekil 9. Çapı ve plaka kalınlığı 0.70 mm olan orifiste farklı yağ sıcaklıklarındaki akış için akış katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi.



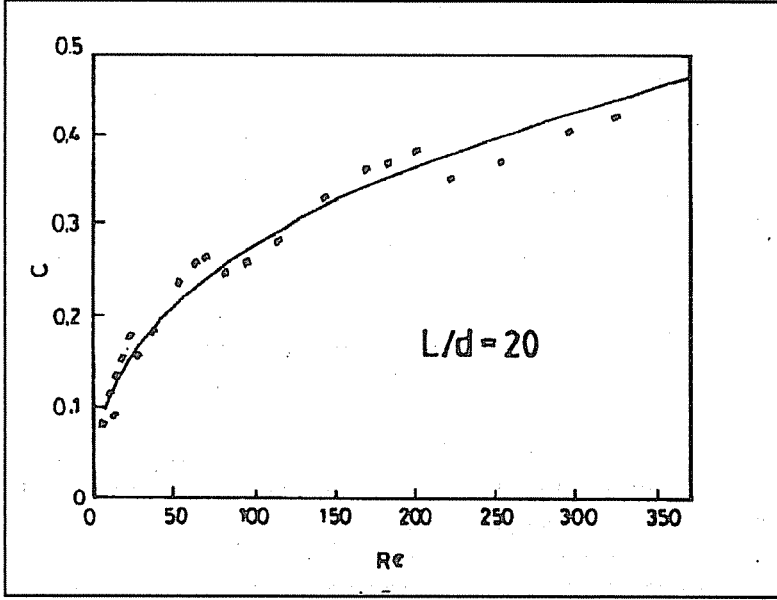
Şekil 10. Çapı ve plaka kalınlığı 0.70 mm olan orifiste farklı yağ sıcaklıklarındaki akış için akış katsayısının basınç katsayısına göre değişimi.



Şekil 11. Çapı ve plaka kalınlığı 0.70 mm olan orifiste farklı yağ sıcaklıklarındaki akış için basınç katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.

#### 4.2 Kılcal Borular

Şekil 12'de çapı  $d=0.7$  mm, uzunluğu  $L=14$  mm olan ( $L/d = 20$ ) kılcal borudan farklı sıcaklıklarda yağ akışı için akış katsayısı  $C$ 'nin, kılcal boru çapına ve ortalama akış hızına göre tanımlanan  $Re$  sayısına göre değişimi görülmektedir.

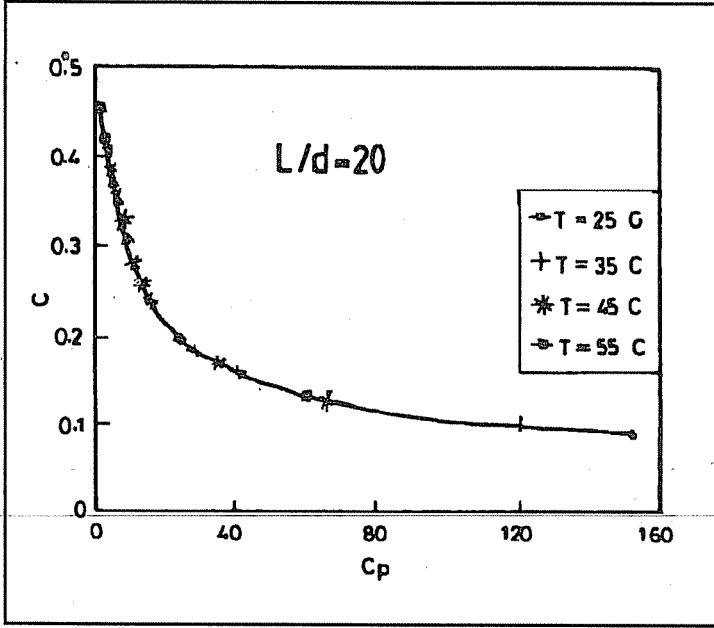


Şekil 12.  $L/d = 20$  olan kılcal boruda farklı sıcaklıklardaki yağ akışı için akış katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi.

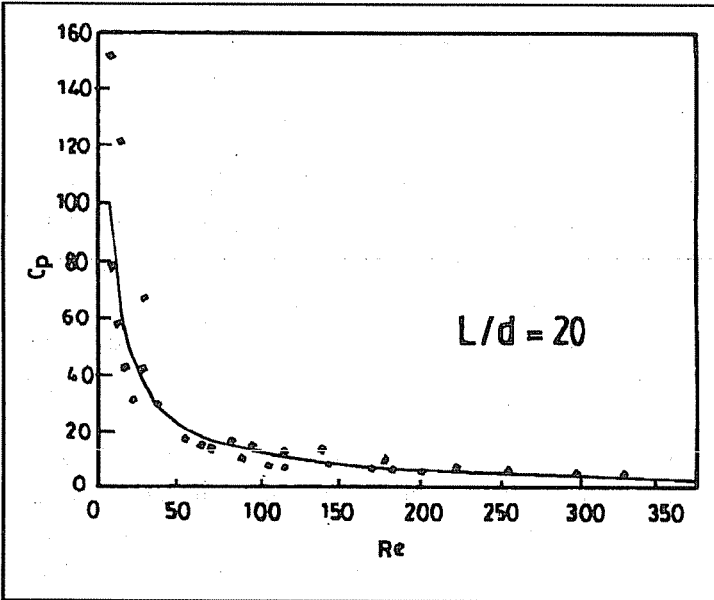
Farklı yağ sıcaklıkları için artan  $Re$  sayısı ile  $C$ 'nin de arttığı görülmektedir.  $C - Re$  eğrisinin artan  $Re$  sayısı ile  $C$ 'nin de arttığı görülmektedir.  $C - Re$  eğrisinin eğimi artan yağ sıcaklığıyla birlikte azalmaktadır. Maksimum akış katsayısı  $C$ ,  $55^{\circ}C$  yağ sıcaklığındaki yağ akışı için ( $C=0.45$ ) ortaya çıkmaktadır.

Şekil 13'de çapı  $d=0.7$  mm, uzunluğu  $L=14$  mm olan ( $L/d = 20$ ) kılcal borudan farklı sıcaklıklarda yağ akışı için akış katsayısı  $C$ 'nin, basınç katsayısı  $C_p$ 'ye göre değişimi görülmektedir.

Artan basınç katsayısı ile akış katsayısı hızla azalmaktadır. Orifisde olduğu gibi burada da elde edilen eğri farklı sıcaklıklarda denklemi aynı olan parçaları bulunan bir tek eğridir. Şekil-14'de çapı  $d=0.7$  mm, uzunluğu  $L=14$  mm olan ( $L/d=20$ ) kılcal boru için verilen basınç katsayısı  $C_p$ 'nin Reynolds sayısına göre değişimi, aynı akış şartlarında daha önce Şekil-11'de verilen aynı çaplı orifisle karşılaştırılırsa, kılcal boruda çok daha büyük basınç katsayılarının elde edildiği görülür.



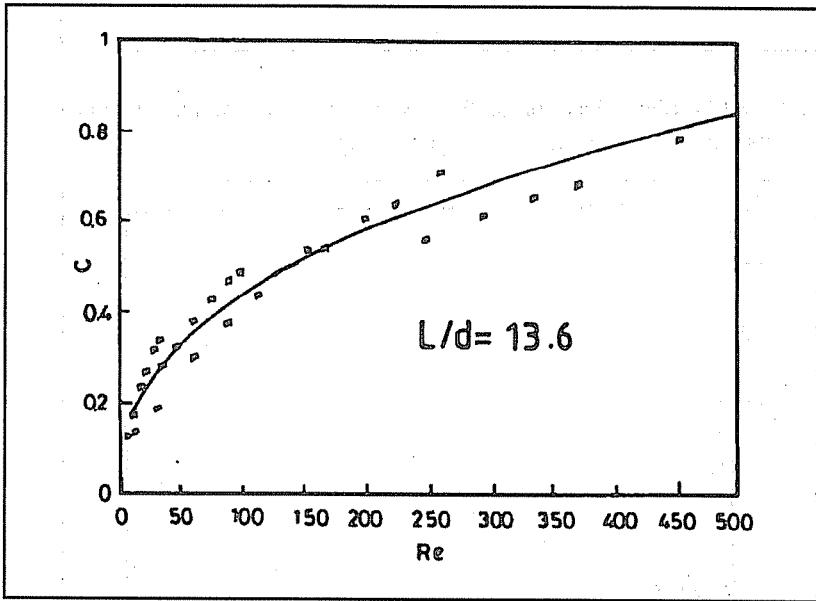
Şekil 13.  $L/d = 20$  olan kılcal boruda farklı sıcaklıklardaki yağ akışı için akış katsayısının basınç katsayısına göre değişimi



Şekil 14.  $L/d = 20$  olan kılcal boruda farklı sıcaklıklardaki yağ akışı için basınç katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi.

Deneylerde aynı çaplı orifislerle mukayese edilmek amacıyla uzunluk/çap oranı  $L/d=13.6$  olan  $d=0.50$  mm çaplı ve  $L=6.8$  mm uzunluklu tabii kısıtlayıcı ile  $L/d=8.57$  olan  $d=0.35$  mm çaplı ve  $L=3$  mm uzunluklu tam olarak kılcallık özelliği göstermeyen ( $L/d < 20$ ) (4) tabii kısıtlayıcı borular da kullanılmıştır (10).  $L/d = 13.6$  olan boru için C-Re, C-Cp ve Cp-Re değişimleri sırasıyla Şekil 15, 16 ve 17'de verilmiştir.

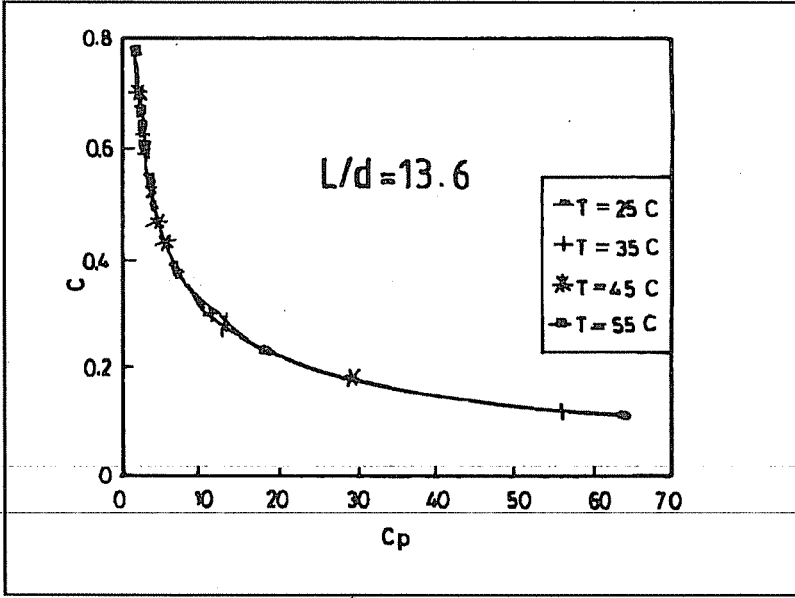
$L/d=8.57$  olan kısıtlayıcı boru için C-Cp değişimi ise Şekil-18'de görülmektedir. Elde edilen tüm eğrilerin benzer karakterde olduğu ve aynı akış şartlarında çapları aynı olan orifis ve kılcal borulardan, kılcal boruların C akış katsayılarının çok daha küçük, yani kısıtlama özelliklerinin orifislere göre daha fazla olduğu, kılcal borular arasında ise aynı akış şartlarında  $L/d$  oranı en büyük olanının C akış katsayılarının minimum, Cp basınç katsayılarının ise maksimum olduğu görülmüştür (10). Şekil-18'den görüleceği gibi  $L/d=8.57$  olan kısıtlayıcı boru için deneylerin yapıldığı 1-10 bar aralığındaki sistem basınçlarında 55 °C sıcaklıkta yağ akışı gözlenmiştir. Bunun nedeni artan sıcaklıkla birlikte yağın buharlaşma basıncının yükselmesi sonucunda, boru çapının da oldukça



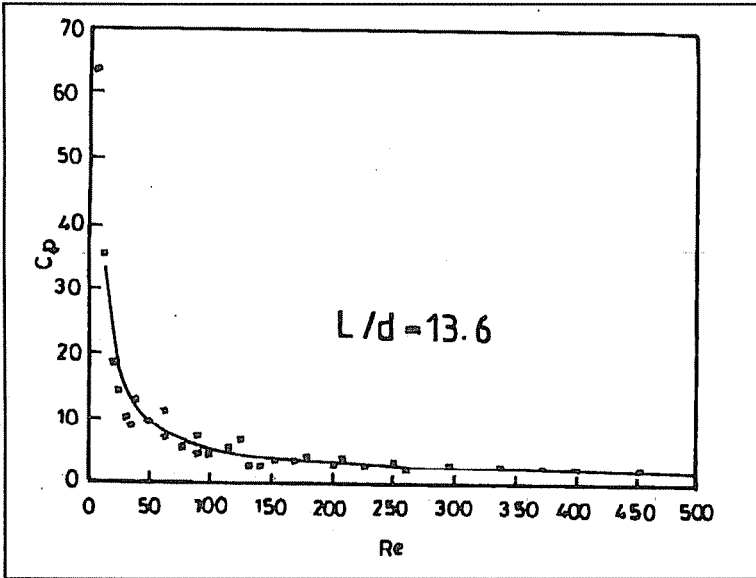
Şekil 15.  $L/d=13.6$  olan kılcal boruda farklı sıcaklıklardaki yağ akışı için akış katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi.

küçük ( $d=0.35$  mm) olmasıyla yağ basıncının buharlaşma basıncının altına düşmesinin söz konusu olması ve "Kavitasyon (boşlum)" olayının görülmesidir.

Deneylerde kullanılan ölçme aletlerinin kalibrasyonları yapılmıştır. Ancak tabii

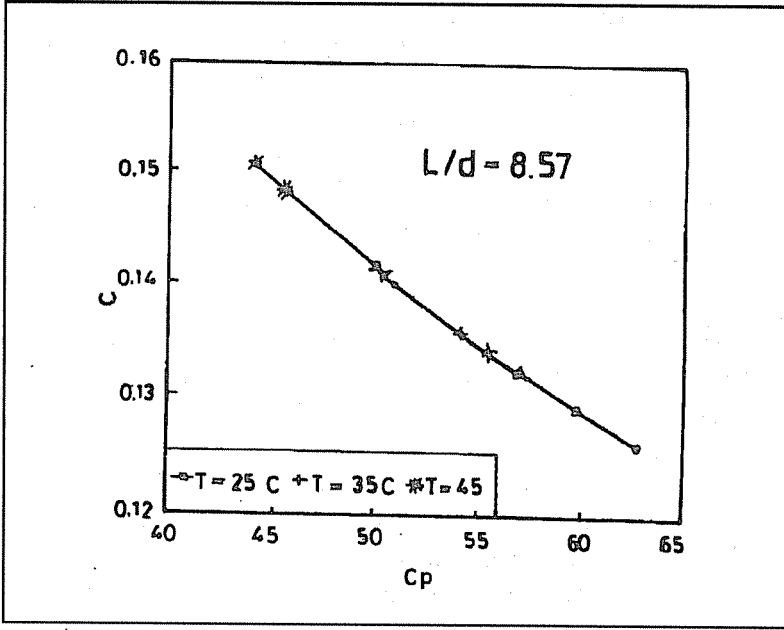


Şekil 16. L/d=13.6 olan kılcık boruda farklı sıcaklıklardaki yağ akışı için akış katsayısının basınç katsayısına göre değişimi.



Şekil 17. L/d=13.6 olan kılcık boruda farklı sıcaklıklardaki yağ akışı için basınç katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi.





Şekil 18.  $L/d=8.6$  olan kılcal boruda farklı sıcaklıklardaki yağ akışı için akış katsayısının basınç katsayısına göre değişimi.

kısıtlayıcılarda küçük Re Reynolds sayılarındaki akış esas olarak kararsız yani daimi değildir ve özellikle çok küçük çaplı tabii kısıtlayıcıların imalat zorluklarından dolayı çap ölçülmesinde büyük hatalar söz konusu olmaktadır. Özellikle bu nedenlerden dolayı deneylerden elde edilen değerler esas alınarak hesaplanan boyutsuz katsayılarıdaki maksimum bağıl hataların yaklaşık olarak; Re Reynolds sayıları için %10,  $C$  akış katsayıları için %7-8 ve  $C_p$  basınç katsayıları için ise %15 mertebelerinde olduğu tahmin edilmektedir.

## 5. SONUÇLAR

Hidrolik sistemlerde akışı kısıtlamak amacıyla basit ve ucuz olmaları gibi bir çok avantajlarından dolayı tabii kısıtlayıcılar olarak bilinen orifisler ve kılcal borular ayarlı akış denetim valflerine tercih edilebilirler, ancak kullanılacakları akış şartlarına göre davranışlarının önceden iyi bilinmesi gerekir. Çünkü akışın daimi olmadığı küçük Reynolds sayılarındaki akış şartlarında hidrolik sistemlerde kullanılan tabii kısıtlayıcılar (orifis ve kılcal boru)'ın kullanılacakları sistem basınçları (basınç farkları), hidrolik yağ sıcaklıklarına göre önceden bilinirse istenmeyen debi, basınç ve enerji kayıpları önemli ölçüde önlenir. Küçük çaplı kısıtlayıcı halinde yüksek yağ sıcaklıklarında (yağın buharlaşma basıncı artacağından) ve özellikle yüksek sistem

basınçlarındaki akışın kısıtlayıcıyı beslemesi halinde kısıtlayıcıdaki akışın basıncı fazla düşeceği için, "Kavitasyon (boşlum)" olayı da görülebilir. Bu amaçla, verilen maksimum deneysel hata limitleri kullanılarak bu çalışmada boyutsuz parametrelerle ifade edilen deneysel sonuçlardan yararlanılabilir.

Aynı çaplı orifislere kıyasla kılcal borular daha fazla kısıtlayıcı özelliğe sahip olup, kılcal borular arasında belirli bir yağ sıcaklığı ve sistem basıncı için en çok kısıtlayıcı özelliği olanı uzunluk/çap oranı ( $L/d$ ) en büyük olanı, orifisler arasında ise orifis/boru çapı oranı ( $d/D$ ) en küçük olanıdır. Akış katsayısı ve basınç katsayısının Reynolds sayısına göre değişimleri incelendiğinde özellikle çok küçük ( $10 \leq Re \leq 200$ ) Reynolds sayılarında eğrilerdeki değişim gradyenlerinin ve sapmaların, daha yüksek Reynolds sayılarındaki ( $200 \leq Re \leq 650$ ) değişim gradyenlerine ve sapmalara göre daha büyük olduğu görülmüştür. Kısıtlayıcı geçen akışın basınç katsayısının artan Reynolds sayısı ile asimtotik olarak azaldığı belirlenmiştir.

Küçük Re sayılarında belirli bir sıcaklıktaki hidrolik yağ geçişi için orifislerden akış halindeki akış katsayısının Re sayısına göre değişimi, aynı çaplı kılcal borulara göre daha az bir eğimle gerçekleştiğinden, hız değişimi aralığının az olmasının istenildiği hidrolik sistemlerde kılcal borulara tercih edilebilirler. Kılcal borular ise daha fazla bir basınç düşümünü sağladıklarından (basınç katsayıları daha büyük) hidrolik sistemlerde hidrolik akümülatörler (biriktiriciler) gibi titreşim sönümleyici elemanlar olarak da kullanılacakları söylenebilir.

## 6. TEŞEKKÜR

Yazarlar, deneylerde kullanılan orifis ve kılcal boruların gerek imalatında gerekse hidrolik yağın yoğunluğu ile dinamik vizkozitesinin ölçülmesinde yardımcı olan Kayseri 2. Hava İkmal Bakım Merkezinde görevli Makina Mühendisi Mustafa ÇALIŞKAN'a ve deneylerin yapılmasında emeği geçen Makina Mühendisi Kenan KAYA'ya teşekkür ederler.

## 7. KAYNAKLAR

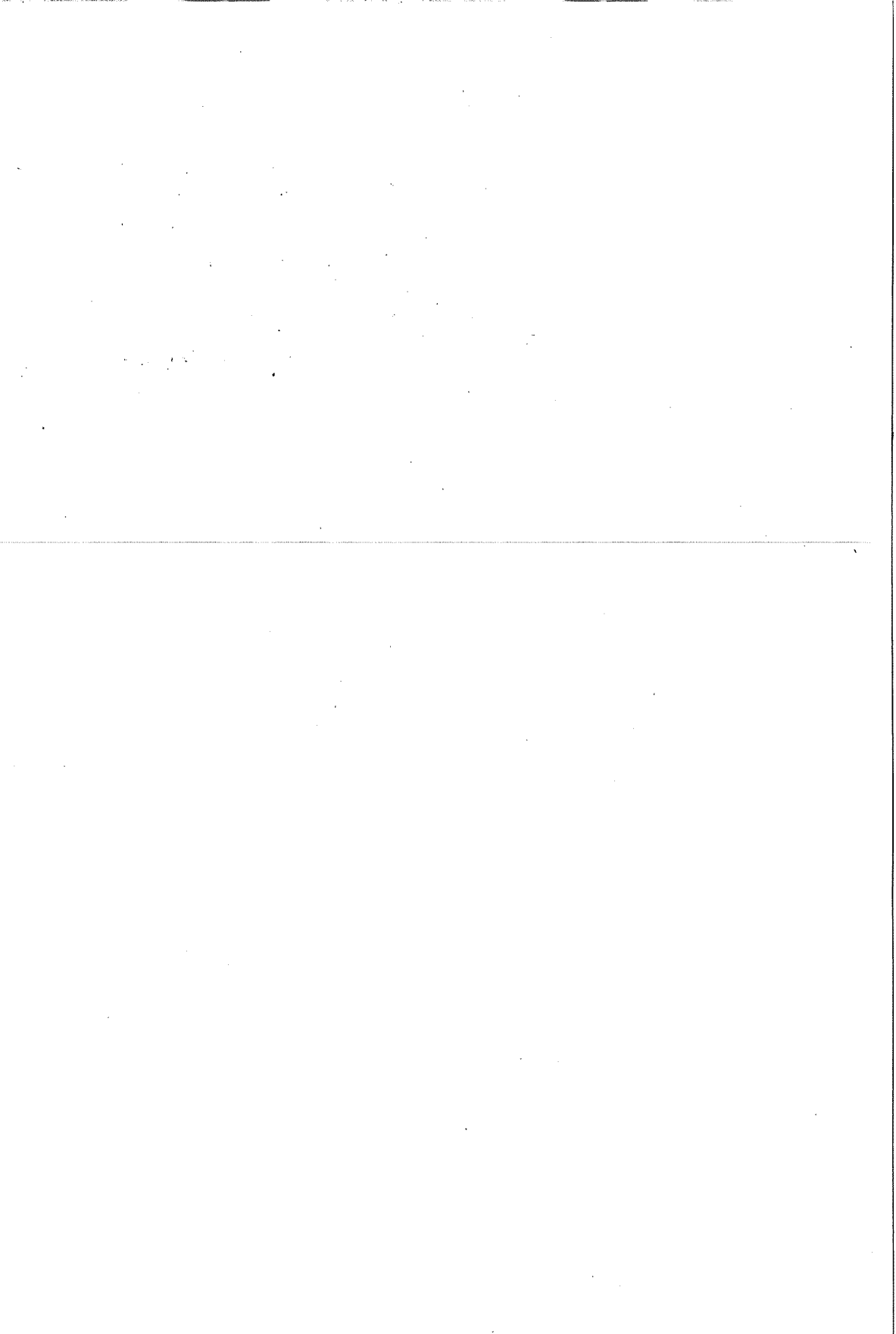
1. Akkurt, M., "Makina Elemanları", Cilt II, İstanbul, 1986.
2. Özcan, F., "Hidrolik Akışkan Gücü", Mert Eğitim Yayınları, İstanbul, 1982.
3. Karacan, İ., "Endüstriyel Hidrolik", Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası, 4. Baskı., Ankara, 1988.
4. Poiseuille, J.L.M., *Experimental Investigations upon the Flow of Liquids in Tubes of Very Small Diameter*, Rheological Memoirs, Vol.1, No. 2, January, 1940.
5. Raimondi, A.A. & Body, J., *An Analysis of Orifice and Capillary Compensated Hydrostatic Journal Bearing*, Lubrication Engineering, Vol. 13, No. 1, January, 1957.
6. Malanoski, S.B. & Loeb, A.M., *The Effect of the Method of Compensation on Hydrostatic Bearing Stiffness*, Journal of Basic Engineering, Transactions of the ASME, 179-187, 1961.

7. Koç,E., *An Experimental Investigation into the Behavior of Hydrostatic Slipper Bearings in Axial Piston Pumps-The Effect of Orifice Size*, Doğa-T. J. of Engineering and Environmental Sciences, 14, 505-514, 1990.

8. Hooke,C.J., Hajihosseini,M.A. & Walton,D.A, *Note on the Discharge Coefficients of Annular Orifices*, Aeronautical Journal, 183-188, May, 1989.

9. Şahin,B., Çekici,V., *Orifis Plakalarda Debi Ölçümü İçin Bir Deneysel Düzenegın Tasarımı ve İmalatı*, Çukurova Üniversitesi Müh.Mim.Fak. Dergisi, Cilt 6, Sayı 2, 65-78, Aralık, 1991.

10. Kaya,K., *"Hidrolik Sistemlerde Kullanılan Tabii Kısıtlayıcıların Deneysel Analizi"*, Bitirme Ödevi, Erciyes Üniv. Müh. Fak. Makina Müh. Bölümü, Kayseri, Ocak, 1993.



## **ULTRASONİK SPEKTRAL DAĞILIMIN VE FREKANSA BAĞLI ZAYIFLAMANIN DOPPLER ÖLÇME SONUCUNA OLAN ETKİSİ**

**İnan GÜLER**

*Sütçü İmam Ü., Biyomedikal Müh. Grubu, Kahramanmaraş / Türkiye*

**ÖZET :** *Klinik sahada kullanılan darbeli Doppler akış ölçme sistemi ile nicel ölçme yapmak, biyolojik dokularda mevcut olan frekansa bağımlı zayıflama nedeniyle sınırlıdır. Bu makalede ultrasonik enerjideki frekansa bağlı zayıflama ve spektral karakterizasyon teorisi incelenecek ve daha sonra, seçilen modelde bilgisayar simülasyonu kullanılarak, kan akış ölçümünde zayıflamadan kaynaklanan hatalar gösterilecektir.*

### **THE EFFECT OF ULTRASONIC SPECTRAL DISTRIBUTION AND FREQUENCY DEPENDENT ATTENUATION ON THE DOPPLER MEASUREMENT RESULTS**

**ABSTRACT :** *The possibility of making a quantitative measurement with the pulse Doppler flow measurement system, which is used in the clinical area, is limited due to the frequency dependent attenuation. In this study, the frequency dependent attenuation in the ultrasonic energy and the spectral characterization theory will be investigated. After this step, the errors in blood flow measurement, resulting from attenuation will be shown by using a computer simulation.*

## 1. GİRİŞ

Biyolojik dokularda nicel ölçülebilen dört parametre vardır. Bunlar; ses hızı (1-3), akustik zayıflama (4-6), frekansa bağlı saçınım özellikleri (7, 8) ve kırınımına neden olan düzensiz yapıdır (9). Bu parametrelerin her birisi laboratuvarında ayrı ayrı incelenebildiği gibi, ayrıca klinik uygulamalarda bütün bu parametrelerin oluşturduğu sonuçlar hep birlikte de incelenebilir. Bir parametre nicel hale getirildiği zaman bu parametrenin diğerleriyle olan etkileşimi dikkate alınarak inceleme yapılır.

Yayılm sırasında akustik enerjinin zayıflaması çok karmaşık bir olaydır. Zayıflama ile, akustik enerjinin saçınımı ve akustik enerjinin ısı enerjisine dönüşmesi yani absorbe olması şeklinde iki temel mekanizma ilişkilidir (10). Bu iki mekanizmanın biyolojik dokularla etkileşimi sonucu net bir akustik zayıflama meydana gelir. Bu iki etkileşimin frekansa bağımlı olması nedeniyle, zayıflama frekansın bir fonksiyonudur. Zayıflama MHz başına cm'de harcanan akustik güç olarak tarif edilir ve desibel olarak ifade edilir. Canlı içerisinde zayıflama ölçümünde iki türlü yöntem uygulanmaktadır; işaret genliğinin azalmasının (5, 11) ve çeşitli derinliklerden alınan radyo frekans (rf) işaretlerinin spektrumdaki değişiminin ölçülmesidir (4-6). Biyolojik dokuda saçınımdan oluşan enerji kaybı, absorpsiyondan kaynaklanan etkiye nazaran daha küçüktür. Geri saçılan bir işaret yansıtma modunda incelendiği zaman, bu işarete ait enerjinin saçınım mekanizmasına bağlı olarak zayıfladığı gözlenir (4). Burada iki noktayı dikkate almak gerekir. Birincisi, saçıcı kesit alanının derinlik ile değişmesidir; saçınım mekanizması zaten az bir zayıflamaya neden olduğundan, saçıcı alanının değişmesi de zayıflamaya çok fazla etki etmez. Bu yüzden, işaret genliğinde meydana gelen değişim gerçek zayıflama ile tamamen ilişkili olmayabilir. İkincisi ise saçıcı kesit alanının frekansla değişmesidir. Bu durum, yine işaretteki toplam zayıflamada önemli bir etken olmayabilir, buna karşılık geri saçılan işarete spektral değişimler meydana getirir. Bu sebeplerden dolayı zayıflama ölçümleri geniş ve homojen bölgelerde yapılır.

## 2. TEORİK İNCELEME

### 2.1 Temel Model

Ultrasonik darbe bir saçıcı ortamdan geri geldiği zaman alınan ekonun matematiksel tanımı için bazı noktaların göz önüne alınması gerekir. Ekonun tanımı yapılırken dokuda meydana gelen hız dispersiyonu, çok küçük olması nedeniyle ihmal edilir (3). Ayrıca, bütün ölçmelerin dönüştürücü yakın alanı içerisinde yapıldığı kabul edilmektedir. Bu sayede, kristal yüzüne çapraz oluşan kırınım etkileri de ihmal edilir. Başlangıçta, saçıcıların frekansa bağımlılığı ve ortamda oluşan frekansa bağımlı zayıflamalar ihmal edilir. Böylece sistem, çok basit bir modele indirgenmiş olur. Buna göre sonuçta elde edilen işaretin Fourier dönüşümü (12).

$$Y(f) = \sum_{n=0}^N \hat{a}_n e^{j\hat{\Phi}_n(f)} X(f) \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada,

$X(f)$  = basınç ifadesinin Fourier dönüşümü,

$\Phi_n(f)$  = n. saçıcının bulunduğu yerdeki frekansa bağlı faz değişimi,

$\hat{a}_n$  = n. saçıcıdan saçılan işaretin genliği, ve

$N$  = ekodaki saçıcı sayısıdır.

Bu işaretin güç yoğunluk spektrumu,

$$S(f) = |Y(f)|^2 = |\hat{A}(f)|^2 |X(f)|^2 \quad (2)$$

ifadesiyle bulunur. Burada  $\hat{A}(f)$ , rastgele dağılmış tüm ani hareketli saçıcıların oluşturduğu gürültü değeridir. Eğer  $\{\hat{a}\}$  ve saçımın noktaları rastgele dağılmış ise ve frekansa olan bağımlılık herhangi bir şekilde ihmal edilebilirse,  $\hat{A}(f)$  nin beklenen değeri,  $f$  den bağımsız rastgele bir değişken olur. Daha sonra, giriş darbesinin güç yoğunluk spektrumu etkin bir şekilde beyaz gürültü tarafından modüle edilmiş olur. Daha önceki araştırmacılarında kabul ettiği gibi, giriş darbesinin güç yoğunluk fonksiyonu Gaussian kabul edilir (13). Buna göre,

$$|X(f)|^2 = C e^{-(f-f_0)^2/2\sigma_0^2} \quad (3)$$

Burada,  $f_0$  = dönüştürücü merkez frekansı

$\sigma_0$  = dönüştürücü güç spektrumunun karakteristik band genişliği, ve

$C$  = genlik katsayısıdır.

Geri saçılan işaretin güç yoğunluk spektrumu,

$$S(f) = |\hat{A}(f)|^2 C e^{-(f-f_0)^2/2\sigma_0^2} \quad (4)$$

ifadesiyle hesaplanır. Bu durumda, eğer frekansa bağımlı zayıflama söz konusu ise, sadece güç yoğunluk spektrumu zayıflama terimi ile modüle edilir (çünkü, daha önce söylendiği gibi hız dispersiyonunun katkısı çok küçük olduğundan ihmal edilebilir). Böylece zayıflamış spektrum,

$$S(f) = e^{-A(f,\ell)} |\hat{A}(f)|^2 C e^{-(f-f_0)^2/2\sigma_0^2} \quad (5)$$

ifadesiyle hesaplanır. Burada,  $A[f, \ell]$ , frekansa ve yayılmanın uzunluğuna bağlı bir zayıflama terimidir. Eğer biyolojik dokularda zayıflama, frekans ve yayılma uzunluğunun lineer bir fonksiyonu ise,

$$A[f,\ell] = \alpha_0 f \ell \quad (6)$$

ifadesi yazılabilir. Burada  $\alpha_0$  zayıflatma katsayısıdır. Böylelikle geri saçılan spektrum,

$$S(f) = |\hat{A}(f)|^2 (e^{-\alpha_0 f \ell}, (C e^{-(f-f_c)^2 / 2\sigma_0^2}) \quad (7)$$

ifadesiyle bulunur. (7) denklemi,

$$S(f) = |\hat{A}(f)|^2 C' e^{-(f-f_c)^2 / 2\sigma_0^2} \quad (8)$$

ifadesine indirgenebilir, burada  $f_c$  merkez frekansdır ve

$$f_c = f_0 - \alpha_0 \ell \sigma_0^2 \quad (9)$$

şeklinde ifade edilir,  $C'$  ise zayıflamış spektruma ait genlik katsayısıdır ve,

$$C' = C e^{-(f_0 \alpha_0 \ell + 2\alpha_0 \ell^2 \sigma_0^2)} \quad (10)$$

şeklinde ifade edilir. Görüldüğü gibi Gaussian spektral şekli zayıflama faktörüne rağmen değişmemiş, buna karşılık merkez frekansı ( $\alpha_0 \ell \sigma_0^2$ ) faktörü oranında kaymıştır. Buna eşdeğer bir sonuç Dines ve Kak (14) tarafından elde edilmiştir. Geri saçılmayı zorlaştıran faktör, kayan spektrumun hâlâ  $|\hat{A}(f)|^2$  gürültü terimi tarafından modüle edilmesidir. Böylece toplam, bir gürültü spektrumuna ait merkez frekansın hesaplanmasına indirgenmiş olur. Problemin çözümüne çeşitli yaklaşım yolları olmasına rağmen görünen en kestirme yol, ölçülen spektrumun birinci momentini kullanmak olabilir (15). Yani,

$$\bar{w} = \frac{\int_0^{\infty} w P(w) dw}{\int_0^{\infty} P(w) dw} \quad (11)$$

$w$  nin beklenen değeri  $w_m$  dir, ( $w_m = 2\pi f_m$ )

## 2.2 Frekansa Bağlı Saçınım

Frekansa bağımlı saçınımında meydana gelen değişmeler, doku zayıflatmasının belirlenmesinde temel problemdir. Saçınım, frekansa lineer olmayan bağımlılık gösterdiğinden (6), zayıflama üzerindeki etkisi büyüktür. Saçınım etkisinin frekansa bağımlı terimi ( $f^b$ ), (8) denkleminde yerleştirilerek,

$$S(f) = |\hat{A}(f)|^2 C f^b e^{-(f-f_c)^2 / 2\sigma_0^2} \quad (12)$$



ifadesi elde edilir. Burada, b karakteristik üstel saçınım terimidir ve genellikle 0 ile 4 arasında değişir. Biyolojik dokular için b, 1 ile 2 arasındadır.  $f^b$  nin spektral davranışı nasıl etkilendiği konusundaki bilgi,

$$f^b = e^{b \left[ \ln(f) + \frac{f-f_0}{f_0} - \frac{(f-f_0)^2}{2f_0^2} \right]} \quad (13)$$

ifadesiyle elde edilebilir (12). (13) denklemini, (12) de yerine konup düzenlenirse,

$$S(f) = |\hat{A}(f)|^2 C'' e^{\left[ \frac{(f-f_0)^2}{2\sigma_f^2} \right]} \quad (14)$$

ifadesi elde edilir, burada,

$$F = \frac{f_0^2}{(f_0^2 + b\sigma_0^2)} \quad (15)$$

$$f_c = \left[ f_0 - \alpha_0 \sigma_0^2 \ell + \left( \frac{2b\sigma_0^2}{f_0} \right) F \right] \quad (16)$$

$C''$ , zayıflamış ve geri saçılan spektruma ait genlik katsayısıdır.

Taylor serileri yaklaşımı ile  $b \cdot \ln(f)$  terimleri karakterize edildiği müddetçe, temel spektrumun Gaussian olarak kaldığı gözlenir. Buna karşılık merkez frekans, sadece zayıflama katsayısına ( $\alpha_0$ ) ve derinliğe ( $\ell$ ) bağlı olmaz, aynı zamanda  $2b \sigma_0^2 / f_0$  kadar ötelenir. Buna ilaveten band genişliği de  $f_0^2 / (f_0^2 + b \sigma_0^2)$  faktörü ile yeniden düzenlenir.  $\sigma_0^2$  nin  $f_0^2$  ye göre küçük olduğu kabul edilirse ve b de, 1 ile 2 arasında olduğundan, F terimi yaklaşık olarak 1 değerini alır ve dolayısı ile çarpan durumunda olduğu eşitliklerde gözükmez.

Buna göre (16) denklemini yeniden,

$$f_c = f_0 - \alpha_0 \sigma_0^2 \ell + 2b \frac{\sigma_0^2}{f_0} \quad (17)$$

olarak düzenlenir. Burada saçınım özelliklerindeki değişim etkisi merkez frekansını, doku saçınım özelliğinin bir fonksiyonu olarak aşağı veya yukarı kaydırır. Buradan anlaşılacağı üzere saçınımın frekansa bağımlılığı, algılanan spektrumun merkez frekansına bir ilave terim katar. Frekansa bağımlılığın sabit olduğu bölgede merkez frekansının derinlik ile değişim oranı, zayıflatma katsayısını ölçmek üzere kullanılabilir.

### 3. SONUÇLAR VE İRDELEME

Günümüzde kullanılmakta olan klinik kan akış ölçme tekniklerinin bir çoğu aynı hastadan alınan ölçümlerin nitel mukayesesi esasına dayanır. Bunun temel sebebi ise vasküler sistemin hastadan hastaya değişmesidir. Deri ile damar arasında kalan dokunun kalınlığı ve karakteristiği Doppler frekansının hassas olarak ölçülmesini etkiler. Farklı dokular farklı frekansa bağımlı zayıflatmaya sebep olur (16, 17) ve bu yüzden de Doppler kaymasını belirlemek üzere alınan ekoya ait ortalama frekans ölçümü değişir. Akan kan ile dönüştürücü arasında daha fazla dokunun var olması, sadece Doppler frekans spektrumuna ait varyansı arttırmaz aynı zamanda, neticede elde edilen Doppler spektrumunun teşhise olan katkısını zorlaştırır. Dönüştürücü ile kan arasında fazla doku olması, ultrasonik dalga yolunun uzamasına, bu ise işaret-gürültü oranının düşük olmasına ve dolayısı ile varyansın artmasına neden olur. Bu yüzden, alınan ultrasonik eko spektrumu ile gönderilen işaretin güç spektrumu arasında farklı bir yapı meydana gelebilir. Bu faktörler dikkate alınarak doku zayıflatmasının Doppler ölçme sonucuna olan etkileri bir model üzerinde incelenebilir.

Doppler akış ölçme sistemi çıkışındaki frekansa bağlı zayıflamayı belirlemek için bir bilgisayar simülasyonu yapılmıştır. Bu simülasyonda, geri saçılan işaretteki ortalama gücün ölçüldüğü varsayılmıştır. Diğer yandan, alınan ekoda gürültü olmadığı kabul edilmiştir. Basit olması için kan hareketi dönüştürücüye doğru olan düzgün ve sabit bir hareket olarak modellenmiştir. Ultrasonik dalgaya ait spektrumun titreşim sayısının, fazla darbeler ( $M \geq 5$ ) için ifadesi (18, 19),

$$X(f) = H(f) \text{Sinc} \left[ M \left( \frac{f}{f_0} - 1 \right) \right] \quad (18)$$

olarak belirlenir. Burada,

$$H(f) = \frac{ff_0}{Q \sqrt{(f^2 - f_0^2)^2 + (ff_0/Q)^2}} \quad (19)$$

olarak ifade edilir. (18) ve (19) denklemlerinde,

$X(f)$  = gönderilen basınç dalgasının spektrumu,

$H(f)$  = dönüştürücünün ikinci dereceden transfer fonksiyonu,

$\text{Sinc}(f) = \text{Sin}(\pi f) / \pi f$

$M$  = gönderilen darbedeki titreşim sayısı ( $M \geq 5$ )

$f_0$  = gönderilen ultrasonik dalganın merkez frekansı, ve

$Q$  = dönüştürücü iyilik faktörü olarak dikkate alınır.

$M=5$  kabul edilerek ortama gönderilen  $X(f)$  işaret spektrumu Şekil-1'de görülmektedir. dB olarak genlik 5 MHz merkez frekansı için gösterilmektedir. Bu

simülasyonda dönüştürücü  $Q=3$  olan bir band geçiren filtre olarak modellenmiştir. Gönderilen işaret spektrumu  $X(f)$ , doku zayıflatması nedeniyle oluşan hataların gösterilmesi bakımından bu simülasyonun tamamında kullanılmıştır.

Çeşitli araştırmacılar tarafından sürekli dalga Doppler sistemleri ile doku ölçümleri sonucu oluşturulan uygun bir doku modeli (16, 17),

$$A(f) = A_0 f^b \quad (20)$$

olarak verilir. Burada,

$A(f)$  = frekansın bir fonksiyonu olarak ultrasonik enerjinin zayıflaması (dB)

$A_0$  = 1 MHz de dB cinsinden zayıflama (0,5 - 2 dB arasında)

$f$  = MHz cinsinden frekans, ve

$b$  = frekanstan bağımsız sabitedir (1-1,4 arasında).

Ultrasonik ses demeti tarafından katedilen mesafeye ait bilgi  $A_0$  terimi içerisindedir. Eğer  $\alpha_0$  zayıflatma katsayısı ise (dB/MHz/cm olarak), dokudaki gidiş yol uzunluğu  $d$  için, 1 MHz de  $A_0$  değeri  $\alpha_0 d$  olarak hesaba katılır. Çeşitli materyaller için  $\alpha_0$  m değeri yaklaşık sıfırdan (su için) 1 dB/cm ye (bazı yumuşak dokular için) kadar uzanır (16, 17). Çevresel damarlara ait kan akış ölçümleri için tek yol uzunluğu 1 cm den daha azdır. Yumuşak dokuların büyük çoğunluğunda  $b$  değeri 1 ile 1,4 arasında değişir (16, 17). Damara gelen basınç işaretinin (ultrasonik darbe) büyüklüğü,

$$B(f) = X(f)10^{-A(f)/20} \quad (21)$$

ifadesiyle belirlenir. Ultrasonik dalga dokudan geçerken ortalama frekans kayar. Ultrasonik dalga hareketi saçıcıya ulaştığında, saçılan dalga şeklindeki frekans bileşenlerinin her biri Doppler ifadesine göre değişir. Yani,

$$f_r = f_0 \left( 1 - \frac{2v}{c} \right) \quad (22)$$

Burada,  $f_r$  = kandan saçılan işaretin frekansı,

$f_0$  = kana gönderilen işaretin frekansı,

$v$  = kan akış hızı (dönüştürücüye doğru pozitif), ve

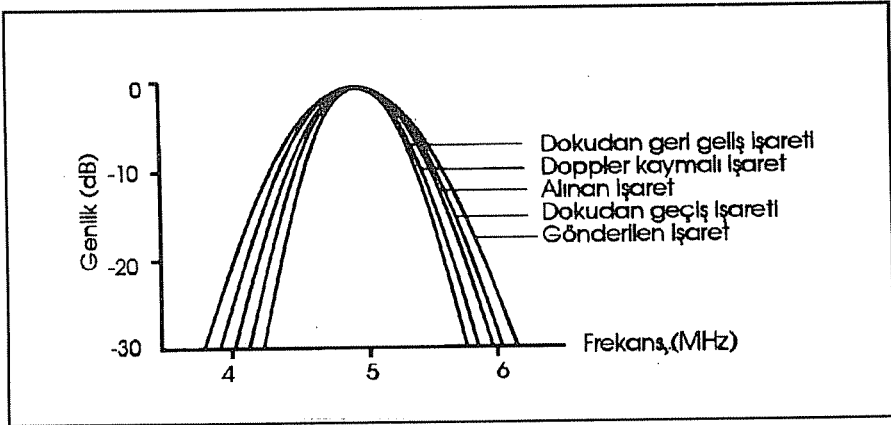
$c$  = sesin kandaki hızıdır.

Dalga, dokudan geri yayıldığı zaman (20) denklemine göre tekrar zayıflar. Dönüştürücü, daha sonra alınan bu basınç işaretini süzer. Alınan elektriksel işaret,  $R(f)$

$$R(f_r) = H(f_r)B(f_r)10^{-A(f_r)/20} \quad (23)$$

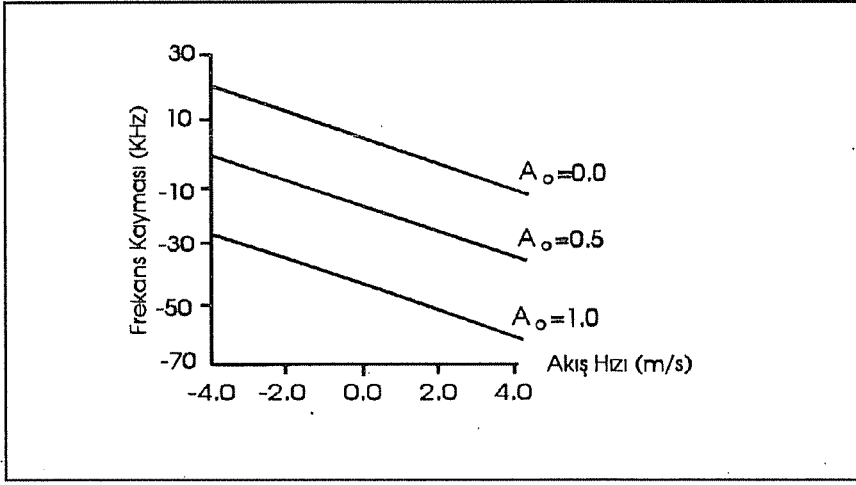
şeklinde ifade edilir.

Bu işaretlerin herbirine ait büyüklük Şekil-1 de görülmektedir, burada  $A_0 = 1\text{dB}$  ve  $b=1,4$  olarak alınmıştır. Bu değerler yumuşak dokular için tipik değerlerdir (16, 17). Eksenel akış hızı 10 m/s ve  $c=1500$  m/s iken saçıcı hedeften gelen işaretin ortalama frekansı 4,933 MHz dir (**dokudan geçiş eğrisi**). Doku 5 MHz olan gönderilen işaret spektrumunda, -66,67 kHz lik kaymaya sebep olur. (22) denkleminde de belirtildiği gibi 10 m/s lik saçıcı hareketinin sebep olduğu Doppler kayması bu durumda -66,67 kHz dir. Şekil-1 de bu kayma **doppler kaymalı işaret** eğrisi ile gösterilmektedir. Dönüştürücüye geri dönme zamanı boyunca doku, ortalama frekanstan 66,65 kHz daha fazla kaymaya neden olur. Şekil-1 de bu eğri **dokudan geri geliş** adını alır. Dönüştürücü filtrelemesinden sonra alınan eko işareti (**alınan işaret**) -153 kHz lik bir ortalama frekans kaymasına sahiptir. Görüldüğü gibi -66,66 kHz lik bir Doppler kayması, alınan eko işaretinde -153 kHz lik bir ortalama frekans kaymasına neden olur. Şekil-1 de gösterilen örnek, doku zayıflatma etkilerini simüle etmede kullanılan metoda ait sonuçlardır.



Şekil 1. En son elde edilen ekoya kadar çeşitli durumlardan kaynaklanan frekans hatalarının spektral simülasyonu: dönüştürücü merkez frekansı 5 MHz,  $Q=3$ ,  $v=10$  m/s,  $A_0=1,0$ ,  $b=1,4$  olarak alınmıştır.

Şekil-2 de  $M=10$ ,  $b=1,4$  olduğu zaman alınan ekodaki ortalama frekansın grafiği görülmektedir. Üç farklı  $A_0$  değeri [ $A_0=(0), (0,5), (1)$ ], alınan ekolardaki ortalama frekans kayması ve hedef arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu şekil, frekans kayması ile hedef hızı arasında lineer bir ilişki gösterir.  $A_0=1$  için -40 kHz olan hata 6m/s lik bir eksenel akış hızı tarafından meydana getirilen kaymadan daha büyük olur. 5 MHz de 6m/s için doku etkileri alınmaksızın kayma 40 kHz kadardır. Bütün frekans eğrilerinin eğimi eşittir ve (22) denkleminde beklenildiği şekilde,  $2f_0/c$  daha az büyüklüğe sahiptir. Buna, ultrasonik işaret spektrumunun oluşmasına neden olan ve  $Q=3$  olan

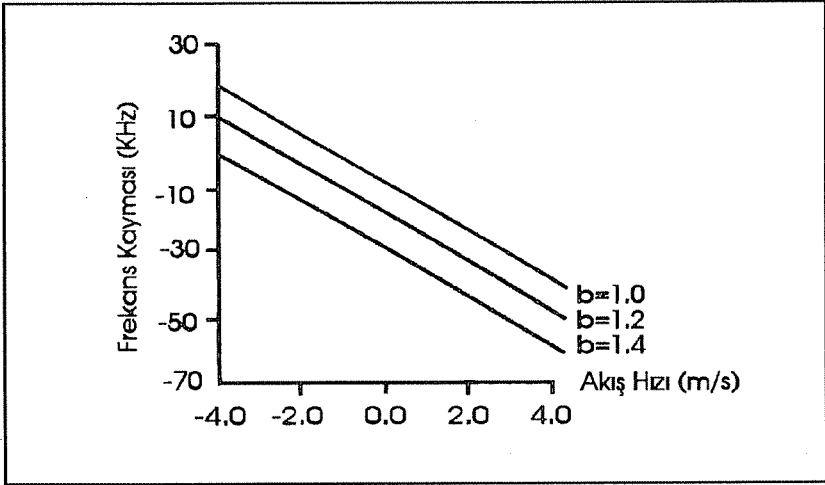


Şekil 2.  $b=1,4$  ve  $10$  titreşim için akış hızına karşılık alınan ekodaki frekans kayması.

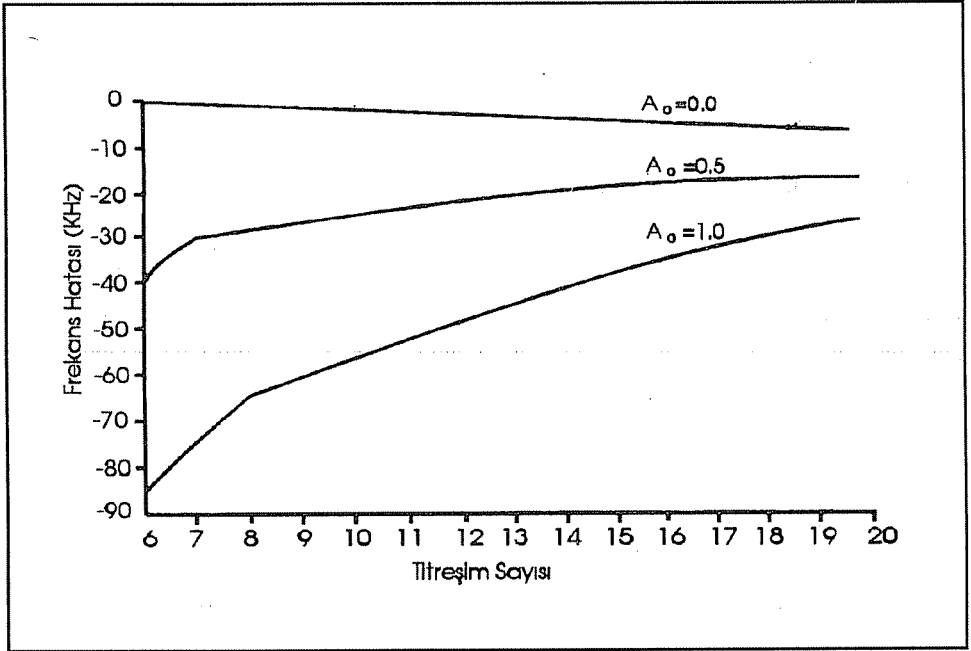
dönüştürücünün filtreleme yapması neden olur. Doppler kaymalı frekans spektrumundan sonra dönüştürücü filtreleme işlemi, alınan ortalama frekansın dönüştürücü merkez frekansına yaklaşmasına sebep olur. Dönüştürücü filtrelemesinden dolayı eğer uyarı dalgasının band genişliği, dönüştürücü band genişliğine nazaran geniş ise, eğim  $-f_0/c$  ye yaklaşır. Eğer titreşim sayısı dönüştürücü  $Q$  suna nazaran fazla ise ( $10$  yada daha büyük), eğim (22) denklemi ile belirlenir. Frekans kayma eğrisindeki hata doku parametreleri tarafından belirlenir.

Şekil-3 de değişik  $b$  değerleri [ $b=(1), (1,2), (1,4)$ ] için hedef hıza karşılık alınan ekodaki frekans kayması görülmektedir. Sonuçlar  $M=10$ ,  $A_0=0,5$  için elde edilmiştir. Burada yine hedef hızı ile lineer bir ilişki görülmektedir. Ortalama frekans kaymasında meydana gelen hata doku parametreleri  $b$  ile değişir.  $b=1$  den dolayı kaynaklanan hata, sadece  $-9\text{kHz}$  dir ve  $b=1,4$  için  $-23\text{ kHz}$  e yükselir.

Şekil 4' de  $b=1,4$  iken üç farklı  $A_0$  değeri için titreşim sayılarına karşılık ortalama frekanstaki hata görülmektedir. En üstte  $A_0=0$  için olan eğri, herhangi bir doku etkisinin olmamasına karşılık hatanın da olmadığını gösterir. Diğer iki eğri  $A_0=0,5$  ve  $A_0=1$  için ortalama frekans kayma hatalarını göstermektedir.  $A_0$  azaldıkça, alınan ekoya ait ortalama frekanstaki hata da azalmaktadır. Ultrasonik dalganın dokudaki katettiği yola ait etki  $A_0$  da kapsadığı için, dokusundaki kısa yol uzunluğu, ortalama frekansta az bir hatanın olmasına ve diğer yandan fazla sayıda gönderilen titreşim sayısı doku nedeniyle oluşan ortalama frekans hatasını meydana getiren küçük bir band genişliğinin oluşmasına neden olur.



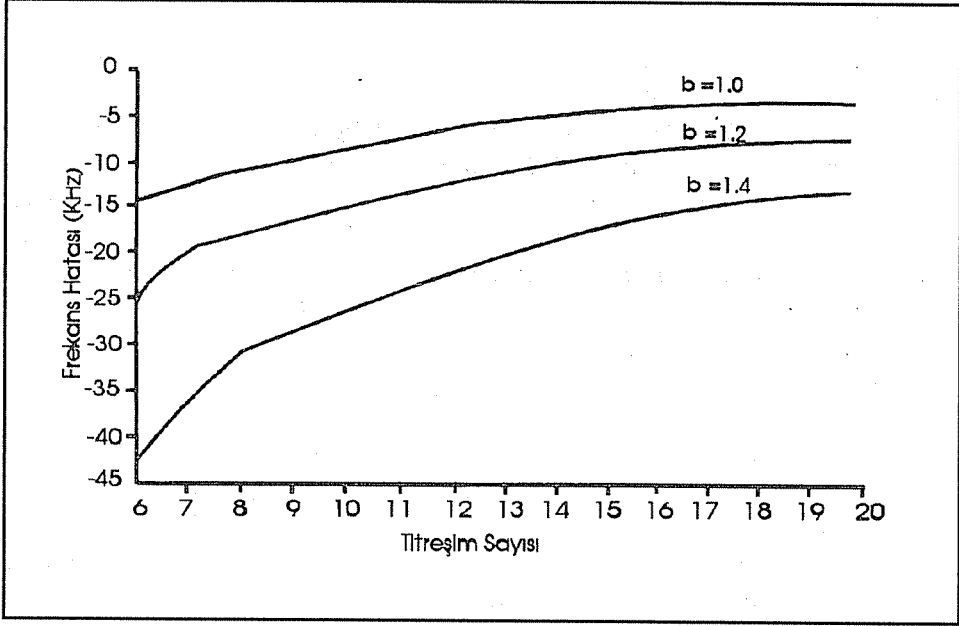
Şekil 3.  $A_0=0,5$  ve titreşim sayısı 10 iken farklı b değerleri için ortalama frekans kayması.



Şekil 4.  $b=1,4$  için titreşim sayısına karşılık ortalama frekansta meydana gelen hata.

Şekil-5 te,  $b=(1), (1,2), (1,4)$  ve  $A_0=0,5$  için titreşim sayılarına karşılık ortalama Doppler frekans hesabındaki hata görülmektedir. Bu durumda, gönderilen titreşim

sayısı arttıkça ve gönderilen band genişliği azaldıkça dokuda kaynaklanan hata da azalır. Bu durum özellikle, tek frekans bileşenli işaretin kullanıldığı sürekli dalga Doppler sistemlerinde mevcuttur çünkü bu sistemlerde sıfır band genişlikli işaret kullanılır. Hatta 20 titreşim kullanıldığı zaman bile  $A_0=0,5$  ve  $b=1$  için hata, hâlâ -4kHz dir.



Şekil 5.  $A_0=0,5$  iken, titreşim sayısına karşılık ortalama frekansta meydana gelen hatanın simülasyon sonucu.

Bu simülasyon sonuçlarına göre, eğer kan akış hızının hesaplanması için ortalama Doppler frekansı kullanılırsa, hata oranı yüksek olmaktadır. Hatta  $A_0=0,5$  ve  $b=1$  için 5 MHz de 20 titreşimli bir işaret kullanılsa bile, ortalama frekanstaki hata yaklaşık -4 kHz olur. Eğer aksenal hız -2 m/s olsaydı Doppler kayması 13,33 kHz olacaktır. -4 kHz lik hatadan dolayı alınan eko işareti 9,33 kHz lik frekans kaymasına sebep olacaktır. Sonuç olarak, eğer alınan ekolardaki frekans kayması -2 m/s lik bir hızı ölçmek için yorumlanırsa, gerçekte (20) denkleminde doku zayıflatma modeli ile verilen duruma göre hesaplanan hız -1,4 m/s olacaktır. Buradan da görüldüğü gibi Doppler akış hızı ölçümünde yumuşak dokularda oluşan frekansa bağlı zayıflama, neticeyi büyük ölçüde etkilemektedir.

Bu önemli problemin mevcut Doppler teknikleriyle çözümü mümkün gözükmemektedir (20). Bu Problemin "Zaman Domeni Doppler Metoduna" göre çalışılan Doppler tekniği ile çözülmesi mümkün olabilmektedir. Bu teknikte, ardarda

alınan iki ekonun korelasyonu yapılmakta, maksimum korelasyonun meydana geldiği yerdeki zaman kayması ortalama akış hızı ile orantılıdır. Buradan da anlaşılacağı gibi iki eko da, dokularda tamamen aynı etkiyle karşılaşmaktadır. Bu nedenle alınan işaretlerdeki doku etkisinin yok edilmesi mümkün görülmektedir.

#### 4. KAYNAKLAR

1. Chivers,R.C., Parry,R.J., *Ultrasonic velocity and attenuation in mammalian tissue, J.Acoust. Soc. Am.*, 63, 940-953, 1978.
2. Glover,G.H., Sharp,J.C., *Computerized time-of-flight ultrasonic tomography for breast examination, Ultrasound Med. Biol.*, 3, 117-127, 1977.
3. Wells,P.N.T., *Absorption and dispersion of ultrasound in biological tissue, Ultrasound Med. Biol.*, 1, 369-376, 1975.
4. Kuc,R., Schwartz,M., *Estimating the acoustic attenuation coefficient slop for liver from reflected ultrasound signals, IEEE Trans. Sonics Ultrasonics SU-26* 353-362, 1979.
5. Ophir,J., *Ultrasound attenuation measurements of in vivo human muscle, Ultrasonic Imaging*, 4, 290-295, 1982.
6. Kuc,R., *Clinical application of an ultrasound attenuation coefficient estimation technique for liver pathology characterization, IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 27, 312-319, 1980.
7. Gore,J.C., Leeman,S., *Ultrasonic backscattering from human tissue: a realistic model, Phy. Med. Biol.*, 22, 317-326, 1977.
8. Nicholas,D., *Evaluation of backscattering coefficients for excised human tissues: principles and techniques, Ultrasound Med. Biol.*, 7, 17-28, 1982.
9. Lizzi,F.L., Elbaum,M.E., *Clinical spectrum analysis techniques for tissue characterization, in Ultrasonic Tissue Characterization II, M.Linzer, ed., Nat.Bur.Stand. Spec.Publ. 525*, 11-119, 1979.
10. Chivers,R.C., *The scattering of ultrasound by human tissues: some theoretical models, Ultrasound Med. Biol.*, 3, 1-13, 1977.
11. Maunford,R.A., Wells, P.N.T., *Ultrasonic liver scanning: the quantitative analysis of the normal A-scan, Phys. Med. Biol.*, 17, 14-25, 1972.
12. Flax,S.W., *Spectral characterization and attenuation measurements in ultrasound, Ultrasonic Imaging*, 5, 95-116, 1983.
13. Kak,A.C., Dines,K.A., *Signal processing of broadband pulsed ultrasound: measurement of attenuation of soft biological tissues, IEEE Tras. Biomed. Eng.* 25, 321-344, 1978.
14. Dines,K.A., Kak,A.C., *Ultrasonic attenuation tomography of soft tissues, Ultrasonic Imaging*, 1, 16-33, 1979.
15. Angelsen,B.A.J., *Instantaneous frequency, mean frequency and variance of mean*



*frequency estimator for ultrasonic blood velocity Doppler signals, IEEE Trans. Biomed. Eng. Vol. BME-28, pp.733-41, 1981.*

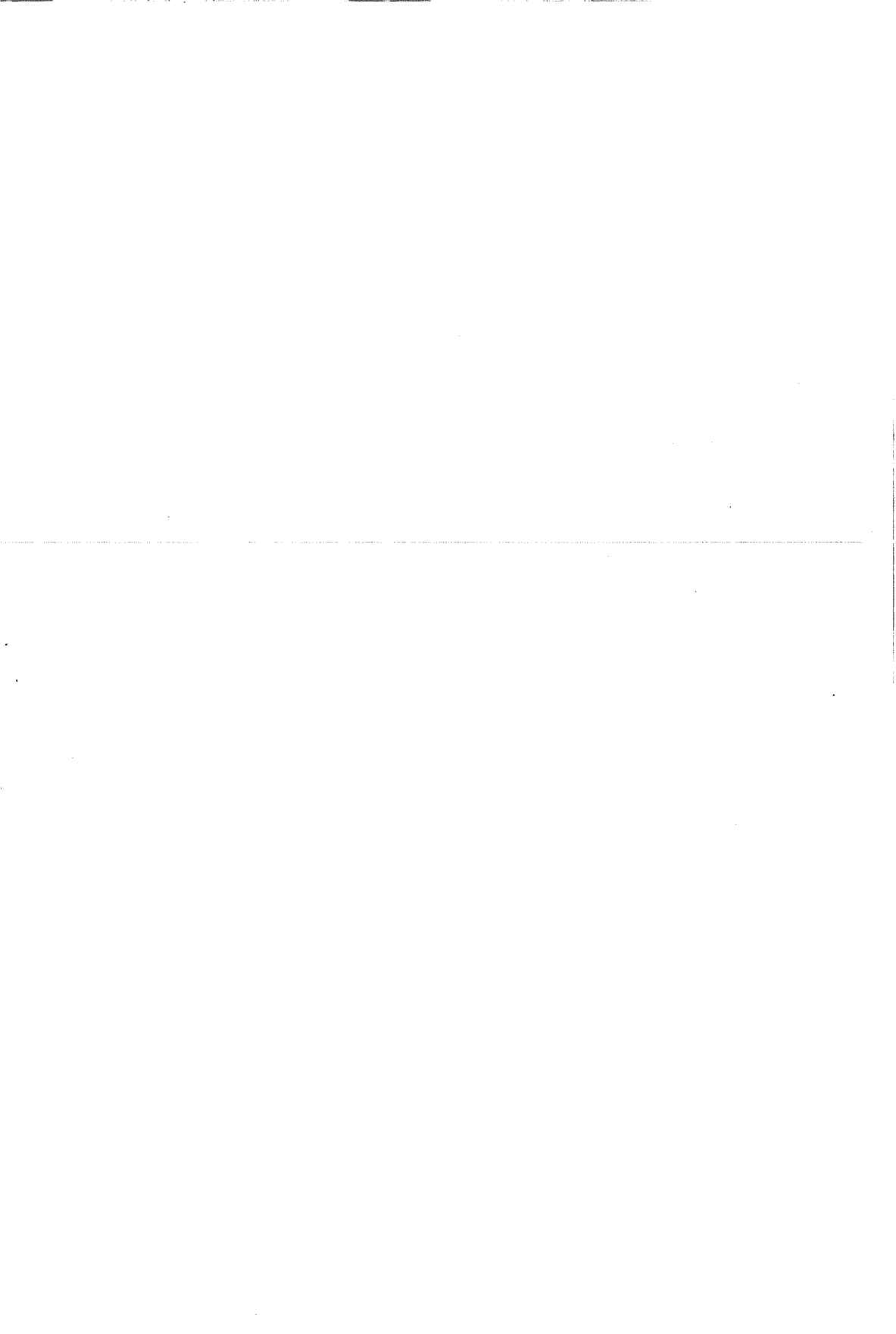
**16.** Goss,S.A., *Comprehensive compilation of empirical ultrasonic properties of mammalian Tissues, J. Acoust. Soc. Am., 64, 423-457, 1978.*

**17.** Goss,S.A., *Compilation of empirical ultrasonic properties of mammalian tissues II, J.Acoust. Soc.Am., 68, 93-108, 1980.*

**18.** Gerzberg,L., Meindl,J.D., *Power spectrum centroid detection for Doppler system applications, Ultrasonic Imaging, 2, 232-261, 1980.*

**19.** Ziemer,R.E., Tranter,W.H., *Principles of Communications, Systems, Modulation, and Noise, Houghton Mifflin Co. Boston, 1976.*

**20.** Güler,İ., *Geliştirilmiş bir ultrasonik darbeli Doppler kan akış ölçme düzeninde hata kaynaklarının analizi, Doktora Tezi, İ.T.Ü., 1990.*



ADANA HAVZASI TERSİYER YAŞLI GÜVENÇ FORMASYONU'NUN  
NANNOPLANKTON BİYOSTRATİGRAFİSİ VE BAZI RÖLATİF  
BATİMETRİK VERİLERİ\*

Nimet ÖZÇELİK

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

Vedia TOKER

A. Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara/Türkiye

Cengiz YETİŞ

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

**ÖZET :** Bu incelemede, Adana Havzası'nun 40 km kuzey-kuzeybatısında Karaisalı ilçesi ve Çukurköy dolaylarında yüzeyleyen Güvenç formasyonu'nun nannoplankton biyostratigrafisi ile rölatif batimetri bildiren türler üzerinde durulmuştur.

Bölgede Karaisalı - Güvenç - Kuzgun (2113 m) ve Çukurköy (108 m) stratigrafi kesitleri ölçülerek 217 örnek toplanmıştır. Tanınlanan 59 nannoplankton türü ile *Helicosphaera ampliaperta*, *Sphenolithus heteromorphus*, *Discoaster exilis*, *Discoaster kugleri* - *Catinaster coalithus* zonları belirlenmiştir. Bu zonlar, birimin Burdigaliyen - Serravaliyen zaman aralığında çökelmiş olduğunu göstermektedir. Transgresyon ve bunu izleyen regresyona göre *Braarudosphaera discula*, *Braarudosphaera bigelowi* türleri istifin taban ve tavan kesimlerinde bağıl olarak daha sığ deniz ortamını belirlerken; *Discoaster* cinsi nannofosiller ise istifin orta kesiminde ortamın maksimum derinliğe eriştiği evreyi işaret etmektedir.

NANNOPLANKTON BIOSTRATIGRAPHY AND SOME RELATIVE BATHYMETRIC  
DATA OF THE TERTIARY AGED GÜVENÇ FORMATION AT THE ADANA BASIN

**ABSTRACT :** Nannoplankton biostratigraphy and some relative bathymetric data of the Güvenç formation, which crops out around Karaisalı and Çukurköy areas of the Adana basin has been studied.

Karaisalı-Güvenç-Kuzgun (2113 m) and Çukurköy (108 m) stratigraphic sections were measured and 217 samples collected, 59 nannoplankton species were determined and *Helicosphaera ampliaperta*, *Sphenolithus heteromorphus*, *Discoaster exilis*, *Discoaster kugleri* - *Catinaster coalithus* nannoplankton zones have been defined. These zones suggest that the Güvenç Formation is deposited during Burdigalian - Serravalian. *Braarudosphaera discula*, *Braarudosphaera bigelowi* species indicate that relatively shallow marine environment of deposition; while *Discoaster* species suggest the deepest section of the environment with the result of transgression and following regression, during Miocene.

\*Bu çalışma Ç.Ü. Araştırma Fonu'na FBE-91-29 nolu proje çerçevesinde desteklenmiştir.

## 1. GİRİŞ

İnceleme alanı, Adana ilinin 40 km kuzeybatısında Karaisalı ilçesi ile Çukurköy çevresinde yer almaktadır (Şekil 1). Şeyl litolojili Güvenç formasyonu'ndan derlenen 217 örnekte nannoplankton türleri belirlenerek, biyozonlar, birimin çökeltme yaşı ve bağıl batimetrik veriler ortaya konmuştur.

Çalışma alanında Güvenç formasyonu'nun biri Kozan N34-a4, diğeri de Kozan N34-d1 paftasında olmak üzere iki farklı yüzleği bulunmaktadır. Bu alanlarda Çukurköy (108 m) ve Karaisalı - Güvenç - Kuzgun (2113 m) stratigrafi kesitleri ölçülerek 217 örnek alınmıştır. Laboratuvarında hazırlanan preparatlar, x1600 büyütümlü polarizan mikroskopta incelenip, nannoplankton tür ve biyozonları belirlenmiştir.

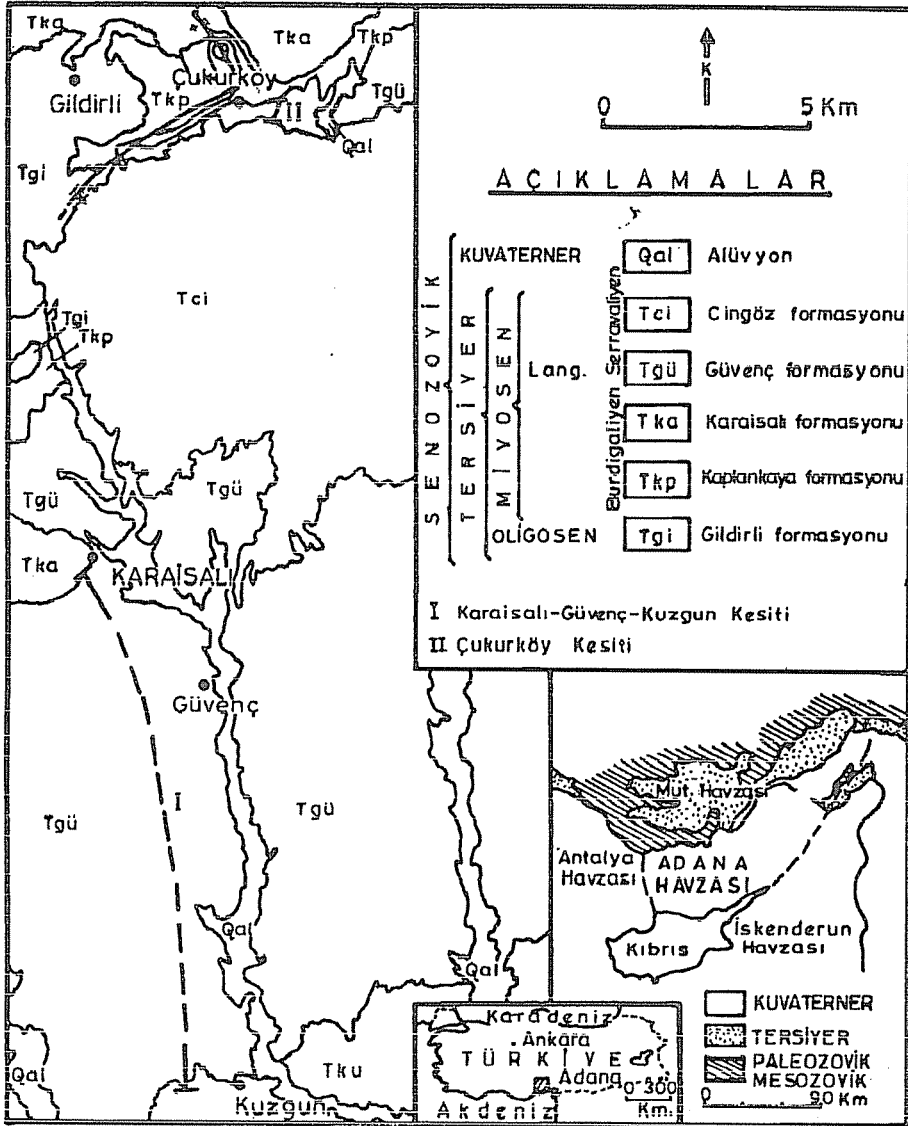
## 2. STRATİGRAFİ

Adana Havzası Tersiyer istifinde yer alan, Güvenç formasyonu Adana ilinin kuzeybatı kesiminde yüzeylenmektedir. Kuzeyde Toros Orojenik Dağ Kuşağı, batıda Ecemiş Fay Kuşağı, doğuda Amanos Dağları ile sınırlanmış olan Adana Havzası'nda Paleozoyik-Mezozoyik temel üzerinde Tersiyer istifi açısız uyumsuzlukla gelmekte olup, Kuvaterner'e ait taraça ve kalışiler ile örtülmektedir (1, 2).

### 2.1 Litostratigrafi

Adana Havzası'nda temeli Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı karbonatlar ile ofiyolit karmaşığı oluşturmaktadır (1, 2, 3, 4, 5). Paleozoyik - Mezozoyik istifin meydana geldiği engebeli topoğrafya üzerine Oligosen-Pliyosen zaman aralığında çökelmiş bulunan Tersiyer istifi, açısız uyumsuzlukla gelmektedir. Tersiyer istifi karasal Gildirli formasyonu ile başlayıp, Miyosen denizi transgresyonu ve ardalayan regresyonuna bağlı olarak Kaplankaya, Karaisalı, Cingöz, Güvenç, Kuzgun ve Handere formasyonu ile son bulmaktadır. İstifin tavanında Kuvaterner yaşlı taraça ve kalışı bulunmaktadır. Nannoplankton biyostratigrafisinin incelendiği Güvenç formasyonu, Schindt (6) tarafından Cingöz formasyonu'nun tabanında ayırtılan şeyl birimi, Köpekli şeyl üyesi ve Karaisalı-Cingöz formasyonlarının üzerindeki şeyl, Güvenç şeyli olarak belirtilmiştir. Yetiş (2) Köpekli şeyli ile Güvenç şeylini birlikte Güvenç formasyonu olarak incelemiştir (7). Birimin Gildirli - Karaisalı - Kuzgun alanında biri Cingöz formasyonu'nun güneyinde (Kozan N34-d paftası), diğeri kuzeyinde (Kozan N34-a) olmak üzere iki büyük yüzleği bulunmaktadır (Şekil 1).

Çukurköy kesitinde Güvenç formasyonu; sığ denizel-plaj nitelikli kırıntılı-kırıntılı karbonatlardan oluşan Kaplankaya formasyonu üzerinde yanal ve düşey geçişlidir (Şekil 1). Açık yeşilimsi gri-siyahımsı koyu gri renkli birim dayanımsız, belirgin katmansız, kıymıksı kırıklı, çok ince kumtaşı ve silttaşı arakatmanlıdır. Kahverengimsi gri - koyu gri renkli arakatmanlar paralel laminalı olup, yassılaştırmış küçük, ince



formasyonu'nu üzerlemektedir (Şekil 1).

Bu kesitte sığ deniz-plaj nitelikli Kaplankaya formasyonu üzerine gelen Güvenç formasyonu'nun ince kumtaşı-silttaşı arakatmanlı, açık yeşilimsi gri-siyahımsı koyu gri renkli, paralel laminalı şeyl olması, sığ denizden derin deniz ortamına geçişi ifade etmektedir. Ayrıca, piritleşmenin bulunması derin deniz ortamında aneorobik ortam koşullarının hakim olduğunu da işaret etmektedir.

Karaisalı-Güvenç-Kuzgun kesitinde birim; resifal nitelikli Karaisalı formasyonu üzerinde uyumlu olarak yer almakta ve yeşilimsi gri renkli, az belirgin laminalı, küresel ayrışmalı ve kıymıksı kırıklı şeyllerden oluşmaktadır. İstifin taban kesiminde sarımsı kahverengimsi gri renkli, sert-sağlam, silttaşı-ince kumtaşı arakatmanları gözlenmektedir. Bu arakatmanlar başlıca, as yuvarlak-küt köşeli kuvars, radyolarit, ofiyolit tanelerinden oluşur. Çapraz laminalı ve yer yer taban yapılarının gözleendiği bu düzeyler istifin orta kesimlerinde oldukça seyrek ve paralel laminalı silttaşının tane boyu yukarıya doğru incelenerek koyu yeşilimsi-siyahımsı gri renkli şeyle geçmektedir. Kalın şeyl düzeyleri içerisinde kavkı kırıntıları ile piritli kesimler dikkati çekmektedir. Birimin üst seviyelerinde kaba kırıntılılar ince kırıntılılardan daha fazladır ve gevşek tutturulmuş, dağılgan, kavkı kırıntıları içeren keskin tabanlı, paralel laminalı, bol bitki kırıntılı, kumtaşı yer almaktadır. Yoğun oksidasyon ile yer yer limonitleşmeli, aşınmalı taban ile başlayan sarımsı-kırmızımsı renkli, çok kalın katmanlı, maksimum tane boyu 1 cm'ye ulaşan ince çakıllı kumtaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşından oluşan Kuzgun formasyonu Kuzgun üyesinin karasal kırıntılıları Güvenç formasyonu'nu üzerler (1, 2, 8).

Güvenç formasyonu'nun, Karaisalı - Güvenç - Kuzgun kesitinde, resifal nitelikli Karaisalı formasyonu üzerinde yeşilimsi-gri renkli şeyl yapıllı olması, orta kesimlerde ise seyrek-ince kumtaşı-silttaşı arakatmanlı şeylin hakim olması, resifal ortamdan resif ilerisi ve derin denizel (havza) fasiyesine geçişi, piritleşmenin gözlenmesi ise aneorobik ortam şartlarında çökelmenin olduğunu, üst kesimlerde kaba kırıntılı oranının artarak karasal nitelikli Kuzgun formasyonu'na geçiş ise, ortamın sığlaştığını ifade etmektedir.

## 2. 2. Biyostratigrafi

Bu çalışmada biyostratigrafi zonları için tanımlamalar, Martini (1971) esas alınarak yapılmıştır. İki farklı kesitte gerçekleştirilen bu çalışmadan elde edilen nannofosil biyozonları Toker ve Yıldız (10)'ın Hatay yöresinin nannoplankton biyostratigrafisi adlı çalışmaları ile aynı seviyelerde olup, bunlar yaşlıdan gence doğru aşağıda sunulmuştur (11).

### **Helicosphaera ampliaperta Zonu (NN 4)**

**Tanım** *Sphenolithus belemnus* Bramlette ve Wilcoxon'un son görünümü ile *Helicosphaera ampliaperta* (Bramlette ve Wilcoxon)'un son görünümü arasındaki

süreçte oluşan kayalarla belirlenir.

**Zonu Tanımlayan** Bramlette ve Wilcoxon (12), Martini (9)'de düzeltme.

**Yaş** Erken Miyosen (Burdigaliyen)

**Lokalite** Çukurköy kesitinde bu zonun formları 1-9 nolu örnekler arasında tanımlanmıştır (Şekil 2).

**Yaygın Türleri** *Braarudosphaera bigelowi* Gran ve Braarud, *Reticulofenestra* sp. (R), *Dictyococcites bisecta* (Hay, Mohler ve Wade), *Ericsonia* sp., *Calsidiscus leptoporus* (Murray ve Beckman), *Cyclicargolithus floridanus* (Roth ve Hay), *Zygrhablithus bijugatus* (Deflandre), *Helicosphaera granulata* Bukry ve Percival, *Helicosphaera ampliaperta* Bramlette ve Wilcoxon, *Helicosphaera kamptneri* Hay ve Mohler (Levha-2, Şekil 1), *Helicosphaera parallela* Bramlette ve Wilcoxon, *Coccolithus miyopelajicus* Bukry (Levha-1, Şekil-5), *Sphenolithus compactus* Beckman, *Sphenolithus belemnus* Bramlette ve Wilcoxon, *Sphenolithus* sp., *Sphenolithus grandis* Haq ve Berggen, *Discoaster sanmiguelensis* Bukry, *Discoaster deflandrei* Bramlette ve Riedel, *Discoaster druggi* Martini ve Worsley, *Discoaster* sp.

**Sphenolithus heteromorphus** (NN 5)

**Tanım** *Helicosphaera ampliaperta* (Bramlette ve Wilcoxon)'un son görünümü ile *Sphenolithus heteromorphus* Deflandre'nin son görünümü arasındaki süreçte oluşan kayalarla belirlenir.

**Zonu Tanımlayan** Bramlette ve Wilcoxon (12)

**Yaş** Erken-Orta Miyosen (Burdigaliyen-Langhiyen)

**Lokalite** Çukurköy kesitinde bu zonun formları 9-22 nolu örnekler arasında tanımlanmıştır (Şekil 2).

**Yaygın Türleri** *Braarudosphaera bigelowi* Gran ve Braarud, *Dictyococcites bisecta* Hay, Mohler ve Wade, *Calsidiscus leptoporus* (Murray ve Beckman), *Cyclicargolithus floridanus* (Roth ve Hay), *Zygrhablithus bijugatus* (Deflandre), *Trocosphaera* sp., *Helicosphaera kamptneri* Hay ve Mohler (Levha-2, Şekil 1), *Helicosphaera mediterranea* Müller (Levha-2, Şekil 2), *Helicosphaera parallela* Bramlette ve Wilcoxon, *Helicosphaera burkei* Black, *Coccolithus miyopelajicus* Bukry (Levha-1, Şekil 5), *Sphenolithus conicus* Bukry, *Sphenolithus compactus* Beckman, *Sphenolithus belemnus* Bramlette ve Wilcoxon, *Sphenolithus* sp., *Sphenolithus editus* (R) Perch-Nielsen, *Sphenolithus heteromorphus* Bramlette ve Wilcoxon, *Sphenolithus primus* Perch-Nielsen (R), *Sphenolithus grandis* Haq ve Berggen, *Discoaster sanmiguelensis* Bukry, *Discoaster deflandrei* Bramlette ve Riedel, *Discoaster* sp., *Discoaster bollii* Martini ve Bramlette, *Discoaster exilis* Hay ve Martini (Levha-1, Şekil 1), *Pontosphaera enormis* Locker (R), *Catinaster calyculus* Martini ve Bramlette, *Micrantholithus* sp. (R).

T E R S İ Y E R																								S İ S T E M			
M İ Y O S E N																								S E R İ			
B U R D I G A L İ Y E N												L A N G H İ Y E N												K A T			
KAPLAN BAYA												G Ü V E N Ç												CNC07		F O R M A S Y O N	
109																								K A L İ N L İ K (m)			
1																								N U M U N E N O			
Helicosphaera ampliaperta (NN 4)						Sphenolithus heteromorphus (NN 5)												Discoaster ter exilis (NN 6)						B İ Y O Z O N		N A N N O F O S İ L B İ Y O Z O N V E T Ü R L E R İ	
-----						-----												-----						Brarrudosphaera bigelowi			
-----						-----												-----						Reticulofenestra sp. (R)			
-----						-----												-----						Dityococcites bisecta.			
-----						-----												-----						Ericsonia sp.			
-----						-----												-----						Caleidocua leptoporus			
-----						-----												-----						Cyclicargolithus floridanus			
-----						-----												-----						Zygohabithus bijugatus			
-----						-----												-----						Trocosphaera sp.			
-----						-----												-----						Helicosphaera granulata			
-----						-----												-----						Helicosphaera ampliaperta			
-----						-----												-----						Helicosphaera kamptneri			
-----						-----												-----						Helicosphaera mediterranea			
-----						-----												-----						Helicosphaera parallela			
-----						-----												-----						Helicosphaera burkel			
-----						-----												-----						Coccolithus miyapelajicus			
-----						-----												-----						Sphenolithus conicus			
-----						-----												-----						Sphenolithus compactus			
-----						-----												-----						Sphenolithus belemnus cf.			
-----						-----												-----						Sphenolithus sp.			
-----						-----												-----						Sphenolithus editus			
-----						-----												-----						Sphenolithus heteromorphus			
-----						-----												-----						Sphenolithus primus			
-----						-----												-----						Sphenolithus grandis			
-----						-----												-----						Discoaster eanmiguelensis			
-----						-----												-----						Discoaster deflandrei			
-----						-----												-----						Discoaster druggi			
-----						-----												-----						Discoaster sp.			
-----						-----												-----						Discoaster bollii			
-----						-----												-----						Discoaster exilis			
-----						-----												-----						Phontosphaera multipora (R)			
-----						-----												-----						Cretarhabdus cranulata (R)			
-----						-----												-----						Phontosphaera enormis (R)			
-----						-----												-----						Catinaster calyculus			
-----						-----												-----						Peeu.inversus (R)			
-----						-----												-----						Micrantholithus (R)			

Şekil 2. Çukurköy kesiti nannofosil tür ve biyozonları. (R) Reworked = Taşınmış



**Discoaster exilis Zonu (NN 6)**

**Tanım** *Sphenolithus heteromorphus* Deflandre'nin son görünümü ile *Discoaster kugleri* Martini ve Bramlette'nin ilk görünümü arasındaki süreçte oluşan kayaçlarla belirlenir.

**Zonu Tanımlayan** Hay (13), Martini ve diğ. (14)'de düzeltilme.

**Yaş** Orta Miyosen (Langhiyen)

**Lokalite** Bu zonun formları Çukurköy kesitinde 22-24 nolu örnekler, Karaisalı-Güvenç-Kuzgun kesitinde 1-80 nolu örnekler arasında tanımlanmıştır (Şekil 2,3).

**Yaygın Türleri** *Braarudosphaera bigelowi* Gran ve Braarud, *Braarudosphaera discula* Bramlette ve Riedel (Levha-2.Şekil 3), *Reticulofenestra* sp., *Helicosphaera kampneri* Hay ve Mohler (Levha-2, Şekil 1), *Coccolithus miyopelajicus* Bukry (Levha-1, Şekil 5), *Sphenolithus heteromorphus* Bramlette ve Wilcoxon, *Discoaster sanmiguelensis* Bukry, *Dictyococcitus productus* (Kamptner), *Ericsonia cava* Hay ve Mohler, *Cyclicargolithus floridanus* (Roth ve Hay), *Helicosphaera perch-nielseniae* Haq (R), *Helicosphaera pacifica* Müller ve Brönnimann, *Helicosphaera scissura* Müller, *Helicosphaera parallela* Bramlette ve Wilcoxon, *Helicosphaera* sp., *Sphenolithus conicus* Bukry, *Sphenolithus compactus* Beckman, *Sphenolithus* sp., *Sphenolithus dissimilis* Bukry ve Percival, *Sphenolithus primus* Perch-Nielsen (R), *Sphenolithus grandis* Haq ve Berggen, *Discoaster variabilis* Martini ve Bramlette (Levha-1, Şekil 2), *Discoaster deflandrei* Bramlette ve Riedel, *Discoaster* sp., *Discoaster exilis* Hay (Levha-1, Şekil 1), *Discoaster pseudovariabilis* Martini ve Worsley (Levha-1, Şekil 3), *Discoaster tani* Bramlette ve Riedel (R), *Pontosphaera multipora* (Kamptner) (R), *Discoaster calculus* Bukry (R), *Cyclicargolithus abisectus* (Müller), *Biantholithus* sp. (R), *Helicosphaera recta* Haq, *Helicosphaera intermedia* Martini, *Rhabdolithus solus* Perch-Nielsen (R), *Chasmolithus grandis* (Bramlette ve Riedel) (R), *Pemma* sp.

**Discoaster kugleri (NN 7)-Catinaster coalithus (NN 8) Zonu**

**Tanım** *Discoaster kugleri* Bramlette ve Wilcoxon'un ilk görünümü ile *Catinaster coalithus* Bramlette ve Wilcoxon'un ilk görünümü arasındaki süreçte oluşan kayaçlarla belirlenir.

*Catinaster coalithus* zonu, *Catinaster coalithus*' un ilk görünümü ile başlar. Ancak bu form yüksek enlem derecelerinde yer aldığından örneklerimizde *Catinaster coalithus* türü fosiller bulunmamıştır. Bu nedenle *Discoaster kugleri* (NN 7) ile *Catinaster coalithus* (NN 8) Zonlarının sınırını çizmek olanaksızdır. Fakat, *Catinaster coalithus* zonu, *Discoaster exilis* 'in son görünümü ile başlamaktadır ve kesitimizde *Discoaster exilis* 'in son görüldüğü seviyeden itibaren *Catinaster coalithus* Zonu başlamaktadır. Bu nedenle *Discoaster kugleri* ve *Catinaster coalithus* Zonları bir arada gösterilmiştir.

**Yaş** Orta Miyosen (Serravaliyen)

SİSTEM									
SERİ									
KAT									
FORMASYON									
KALINLIK (m.)									
NUMUNE NO									
BİYOZON									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45					

NANNOFOSİL BİYOZON - TÜRLERİ

DISCOASTER EXILIS (NN6) DISCOASTER KUGLERI (NN7)-CATINASTER COALITHUS (NN8)

11. B. bigelowi
12. B. discuta
13. R. sp.
14. Di. productus
15. E. cava
16. Calcidiscus lepaporus
17. Cyclicargolithus floridanus
18. Zygnolothus bigelawi
19. H. perch-nietmayeri
20. H. pacifica
21. H. scissura
22. M. kamptneri
23. H. mediterranea
24. H. parallela
25. H. sp.
26. Coccolithus myopetalicus
27. S. conicus
28. S. compactus
29. S. morinorffis
30. S. sp.
31. S. editus
32. S. dissimilis
33. S. primus
34. S. grandis
35. D. variabilis
36. D. deflandrei
37. D. kugleri
38. D. sp.
39. D. bollii
40. D. exilis
41. D. pseudovarlabilis
42. D. tani
43. Pontosphaera multipora
44. D. calcitosus
45. Cyclicargolithus abisectus
46. Microolithus
47. Biorolithus sp.
48. H. cf. obliqua
49. H. recta
50. H. intermedia
51. Rhabdolithus procerus
52. R. solus
53. R. sp.
54. Chiasmolithus grandis
55. Pemma sp.
56. B. braarudosphæra
57. Dictyoecites
58. Helicosphaera
59. Discoaster
60. Rhabdolithus

Şekil 3. Karaisalı - Güvenç - Kuzgun kesiti nannofosil tür ve biyozonları.

**Lokalite** Bu zonun formları Karaisalı-Güvenç-Kuzgun kesitinde 80-193 nolu örnekler arasında tanımlanmıştır (Şekil 3).

**Yaygın Türleri** *Braarudosphaera bigelowi* Gran ve Braarud, *Braarudosphaera discula* Bramlette ve Riedel (Levha-2, Şekil 3), *Reticulofenestra* sp. (R), *Dictyococcites productus* (Kamptner), *Ericsonia cava* (Hay ve Mohler), *Calsidiscus leptoporus* (Murray ve Beckman), *Zygrhablithus bijugatus* (Deflandre), (R), *Helicosphaera pacifica* Müller ve Brönnimann, *Helicosphaera scissura* Müller, *Helicosphaera kamptneri* Hay ve Mohler (Levha-2, Şekil 1), *Helicosphaera mediterranea* Müller (Levha-2, Şekil 2), *Helicosphaera parallela* Bramlette ve Wilcoxon, *Helicosphaera* sp., *Coccolithus miyopelajicus* Bukry (Levha-1, Şekil 5), *Sphenolithus conicus* Bukry, *Sphenolithus compactus* Beckman, *Sphenolithus moriformis* (Bronnimann ve Stradner), *Sphenolithus* sp., *Sphenolithus editus* Perch-Nielsen, *Sphenolithus primus* Perch-Nielsen, *Sphenolithus grandis* Haq ve Berggen, *Discoaster variabilis* Martini ve Bramlette (Levha-1, Şekil 2), *Discoaster deflandrei* Bramlette ve Riedel, *Discoaster kugleri* Bramlette ve Wilcoxon (Levha-1, Şekil 4), *Discoaster* sp., *Discoaster bollii* Martini ve Bramlette, *Discoaster exilis* Hay (Levha-1, Şekil 1), *Discoaster pseudovariabilis* Martini ve Worsley, *Pontosphaera multipora* (Kamptner) (R), *Discoaster calculus* Bukry (R), *Cyclicargolithus abisectus* (Müller), *Micrantholithus* sp. (R), *Biantholithus* sp. (R), *Helicosphaera* cf. *obliqua* Bramlette ve Wilcoxon, *Rhabdolithus procera* Martini, *Rhabdolithus* sp., *Chiasmolithus grandis* (Bramlette ve Riedel) (R), *Pemma* sp.

### 3. RÖLATİF BATİMETRİK DEĞERLENDİRME

Karaisalı-Güvenç-Kuzgun (2113 m) ve Çukurköy (108 m) kesitlerinden derlenen 217 örnekte toplam 59 nannoplankton türü tanımlanmıştır. Bunlardan *Braarudosphaera discula* ile *Braarudosphaera bigelowi* sığ deniz ortamına özgüdür (15). Sayıca oldukça az olmalarına karşılık bunlar istifin taban/tabana yakın ve tavan/tavana yakın kesimlerinde gözlenmektedir. Taşınmış fosiller dışındaki 33 nannoplankton türü derin deniz ortamını işaret etmekte olup, bunlardan 8'i *Discoaster* cinsine aittir (15). Özellikle *Discoaster* cinsi nannoplanktonlar istifin orta/ortaya yakın kesiminde yoğunluk kazanmaktadır.

Çukurköy kesitinin orta-üst kesiminde *Discoaster sanmiguelensis*, *Discoaster deflandrei*, *Discoaster druggi*, *Discoaster bollii* ve *Discoaster exilis* türleri sayı olarak oldukça bol bulunmaktadır. Karaisalı - Güvenç - Kuzgun kesitinin orta kesiminde ise *Discoaster variabilis*, *Discoaster kugleri*, *Discoaster pseudovariabilis*, *Discoaster deflandrei*, *Discoaster exilis* ve *Discoaster bollii* türleri gözlenmekte olup, yine sayı olarak oldukça çoktur.

İstifin taban kesiminde sığ deniz ortamını işaret eden nannoplanktonların bulunması; orta kesimlerde sığ denizel formların yok olarak derin denizel formların çoğunlukta olması; tavana doğru ise tekrar sığ deniz ortamına ait formların ortaya çıkarak tavana

**LEVHA-1**  
**PLATE-1**

**Şekil 1 :** *Discoaster exilis* Martini ve Bramlette (1963), normal ışık, örnek no : 129, Karaisalı-Güvenç-Kuzgun Ö.S.K.

**Figure 1 :** *Discoaster exilis* Martini and Bramlette (1963), transmitted light, sample number : 129, Karaisalı-Güvenç-Kuzgun M.S.S.

**Şekil 2 :** *Discoaster variabilis* Martini ve Bramlette (1963), normal ışık, örnek no :144, Karaisalı-Güvenç-Kuzgun Ö.S.K.

**Figure 2 :** *Discoaster variabilis* Martini and Bramlette (1963), transmitted light, sample number : 144, Karaisalı-Güvenç-Kuzgun M.S.S.

**Şekil 3 :** *Discoaster pseudovariabilis* Martini ve Worsley (1971), normal ışık, örnek no : 42, Karaisalı-Güvenç-Kuzgun Ö.S.K.

**Figure 3 :** *Discoaster pseudovariabilis* Martini and Worsley (1971), transmitted light, sample number : 42, Karaisalı-Güvenç-Kuzgun M.S.S.

**Şekil 4 :** *Discoaster kugleri* Martini ve Bramlette (1963), normal ışık, örnek no 81, Karaisalı-Güvenç-Kuzgun Ö.S.K.

**Figure 4 :** *Discoaster kugleri* Martini and Bramlette (1963), transmitted light, sample number : 81, Karaisalı-Güvenç-Kuzgun M.S.S.

**Şekil 5 :** *Coccolithus miyopelijicus* Bukry (1971),

a. polarize ışık,

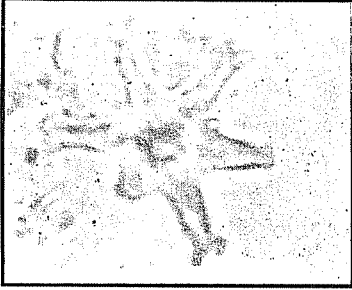
b. normal ışık, örnek no : 144, Karaisalı-Güvenç-Kuzgun Ö.S.K.

**Figure 5 :** *Coccolithus miyopelijicus* Bukry (1971),

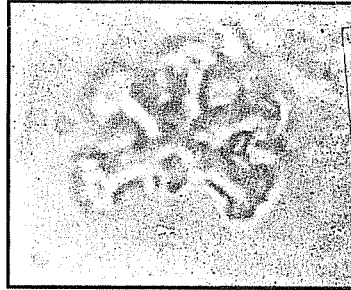
a. polarized light,

b. transmitted light, sample number : 144, Karaisalı-Güvenç-Kuzgun M.S.S.

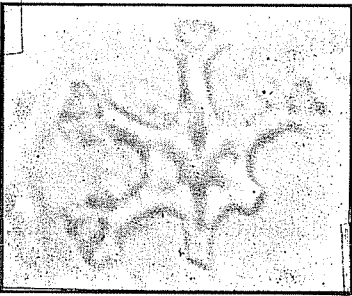
LEVHA -1  
PLATE - 1



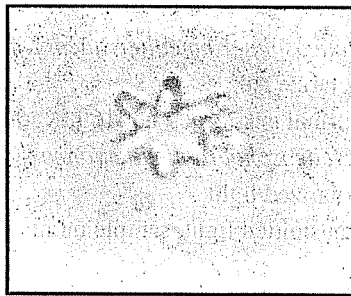
1 3.3  $\mu\text{m}$



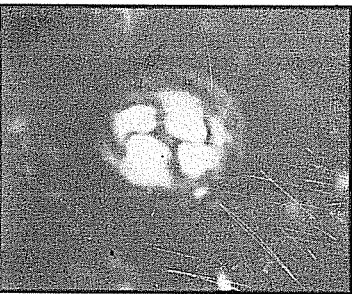
2 3.5  $\mu\text{m}$



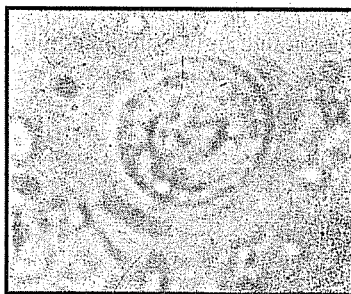
3 2.7  $\mu\text{m}$



4 6.6  $\mu\text{m}$



5a 5  $\mu\text{m}$



5b 5  $\mu\text{m}$

LEVHA-2

PLATE-2

Şekil 1 : *Helicosphaera kamptneri* Hay ve Mohler (1967),

a. polarize ışık,

b. normal ışık, örnek no :144, Karaisalı-Güvenç-Kuzgun Ö.S.K.

Figure 1 : *Helicosphaera kamptneri* Hay ve Mohler (1967),

a. polarized light,

b. transmitted light, sample number : 144, Karaisalı-Güvenç-Kuzgun M.S.S.

Şekil 2 : *Helicosphaera mediterranea* Müller (1981),

a. polarize ışık,

b. normal ışık, örnek no :169, Karaisalı-Güvenç-Kuzgun Ö.S.K.

Figure 2 : *Helicosphaera mediterranea* Müller (1981),

a. polarized light,

b. transmitted light, sample number : 169, Karaisalı-Güvenç-Kuzgun M.S.S.

Şekil 3 : *Braarudosphaera discula* Gran ve Braarud (1935),

a. polarize ışık,

b. normal ışık, örnek no :193, Karaisalı-Güvenç-Kuzgun Ö.S.K.

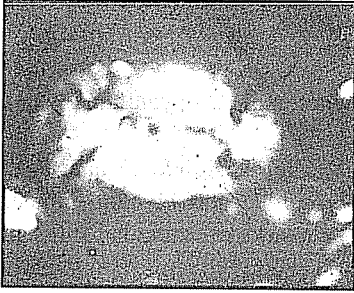
Figure 3 : *Braarudosphaera discula* Gran ve Braarud (1935),

a. polarized light,

b. transmitted light, sample number : 193, Karaisalı-Güvenç-Kuzgun M.S.S.

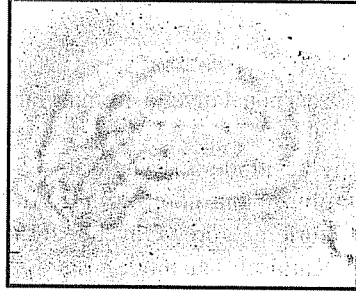
LEVHA -2

PLATE - 2



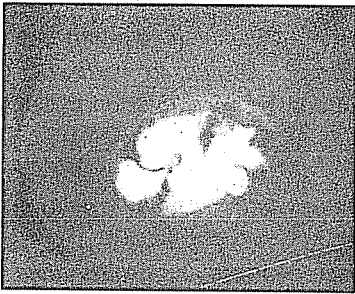
1a

2.8  $\mu\text{m}$



1b

2.8  $\mu\text{m}$



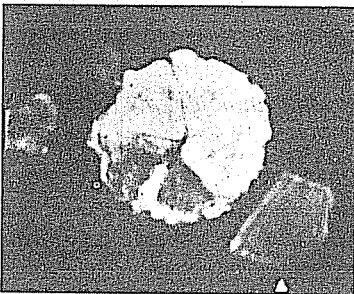
2a

4.7  $\mu\text{m}$



2b

4.7  $\mu\text{m}$



3a

4.2  $\mu\text{m}$



3b

4.2  $\mu\text{m}$

doğru derin denizel formların kademeli bir şekilde azalarak yok olması, sığ denizden havza fasiyesine geçişi ve daha sonrada tekrar sığlaşan bir denizel ortamı işaret etmektedir. Sedimenter petrografik veriler ile planktik-bentik foraminifer bolluk oranları da aynı olguyu desteklemektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Adana Havzası'nda Güvenç formasyonu'nda, nannofosillere dayanılarak yapılan bu çalışmada;

1. Çukurköy kesitinde 36, Karaisalı - Güvenç - Kuzgun kesitinde 45 nannofosil türü tanımlanmış olup, buna göre birimde Alt-Orta Miyosen'de dört biyozen saptanmıştır. Tanımlanan türlere göre Güvenç formasyonu Çukurköy alanında Burdigaliyen-Langhiyen; Karaisalı alanında ise Langhiyen - Serravaliyen zaman aralığında çökelmiştir.

2. Nannofosil türlerinden *Braarudosphaera discula*, *Braarudosphaera bigelowi* transgresyon ve regresyona bağlı olarak istifin taban ve tavanında bağlı olarak daha sığ deniz ortamını karakterize ederken; *Discoaster* cinsi nannofosiller sayıca fazla olup, istifin orta kesiminde derin deniz ortamını işaret etmektedir. Havzanın maksimum derinliğe eriştiği, derin deniz ortamını işaret eden nannofosilleri; *Discoaster sanmiguelensis*, *Discoaster deflandrei*, *Discoaster druggi*, *Discoaster bollii*, *Discoaster exilis*, *Discoaster variabilis*, *Discoaster kugleri*, *Discoaster pseudovariabilis* dir.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Yetiş, C., Demirkol, C., 1986, Adana baseninin batı kesiminin detay jeolojisi etüdü I. M.T.A. Rapor No: 8037, 187 s.
2. Yetiş, C., 1988, Reorganization of the Tertiary stratigraphy in the Adana basin, southern Turkey. *Newsl. Stratigr.*, 20 (1), 43-58.
3. Yetiş, C., 1978, Çamardı (Niğde) Yakın ve uzak dolayının jeoloji incelemesi ve Ecemiş Yarılım Kuşağının Maden Boğazı-Kamuşlu arasındaki özellikleri. İst. Üniv. Fen Fak. Doktora Tezi, 164 s.
4. Lagap, H., 1985, Kıralan - Karakılıç - Karaisalı (NW Adana) alanının litostratigrafik - kronostratigrafik incelemesi. Ç.Ü. Fen Bil. Enst., Jeoloji Müh. Böl., Yüksek Lisans Tezi, 77 s.
5. Ünlügöç, U.C., 1986, Kızıldağ yayla (Adana) dolayının jeolojik incelemesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi, 77 s.
6. Schmidt, G. C., 1961, Stratigraphic nomenclature for the Adana region petroleum district. *Petroleum Administration Bull*, 6., 47-63 s.
7. Nazik, A. ve Toker, V., 1986, Karaisalı yöresi Orta Miyosen istifinin foraminifer biyostratigrafisi. *M.T.A. Dergisi*, No: 103/104, 139-150.
8. Yetiş, C., Demirkol, C., Kerey, E., 1986, Adana havzası Kuzgun formasyonunun (Üst Miyosen) fasiyes ve ortamsal nitelikleri. *T.J.K. Bült.*, 29, 81-96.
9. Martini, E., 1971, *Standart Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton*



zonation. II Planktonic conf., Roma, 739-803.

10. Toker, V., Yıldız, A., 1991, Hatay yöresi nannoplankton biyostratigrafisi. Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Ahmet Acar Jeoloji Semp., 199-212.

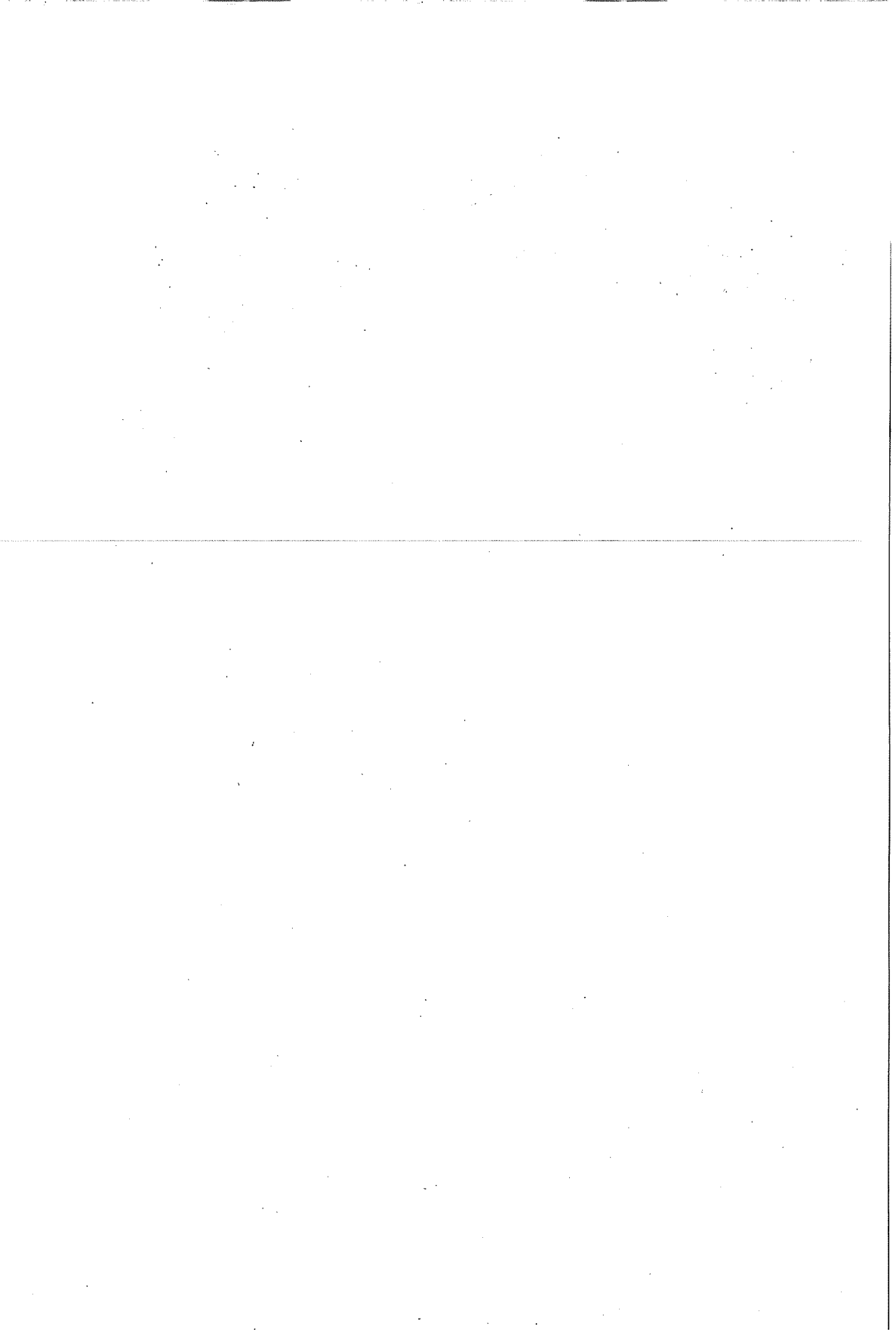
11. Toker, V., 1985, Korkuteli yöresi (KB Antalya) nannoplankton biyostratigrafi incelemesi. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, s. 47.

12. Bramlette, M. N. Wilcoxon, J. A., 1967, Middle Tertiary Calcareous nannoplankton of the cipero section, Trinidad W.I. Tulane Stud. Geol., 93-131.

13. Hay, W. W., 1970, Calcareous nanofossils from cores recovered on Leg 4. Initial Rep. Deep Sea drill. Proj. 4, 445-501.

14. Martini, E., In : E. Martini and V. Moiescu, 1974, Nannoplankton - untersuchungen in Oligozanen ablagerungen zwischen cluj und Hu edin (NW Siebenbürgisches Becken, Rumanien). Neues Jahrb. Geol. Palaentol. Monatshefte, 1, 18-37.

15. Perch-Nielsen, K., 1985, Cenozoic calcareous nanofossils, In : Bolli, H. M., Saunders, J. B., Perch-Nielsen, K., 427-554.



## AKİNEK-DORUCALI-ÇANAKPINAR (ALADAĞ KUZEYİ, ADANA) KROMİT YATAKLARI VE EKONOMİK DEĞERLENDİRMESİ \*

Mesut ANIL

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

Hasan YILDIZ

M.T.A., Genel Müdürlüğü, Ankara/Türkiye

Mustafa AKYILDIZ

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

**ÖZET:** *İnceleme alanı Pozantı-Karsantı ofiyolitik kompleksi üzerinde ve Adana ili, Aladağ ilçesi kuzeyinde yer almaktadır. Bu kompleks çeşitli litolojiler üzerinde allokon konumludur. Bölgede genellikle podiform tipte kromit yatakları varlığı yanında, dünitik kümülatlar içinde yanıl devamlılığı kilometreleri bulan bandlı (stratiform) tipte cevherleşmeler de izlenir. İnceleme alanında M.T.A. tarafından yapılan ve toplam olarak 10 000 m'yi geçen sondajlarla varlığı saptanan % 9-16 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü 200 milyon ton banılı kromit cevheri Türkiye için önemli potansiyel oluşturmaktadır. Öte yandan özellikle tektonitler içinde, dünitik bir zarfla çevrili, yüksek tenörlü fakat küçük rezervli podiform tipte cevherleşmeler de küçümsenmeyecek derecede önemlidir.*

*Bandlı ve podiform tipdeki cevher örnekleri üzerinde yapılan mikroskopik gözlemler kromitin esas cevher mineralini oluşturduğunu göstermektedir. Kromit kristallerinin çatlaklarında veya tamamen serpantinleşmiş gang içinde çoğu 10-50 mikron arasında değişen pendlandit, çok ince millerit iğneleri, seyrek olarak heazlewodit ve awaruit (josphinite) izlenmektedir. Ayrıca kromit kristallerinin çatlaklarında ve çeperlerinde gelişen manyetitleşmeler görülür.*

## CHROMITE DEPOSİTS OF AKİNEK-DORUCALI-ÇANAKPINAR (NORTH OF ALADAĞ, ADANA) AND THEIR ECONOMIC EVALUATION \*

**ABSTRACT:** *Study area located in the north of Aladağ in Adana province is on the Pozantı-Karsantı ophiolitic complex. This complex is allacthonous on the various lithological units. In the region, there are not only generally podiform type chromite deposits, but also banded (stratiform) type mineralization found in the dunitic cumulates presenting lateral continuity several kilometers. The existence of the 200 million tons banded chromite 9-16 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> which is an important potential for Turkey, was found by MTA at the end of the totally 10 000 m drilling, in the region. On the other hand, the podiform type mineralizations which are especially found in the*

\* Bu çalışma Ç.Ü. Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir / This study was supported by the Research Fund of Çukurova University

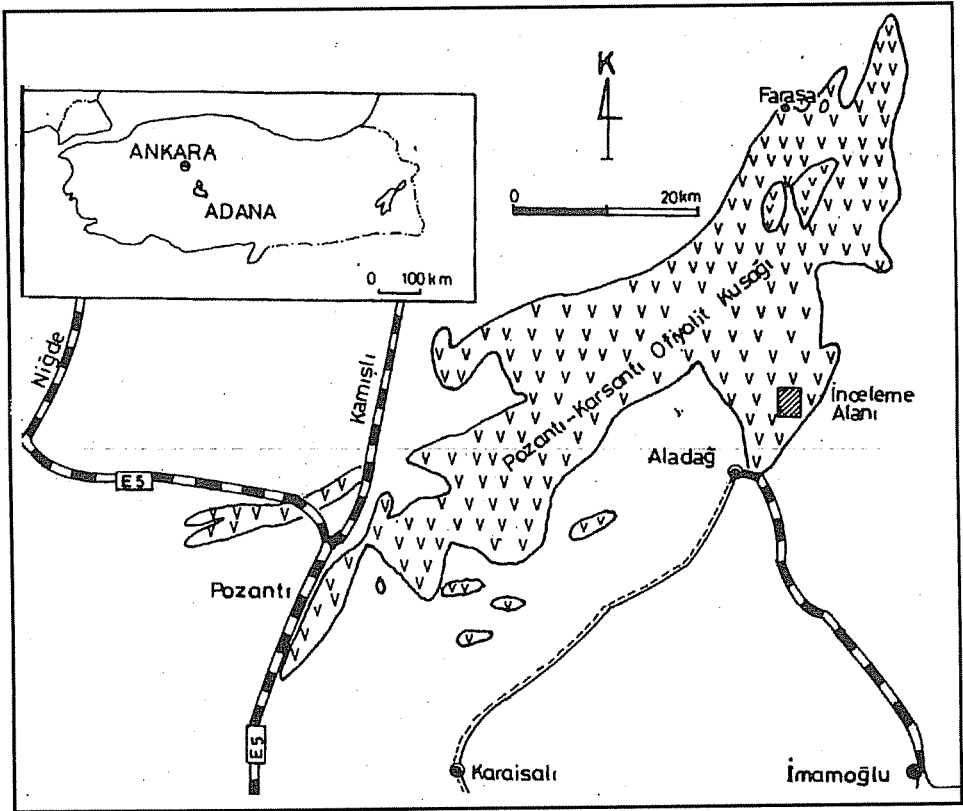
tectonites surrounded with a dunitic sheathe, representing high tenor low reserve, are equally important.

Microscopic investigations on the samples of banded and porphyritic type mineralizations show that these two types are composed of main chromite minerals. 10-50 micron thick pseudobrookite, millerite needles, rarely heazlewoodite and awaruite (josephinite) are defined in the fracture of the chromite crystals or completely serpentinized gang. In addition, transformation magnetite of chromite is described in the fracture and around the chromite crystals.

## 1. GİRİŞ

Çalışma alanı Adana ili, Aladağ ilçesinin kuzeyinde yer almakta olup, Aladağ'a (Karsanti) uzaklığı yaklaşık 8-10 km 'dir (Şekil 1).

Burada görülen önemli krom ocakları, Çanakpınarı, Kızılyüksek, Dorucali, Kavasak, Dereocak, Akinek bölgesi ve diğer ocaklardır.



Şekil 1. İnceleme Alanının Pozanti - Karsanti Ofiyolit Kompleksi İçindeki Yeri

Pozantı'dan Farasa'ya kadar yaklaşık 110 km uzunluğundaki ofiyolitik kompleks GB-KD doğrultusunda yüzeylemekte ve en geniş yerinde 30 km kadarlık bir alanı kapsamaktadır. Burada rölatif olarak otokton ve allakton birimler yüzeyler. Bu ofiyolitik kompleks doğuda Paleozoyik yaşlı formasyonlar üzerine oturur (1-16). Batıdan dar gerilme zonu, Eosen, Oligosen ve Neojen çökelleri ve Tersiyer volkanizmasına ait andezit bileşimli lav akıntılarıyla dolmuş Ecemiş koridoru tarafından ikiye ayrılır. Güneyde Aladağlar üzerine şariyahlı olan bu masif, yine güneyde kumtaşı ve marn bileşimli molasik bir seviye ile sınırlanmıştır (7-8,13).

Bu çalışmanın amacı Karsantı (Aladağ) kuzeyinde yer alan gerek podiform ve gerekse bandlı kromitler üzerinde yataklanma ve cevher tipleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesidir. Ayrıca mikroskopik gözlemlerle parajenezde yer alan tüm minerallerin saptanması ve bölgenin ekonomik boyutunun belirlenmesi esas alınmıştır.

## 2. JEOLJİK KONUM

### 2.1. Stratigrafi

Bölgede Paleozoyik (metamorfik), Jura ve Kretase yaşlı kayaç birimleri ile Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yüzeyler (Şekil 2). İnceleme alanında Paleozoyik yaşlı birimler şeyl, kuvarsit ve yer yer mermerleşme özelliği gösteren kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bu birim üzerine açısız uyumsuzlukla Jura-Kretase yaşlı dolomitik kireçtaşları gelmektedir. Bunların üzerine de Üst Kretase (Maestrihtiyen)'de tektonik olarak ofiyolitik kompleks yerleşmiştir. Daha çok molas ve filiş karakterli Karsantı Baseni uyumsuz olarak ofiyolitik birlik üzerinde oluşmuştur. Yer yer konglomeratik özellik gösteren ve içinde ofiyolitik malzeme içeren bu kayaçlar üst seviyelere doğru filişik bir karakter kazanmakta ve kuzeye doğru derinlik artmakta ve tabaka kalınlıkları incelmektedir. Bu formasyonlar içinde bulunan fosillerden Üst Miyosen (Ponsiyen) yaşlı oldukları anlaşılmıştır (13).

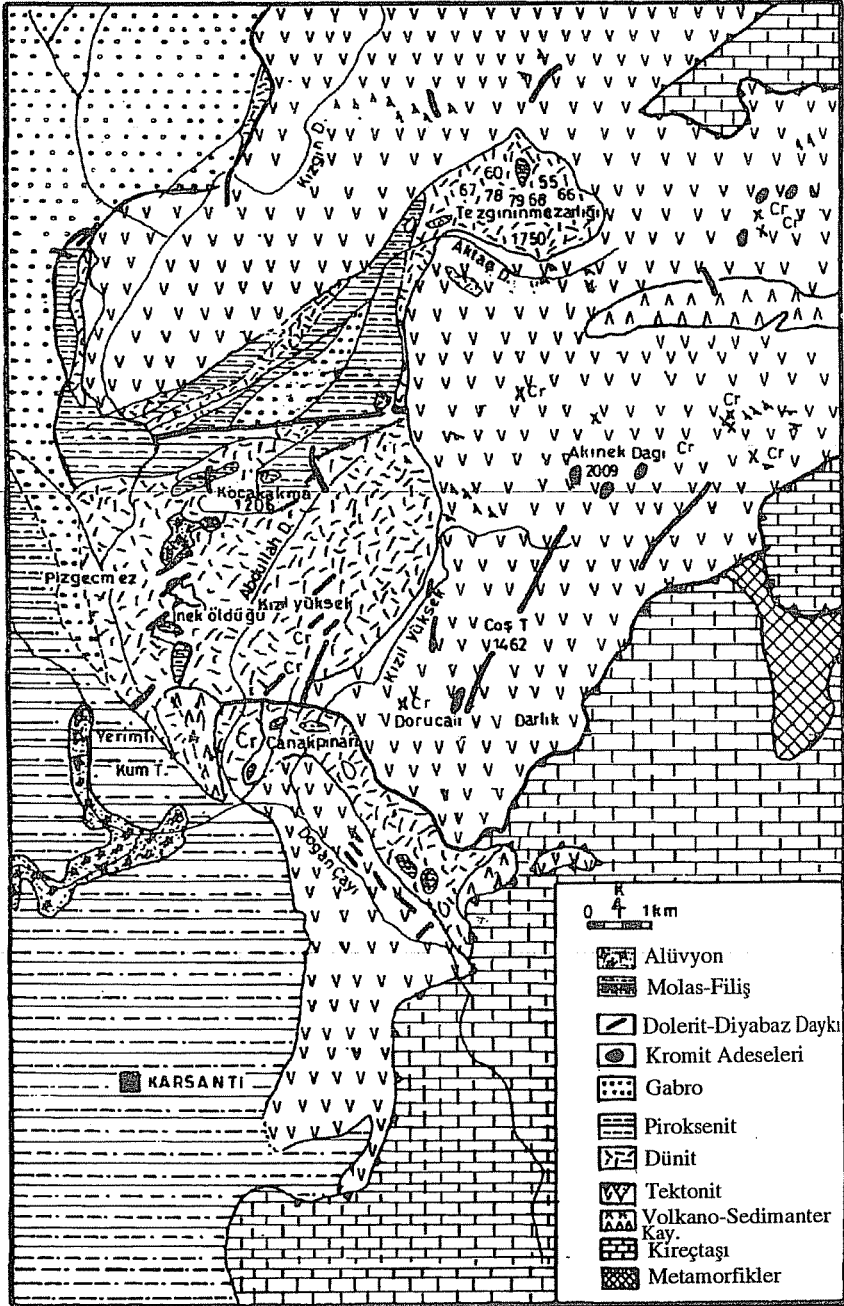
### 2.2. Petrografi

#### 2.2.1. Tektonitler

Çalışma sahasında harzburjit, dünit ve yer yer bunları kesen gabro ve piroksen damarlarından oluşan tektonitler oldukça yaygındır. Bunların içinde çoğu dünitik zarflarla çevrili kromit damar ve adeseleri yer alır. Yine harzburjitik tektonitler içine tektonik olarak yerleştiği belli olan dünitik zonlarda saçınımlı kromit içeren cevher bandlarıyla, steril bandlar ardalanmalı olarak gözlenmektedir. Bu bandların kalınlıkları 1-8 cm kadar olup, en yaygın görüldükleri ocaklar Kavasak-Dorucali-Dereocak mevkiileridir (Şekil 2).

#### \*Harzburjitler

Taze yüzeyleri yeşil zeytin rengiyle karakteristik olan harzburjitler içindeki ortopiroksenler çıplak gözle de farkedilmekte olup, ayrılmış yüzeylerinde açık kahverengi bir renk hakimdir. Yer yer kalınlıkları bir kaç santimetreyi geçmeyen piroksenit ve gabro damarlarıyla kesilmişlerdir.



Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası (Bingöl (7)'den revize edilmiştir).

Mikroskopik gözlemlerde porfiroklastik ve granoblastik olmak üzere başlıca iki tip doku gösteren bu kayaların hakim minerali olivindir. Genellikle aşırı derecede parçalama gösteren bu mineralin kenar zonlarından itibaren ileri derecede serpantinleştiği görülür. Toplam kayaç yüzdesinin % 70-75'ini oluşturan olivin kristallerinin çeperlerine doğru demiroksitten kaynaklanan opaklara da rastlanır. Olivine göre oldukça iri kristaller halindeki enstatit paralel dilinim ve dalgalı sönme gösterir (Levha 1, Şekil 1). Harzburjitler içinde oranları % 1'in altında kalan özşekilsiz kromit kristallerine de rastlanır. Bir çok kesitle % 70'lere varan serpantinleşmeler görülmüştür.

#### \*Dünitler

Harzburjitlere göre daha ince taneli olan ve taze yüzeylerinde koyu yeşil renkleriyle onlardan kolayca ayrılabilen dünitler harzburjitler içine tektonik olarak yerleşmişlerdir.

Mikroskopik gözlemlerde kayacın % 90'dan fazla bir oranda olivin, % 2-3 kromit ve çok seyrek olarak orto ve klinopiroksen kristallerinden oluşmuştur. Taneli bir doku içinde oldukça parçalanmış olivin kristalleri görülmekte olup, bu kristallerin kenar ve çatlak zonlarından ileri derecede serpantinleşme görülür (Levha 1, Şekil 2). Çoğu yarıözşekilli kromit kristallerinin boyutları 0,2 mm'nin altında olup, ana kayaç içinde saçınımlı bir dağılım göstermektedir. Çok seyrek görülen ortopiroksen ve klinopiroksenler ise olivinlere göre daha esnek bir özellik gösterdiklerinden, bunlarda parçalanma yerine bükülme ve burulma izleri görülmektedir.

#### 2.2.2. Kümülatlar

Çalışma alanının kuzey batısında ve Karsantu kuzeyinde geniş alanlarda yüzeyleyen kümülatlar masif ve tabakalı dünitler, piroksenitler ve gabrolarla temsil edilmektedir. Pozantı-Karsantu ofiyoliti içinde en önemli bandlı kromitlerin içinde buldukları kümülatlar bu bölgede yer almaktadır. Kızılyüksek ve Abdullah Deresi kromit cevherleşmeleri oldukça düzenli ve yanal devamlılıkları fazla olan cevher zonları olup, ofiyolit masiflerinde böylesine süreklilik gösteren cevher zonları da oldukça sınırlıdır.

İnceleme alanında kümülatların alttaki tektoniklerle olan dokunakları genellikle tektonik özelliklidir. Ancak çok seyrek de olsa tektonik-kümülat dokunağı net olarak gözlenebilmektedir. Tektonizma etkisiyle kazanılan deformasyon şiddeti taban kesimlerinden yukarı kesimlere yaklaştıkça azalmaktadır.

#### \*Masif Dünitler

Taneli bir doku içinde çoğu parçalanmış ve ileri derecede serpantinleşmiş olan olivinler kayacın hakim minerali olup, serpantinleşmeyle birlikte açığa çıkarak kırık ve çatlakları dolduran demir oksit, kayacın daha koyu bir renk almasına sebep olmuştur

(Levha 1, Şekil 3). Şeritsel bir yapı gösteren serpantin grubu minerallerinden krizotil ve lizardit (x ışınıyla saptanmıştır) ana kütleinin uzanım yönüne paralel bir yönde uzanımlar göstermektedir. Bazı kesitlerde o derece ileri seviyede serpantinleşmeler görülür ki, olivin serpantin grubu mineralleri arasında birer adacık gibi kalmıştır (Levha 1, Şekil 4). Bu dönüşüm sırasında enstatit ise bastılmıştır.

#### \*Bandlı Dünitler

Özellikle Kızılyüksek-Çanakpınarı bölgesinde (Şekil 2) görülen bandlı kromitlerin kalınlıkları 0.5 - 15 cm arasında değişmektedir. İçlerinde %15-30 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikli cevherli bandlarla %1-3 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikli nisbeten steril bandların ardalanması şeklinde görülen bu dünitler açık yeşil ve gri siyah renkleriyle ayırt edilmektedir. Kromitce zengin bandların koyu rengine karşılık, olivince zengin steril bandlar açık yeşil reng gösterirler ve her ikisinde de serpantinleşmeler yaygındır. Kromit kristallerinin boyutları genellikle küçüktür (0,2mm - 1mm).

Mikroskop altında yapılan gözlemlerde de mineralojik bileşim bakımından masif dünitler ile hemen aynı özellik göstermektedirler. Masif dünitlere göre daha az deformasyon geçiren bandlı dünitlerde olivin kristallerinde yine de aşırı derecede serpantinleşmeler görülmektedir. Kromit kristallerinin çoğu yarı öz şekilli veya öş şekillidir. Çok az rastlanan ortopiroksenler içinde eksolüsyonlar halinde klinopiroksenlere yer yer rastlanır.

#### \*Piroksenitik Kümülatlar

İnceleme alanında Kocakakma mevkiinin (Şekil 2) kuzeyinde tektonik dokanaklı bir çok piroksenit mostrası izlemektedir. Yeşil renkleriyle çarpıcı bir özellik gösteren bu kayalar çıplak gözle bile farkedilebilecek büyüklükteki kristallere sahiptir. Litolojik olarak olivinli diyalajit, olivinsiz diyalajit, olivinli websterit ve olivinsiz websterit ayırt edilmiştir (7-8, 11-12). İri taneli dokularıyla özellik taşıyan bu kayalar içinde interkümüllüs özelliğinde küçük boyutlu olivin kristalleri gözlenmektedir. (Levha 2, Şekil 1).

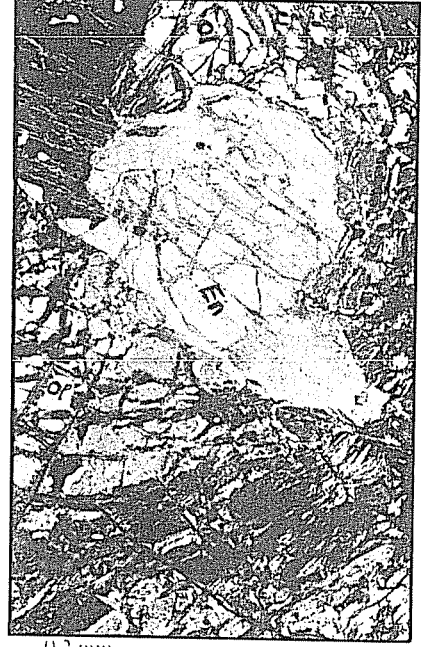
#### \* Gabroik Kümülatlar

Kümülatların en üst zonunu oluşturan gabroik kümülatlar gerek bandlı kromit yataklarının gözlemlendiği Kocakakma mevkiinin hemen kuzeyinde ve hem de inceleme alanının kuzeybatısında geniş alanlarda yüzeylerler. Bol kırıklı ve çatlaklı olmaları ve açık renklerinden kolayca harzburjit, dünit ve piroksenitlerden ayırt edilmektedir.

Mikroskopik gözlemlerde başlıca diyalaj, anortit, olivin ve bronzit minerallerinden oluştuğu anlaşılan ve taneli doku gösteren kayalar içinde kromit kristallerine rastlanmamış, ancak opak mineral olarak manyetit ve yer yer ilmenit gibi opaklar görülmüştür (Levha 2, Şekil 2)..



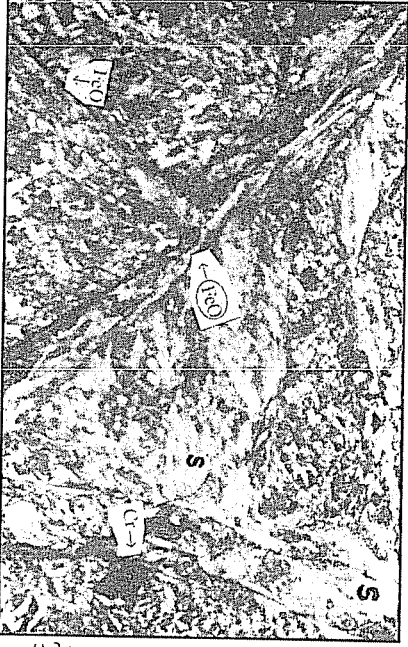
LEVHA I



1. Harzburjilik tektonitlerindeki ortopiroksenlerden enstatit (En). Olivin (O) kristallerinin parçalanmasına karşılık enstatit daha elastik bir davranış göstermiştir (Mikrofoto, P.1.).



2. Dümit, parçalanmış olivin (O) ve çatlak ve geçerinden itibaren serpanitleşmiş (S) durumdadır. Ayrıca içinde olivin kapamaları içeren özçekilli kromit (Cr) ile çatlakları dolduran demir oksit gözlenmektedir (Mikrofoto, P.1.).



3. Dümit'in tamamen serpanitleşmesi sırasında açığa çıkan demiroksit'in kırık ve çatlaklara dolması (Mikrofoto, P.1.).



4. Serpanitleşmiş dümit, Olivin (O) çatlak ve kenar zonalardan serpanin (S) minerallerine dönüşmüş olup, muhtemelen enstatit (En) de bastılmıştır (Mikrofoto, P.1.).

### 2.2.3. Damar Kayaçları ve Dolerit-Diyabaz Daykları

İnceleme alanındaki damar kayacı olarak sıkca piroksenit ve gabro damarlarıyla oldukça yoğun bir şekilde dolerit-diyabaz daykları görülmektedir (Şekil 2). Piroksenit ve gabro damarlarının kalınlıkları bir kaç santimetreden, metreye kadar değişirlerse de, çoğu incedir (2-10 cm). Buna rağmen bazı metre boyutundaki piroksenit damarlarına rastlanmaktadır (Levha 2, Şekil 3). Dolerit-Diyabaz daykları ise (0,5-30 m) arasında değişen ve daha dayanıklı yapısıyla deformasyonlara karşı daha taze bir durumda kaldığı görülmektedir (Levha 2, Şekil 4). Pozantu-Karsantu ofiyolitinde çok yaygın olarak görülen bu daykların yerel uzanımları da yine ofiyolitik masifin genel doğrultusu ile büyük paralellik gösterir (KD-GB). Çoğu serpantinleşmiş harzburjit ve dunitleri açık bir şekilde kesen bu daykların kenarlarında bazı ayrışım olayları gelişmiştir.

*Mikroskopik gözlemlerde piroksenit damarlarında bazen pegmatitik özellikler görülmekte olup, bunların bir kısmı çıplak gözle bile ayırt edilmektedir. Daha çok websterit, diyalaj ve bazen de bronzit bileşiminde olan bu piroksenitler pegmatitik ve taneli doku gösterirler. Harzburjit ve dunitlere göre kristalleri oldukça ilksel konumunu koruyan bu damar kayaçları içinde opak mineraller fazlaca yaygın değildir.*

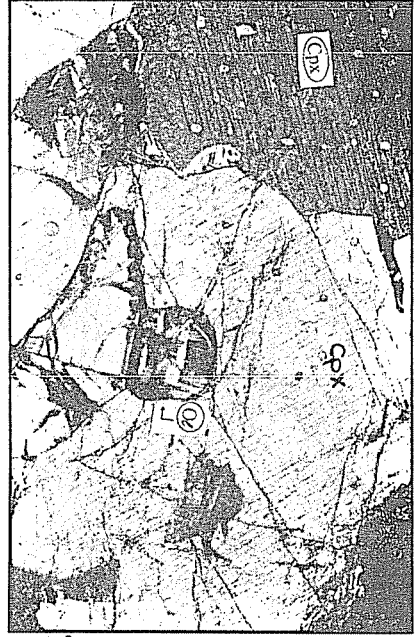
*Dolerit-diyabaz daykları entersertel dokularıyla karakteritik olup, çoğu ayrışmaya uğramış plajiolklas latalarıyla, bunların arasına yerleşmiş klinopikorsen kristallerinden oluşmuştur. Piroksenit ve gabro damarlarının aksine bunlarda opak mineral içeriği oldukça belirgindir (Levha 3, Şekil 1). Daha çok manyetit ve ilmenit bileşimindeki bu minerallerin çoğu özşekilsizdir.*

### 2.3. Serpantinleşme

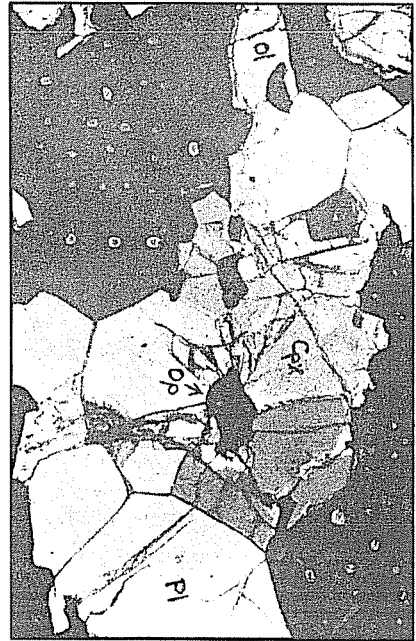
İnceleme alanındaki ofiyolit birliğe ait tektonitlerde ve kümülatlarda yoğun bir serpantinleşme görülür. Serpantinleşme derecesi tabandaki tektonitlerden yukarı kesimlerde yer alan kümülatlara geçildikçe azalmakta olup, özellikle fay ve ezilme zonlarında bu oran maksimuma çıkmaktadır. Arazide gözlenen hemen tüm kırık ve çatlaklar içinde mavimtrak gri, koyu yeşil ve kahverengi serpantin şeritlerine rastlanmakta olup, seyrek olarak da olsa tamamen şistik bir yapı kazanmış serpantinit mostraları görülmektedir (Levha 3, Şekil 2). Pozantu-Karsantu ofiyolit masifinde birçok yerde görüldüğü gibi inceleme alanında da yer yer manyezitleşme ve talklaşma görülür (Levha 3, Şekil 3).

*Mikroskopik gözlemlerde olivin kartellerinin parçalanmasını takiben çeperlerden başlamak üzere serpantin grubu minerallerinden krizotil ve lizarditin (x ışınları difraktometresiyle kontrol edilmiştir) kayacı katettiği görülmekte olup, bu sırada iri orto-piroksen kartellerinin ise bastit lamellerine dönüştüğü görülmektedir (Levha 3, Şekil 4). Kayaç içindeki kırık ve çatlaklara dolan demir oksit kayaca açık kahverengi bir ton vermiştir.*

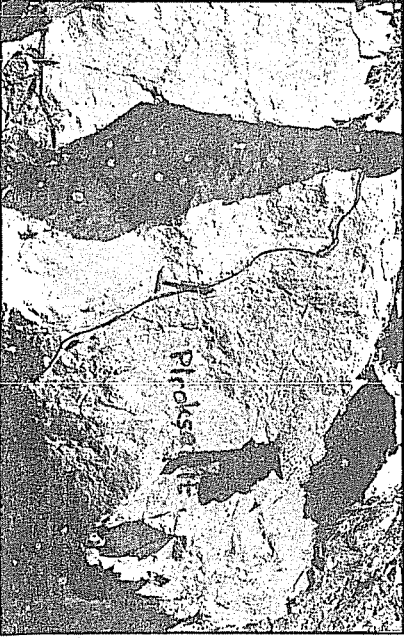
LEVHA II



1. İri Cpx kristallerinden oluşan piroksenit. Küçük boyutlu olivin inter-kümüllüs özelliğindedir. (Mikrofoto, P.1).



2. Gabroların genel görünümü. Taneli doku içinde plajyoklaz (Pl), kinopiroksen(Cpx), Olivin(O) ve opak mineraller (Op) (Mikrofoto,P.1).



3. Düni içinde görülen nispeten kalın piroksenit damarı (Foto).

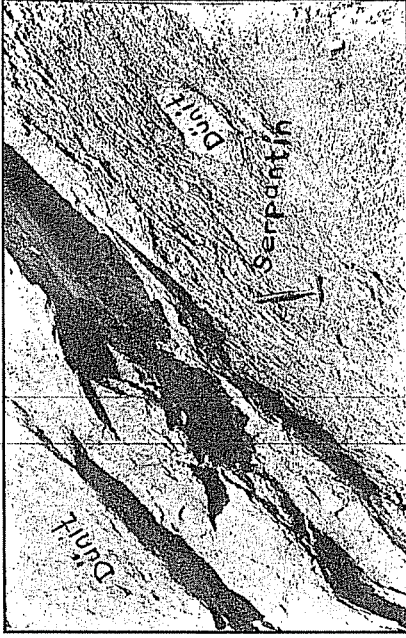


4. Dolomit-Diyabaz dayka. Açık rengi ve sert yapısı ile diğer kayalardan kolayca ayır edilmektedir (Foto).

## LEVHA III



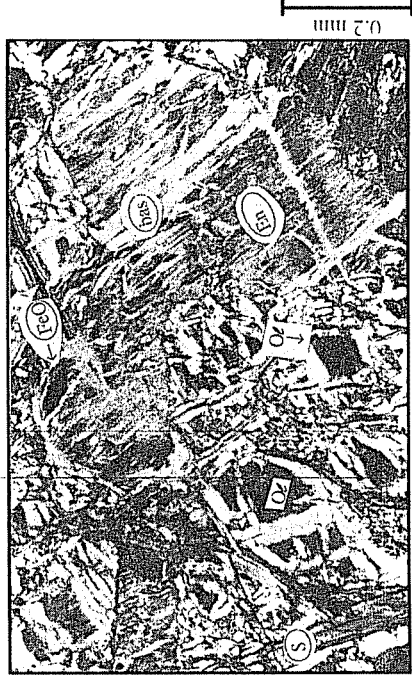
1. Dolerit-Diyabaz daykı. Doleritik doku, belirgin olup plajyoklas (Pl) lataları arasında klinopiroksen (Cpx) kristalleriyle opak (opq) mineraller yerleşmiştir (Mikrofoto, P.I.).



2. Fay hattı boyunca gelişen serpantinlerin şistlik bir yapı kazanması (Foto: Çanakpınar ocağı batısı).



3. İncelemiş alanında yer yer görülen manyezitlenme ve talklaşma (Foto: Çanakpınar Tepe batısı)



4. Serpantinleşme. Olivin (Ol) kızıltı ve lizartit minerallerine dönüşürken, ortopiroksen (En) kristalleri ise basit (bas) lamellerine dönüşmüştür (Mikrofoto, P.I.).

### 2.3. Yapısal Jeoloji

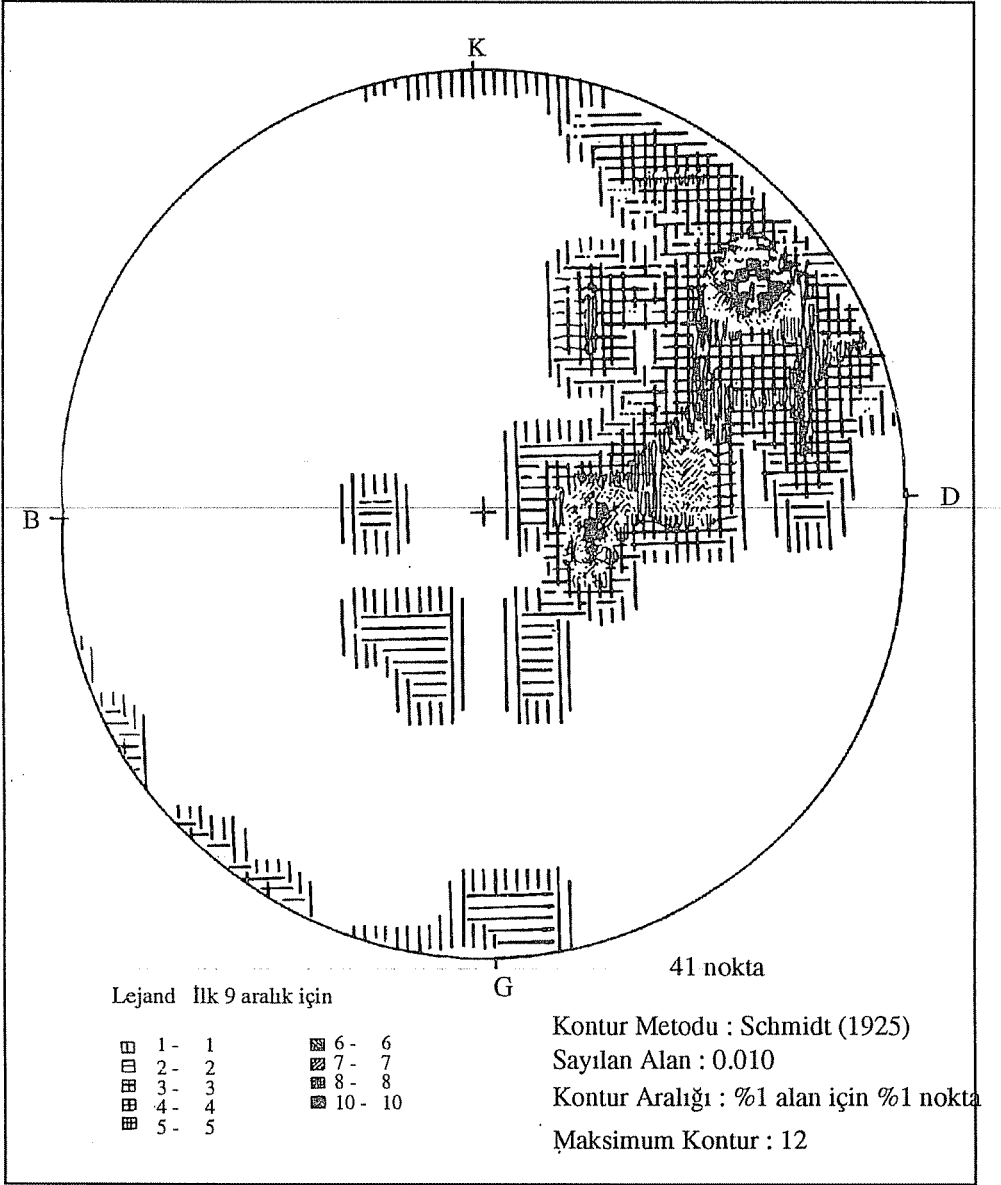
İnceleme alanı Alpin orojenez kuşağının etkisi altında kalmıştır. Faylanmaların gerek dış ve gerekse iç yapı üzerindeki etkileri oldukça belirgindir. Çanakpınar Tepe'nin batısında ve güneybatısında, fay zonları boyunca aşırı derecedeki serpantinleşmeler, talklaşmalar ve manyezitleşmeler görülmektedir. Ofiyolitik birliğe ait başta tektonitler olmak üzere hemen tüm birimlerde yoğun bir kırık yapısı gözlenir. Faylanmalar hemen her yönde mevcut olmakla birlikte, D-B ve K-G doğrultulu fayların krom adese, band ve filonları üzerinde daha etkili oldukları anlaşılmaktadır. Çanakpınarı ve Kızılyüksek krom ocakları bölgesindeki fayların cevher zonunun genel doğrultusunu dik olarak kestiği belirgin olarak gözlenmiştir.

Yapısal olarak cevherli ve steril magmatik bandların ilksel konumları yatay veya yataya yakın bir konumdayken daha sonraki olaylar sebebiyle bugünkü durumunu kazanmışlardır. Tektonitler içindeki bandlar ile kümülatlar içindeki bandlar arasında da önemli farklılıklar bulunur. Tektonitler içindeki magmatik bandların kalınlığı 1-8 cm arasında değişmesine rağmen, kümülatlar içindeki bandlar, 7-8 m'yi bile bulmaktadır.

Magma odası içine yükselen ultrabazik likit içinde olivinin kristalleşmeye başlamasıyla bakiye magma içinde zengin konuma kavuşan kromitin daha çok özşekilli kristaller halinde katılarak oda tabanına doğru gravite sebebiyle çökmesi sırasında kromitçe zengin bandlar, hemen sonra olivinin hakim olduğu steril bandlar ve tekrar onun tüketilmesiyle yeniden kromitçe zengin cevher bandları ardalanmalı olarak çökelmektedir. Bu bandların ilksel konumu yataydır. Ancak gerek magma odası içindeki yan konveksiyon akımları sebebiyle ve daha sonraki tektonik olaylar sonucunda yatay konumu bozulmaktadır. Magmatik bandların oluşumu hususunda bu mekanizmanın yanısıra ikinci bir mekanizma olarak kısmi ergimeyi gösteren araştırmacılar da bulunmaktadır (17, 22).

İnceleme alanındaki Dorucali, Kavasak ve Dereocak mevkiilerindeki bandların genel doğrultuları KD-GB, eğimleri ise 65-80° GB'dir. Bu durum ise tektonitler içindeki cevher bandlarıyla magmatik bandlar arasında uyumluluk olduğunu göstermektedir. Zaman zaman gözlenen uyumsuzluklar tektonik olaylar sonucu bozulan konumlardan kaynaklanmaktadır.

Krom adeselerinin genel doğrultu ve eğimleri tektonitler içindeki bantlı kromit cevherlerinin genel doğrultu ve eğimleriyle oldukça uyumluluk gösterirler. Ancak büyük fay zonlarında bulunan breşleşmiş ve budinaj geçirmiş kromit kütlelerinde bu uyumluluk önemli ölçüde kaybolmuştur. Bazı tektonik olaylar sebebiyle sürekliliklerde de önemli kayıplar görülmektedir. İnceleme alanında gerçekleştirilen krom adese ve bandlarındaki doğrultu ve eğimlere ait ölçümlerin sonuçları kontur diyagramları Şekil 3'de verilmiştir. Bu diyagramdan ve bölgede çalışmalar yapan önceki çalışmalar (10)' dan bölgenin kuzey ve güneyden gelen stres basınçları altında kaldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3. Krom adese ve bantlarının doğrultu ve eğimlerinin nokta kontur diyagramı

### 3. CEVHERLEŞMELER

İnceleme alanındaki en önemli cevherleşme kromit olup, bunun yanında talk, manyezit ve asbest gibi cevherleşmeler görülür ise de bunların ekonomik önemleri yoktur.

Bölge özellikle bandlı kromit yataklarına çok tipik örnek oluşturması sebebiyle önem kazanmıştır. M.T.A. Genel Müdürlüğünce yaptırılan on binlerce metrelik arama sondajlarıyla varlığı kesinlikle belirlenen düşük tenörlü, ancak büyük rezervli (200 Milyon Ton) Kızılyüksek ve Akinekdagi kromitleri önemli potansiyel rezervleri oluşturmaktadır.

### 3.1. Başlıca Kromit Zonları

Kızılyüksek Tepe'nin güneybatısındaki Yüksek Ocak ve Kızılyüksek Tepe'nin güneyindeki bazı mostralara, Abdullah Deresi Ocakları, Çanakpınar Ocakları, Kavasak, Dorucali, Dereocak gibi kromit zonları bu bölgenin bilen önemli cevher zonlarını oluşturmaktadır. Cevherleşmeler hem tektonit içinde ve hem de kümülatların taban kesimini oluşturan dünitler içinde görülmekte olup, tektonitler içindeki zonlar da yine dünitik bir zarfla çevrilidir. Kromit yatağı olarak hem podiform tipi yataklar ve hem de bandlı yapı gösteren ve yanal devamlılıkları olan düzenli kromit yataklanmaları görülür.

#### 3.1.1. Çanakpınar Ocağı

Bu cevher zonu üzerinde özel bir madencilik şirketi 1971 yından bu yana bir çok yarma, galeri ve kuyu açmıştır. Bu zondaki cevherleşmenin genel doğrultusu KB-GD' dir. Ocakta yapılan ayrıntılı çalışmalar sonucunda cevherleşmenin iki ayrı band halinde olduğu ve cevher zonunun kuzeydeki büyük faya kadar devam ettiği anlaşılmıştır. Cevher zonunun faydan sonraki uzanımı ise 100 m kadar KD'ya sürüklenmiştir. Bu zonun kuzeybatı kısmı da yine batıya doğru atılmıştır. Bu kesimde breşleşme sebebiyle fay aralığındaki cevherin esas Çanakpınar Ocağındaki kromit cevherlerine göre mekanik olarak zenginleşmiş bir özellik gösterdiği anlaşılmaktadır.

Çanakpınar krom ocağında yer yer kompakt olmak üzere bandlı, saçınımlı ve çok seyrek olarak da nodüler kromit görülmektedir. Cevher bandları gabro ve piroksenit bandlarıyla sıkça kesilmektedir. Aynı şekilde kalmıkları oldukça değişken diyabaz dayklarının da cevher bandlarını kestiği gözlenmektedir.

Cevher zonu içinde küçük boyutlu fayların cevher yerleşiminden sonra geliştiği ve az çok cevher band ve adeselerini ötelediği görülmektedir. Fay ve kırık zonlarında dolgu olarak serpantin grubu mineralleriyle manyezit damarcıklarının geliştiği görülmüştür.

#### 3.1.2. Kızılyüksek Ocağı Açık İşletme Yarması

Kızılyüksek mevkiindeki yarmalarda ölçülen kromit bandlarının doğrultu ve eğimi D-B ile K-G arasında değişmektedir. Açık işletme yarmasındaki kromit bandlarında ölçüler alındığından eğimin GB'ya doğru olduğu görülür. Buradaki cevherli zonun kalmıklığı 50 cm - 6 m arasında değişir. Zon içindeki kromitce zengin bandların kalmıklığı ise 2-25 cm arasındadır.

Kızılyüksek ocaklarının büyük bir kısmı halen Etibank sahasıdır. Bu zonda önemli bir işletme faaliyetine henüz başlanamamıştır. Rezervin büyük olmasına karşı, ortalama tenörün düşük olması ve krom piyasasında görülen tıkanıklık Etibank'ı harekete geçirmemektedir. Ancak Etibank sahasının hemen batısında kalan aynı zona ait diğer sahadan özel bir kuruluş 10 000 ton kadar kromit cevheri üretmiştir.

### 3.1.3. Dorucalı Cevher Zonu

Kızılyüksek Tepe'nin doğusunda kalan bu cevher zonu tamamen tektonitler içinde yer almaktadır.

Cevherleşme genellikle düzensiz merccekler, damarlar ve cepler şeklinde olup, burada çeşitli boyutlarda 50'ye yakın cevher zuhuru bilinir.

Cevher yankayaç ilişkisi çoğu kez faylı olup, genel doğrultuları KB-GD yönünde ve 45-55° GB'ya eğimlidirler. Cevherlerin içinde yer aldığı anakayaç dümit bileşimindedir. Bu cevher zonunda da faylara sıkça rastlanır ve cevher kütlelerinin de yer yer atıldıkları gözlenmektedir. Bu zonda hakim cevher saçınımlı kromit olup, bandlı ve fay zonlarında masif kromit de görülür.

### 3.1.4. Dereocak ve Kavasak Cevher Zonu

Dorucalı cevher zonu kuzeyinde yer alan bu cevher zonu da genel yayılım yönü KB-GD olup, eğimi GB'ya oldukça diktir (65-75°). Bu zonu, cevher kütesinin aynı doğrultusunda ve bunu kesen doğrultularda cevher bandlarını, batıya doğru sürüklemişlerdir. Bu bölgede başta masif ve bandlı cevher olmak üzere yer yer saçınımlı ve nodüler kromit de görülür. Bu zon bir dizi kromit kütesinden oluşmuş olup, muhtemelen yoğun tektonizma sebebiyle bir çok parçaya ayrılmıştır.

1950'li yıllardan buyana bilinen bu zon üzerinde gerek arama ve gerekse üretim amacıyla bir çok yarma ve galeri açılmıştır. Genellikle mostra madenciliği şeklinde yapılan üretim krom fiyatlarının yüksek olduğu zamanlarda sürdürülmektedir. Bu ocaklardan toplam 30 000 ton satılabilir kromit çıkarıldığı sanılmaktadır.

### 3.1.5. Diğer Kromit Mostraları

Bu mostralar Dorucalı-Kavasak ocaklarının kuzeydoğusunda Akinekağ mevkiinde, Çanakpınarı cevher zonu kuzeybatısında Kızılyüksek Tepe mevkiinde, yine Abdullah Deresi'nin doğu ve batısında irili ufaklı bir çok krom mostrası mevcuttur.

Halen özel bir şirket tarafından üzerinde maden işletmesi yapılan Abdullah Deresi ocaklarında 1979 yılından bu yana aralıklarla da olsa kromit çıkarılmıştır. Krom piyasasının canlandığı zamanlarda artırılarak sürdürülen madencilik faaliyetleri boyunca 10 000 tonluk bir üretim yapıldığı anlaşılmıştır.

Abdullah Dere ocaklarında cevher tipi bandlı ve saçınımlıdır. Akinekağ cevherleri ise genellikle masifdir. Bu sebeple bandlı ve saçınımlı cevher tiplerine göre daha zengin



bir  $Cr_2O_3$  içeriğine sahiptir. Buna karşılık cevher kütleleri daha düzensiz olduğu için takibi de güçtür.

### 3.2. Kromit Cevherlerinin Kimyasal Özellikleri

Bölgede yüzlerce cevher zonu ve mostrası bulunmaktadır. Bu zonları ve mostraları karakterize eden tek bir ortalama kimyasal içerik vermek oldukça güçtür. Çok zengin tenörlü masif cevherin yanında %9'u geçmeyen  $Cr_2O_3$  içeriği ile değerlendirilemeyen bandlı ve saçınımlı cevher tipleri de mevcuttur. Bir genelleme yapılırsa aşağıdaki yorumları yapmak mümkündür.

\* *Fay zonlarına sıkışmış, ezilmiş ve budinaja uğramış kromit cevherlerinin ortalama  $Cr_2O_3$  içerikleri %40-52 arasındadır.*

\* *Saçınımlı kromit içeren ocaklarda  $Cr_2O_3$  tenörü %16-22 arasındadır.*

\* *Bandlı kromit içeren cevher zonlarında yalnızca bandlardan alınan örneklerin %20-35 arasında  $Cr_2O_3$  içeriği görülmesine rağmen, oluk numunelerin %16'yı geçmediği görülmektedir.*

\* *Özellikle Kızılyüksek Tepe mevkiinde yer alan dünitler içindeki yanıl devamlılıkları kilometreleri bulan ceher zonunda ortalama  $Cr_2O_3$  tenörü %9-16 arasındadır. Bu sebeple bu cevher zonu ancak potansiyel bir rezerv oluşturmaktadır.*

İnceleme alanındaki çeşitli ocaklardan alınan örnekler üzerinde yaptırılan kimyasal analizlere ait sonuçlar Tablo 1' de verilmiştir. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı gibi sözkonusu değerler bir ocaktan diğerine, hatta aynı ocakta bile önemli oranlarda değişiklikler göstermektedir.

### 3.3 Kromitlerin Mineralojisi

Bölgedeki çeşitli ocaklardan kompakt-masif, saçınımlı,bandlı ve nodüler kromit cevherlerinden örnekler alarak parlatılmış ve maden mikroskobunda incelenmiştir.

#### 3.3.1. Masif-Kompakt Kromit

Kromit kristallerinin kontakları belirgin olmayıp deformasyonlar sırasında birbirine girmiş bir durum gösterirler. Kristallerin çoğu parçalanmış ve araları yer yer krizotil ve lizardit tarafından doldurulmuştur (Levha 4. Şekil 1-2). Bu kırıklar çok değişik doğrultuda olup çok belirgin ana çatlakların yanısıra, daha sonraki deformasyonlarda oluşmuş kılcal çatlaklar da görülmektedir. Yine kılcal damarlar içinde de serpantin grubu mineralleri görülmektedir. Masif cevheri oluşturan kromit mineralleri genellikle iri (1 mm'den büyük) kristallerden oluşmaktadır. Kırıkların içinde ve kristallerin çeperinde manyetitleşmeler belirgin bir şekilde görülmektedir (Levha 4, Şekil 3).

**Tablo 1.** İnceleme alanında yer alan bazı kromit ocaklarından alınan örneklerin kimyasal içerikleri.

Ornek No Element	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42.02	40.56	22.29	16.45	15.26	28.09	29.78	40.91	52.03	35.21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.64	5.63	3.64	2.95	12.25	8.80	5.45	9.05	8.02	11.11
FeO	9.54	9.90	9.54	8.82	14.86	10.25	10.16	10.91	15.16	11.25
MgO	22.91	34.14	29.94	33.18	21.97	23.58	28.87	18.92	15.69	20.36
SiO <sub>2</sub>	9.29	8.78	22.87	33.55	29.95	21.69	20.50	14.76	8.13	16.45
Ornek No Element	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	53.50	42.02	43.94	47.71	36.28	30.76	43.94	45.45	39.21	31.72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.79	3.64	5.78	7.05	13.20	8.01	5.78	11.30	7.97	11.54
FeO	13.66	9.54	13.02	15.66	8.96	13.20	13.03	13.20	13.25	10.28
MgO	17.21	25.91	25.48	17.68	22.10	25.57	26.48	21.30	21.12	25.47
SiO <sub>2</sub>	10.13	12.29	8.72	8.10	14.96	13.97	9.72	11.22	14.52	23.30
<b>AÇIKLAMALAR</b>										
1 - 2 : Çanakpınarı-Masif Cevher					12-13 : Akinekağ-Masif Cevher					
3 - 5 : Kızılyüksek-Bandlı Cevher					14 : Kızılyüksek-Masif Cevher					
6 - 7 : Dorucali-Saçımlı Cevher					15-16 : Akinekağ-Bandlı-Saçımlı Cevher					
8 - 9 : Kavasak-Masif Cevher					17-18 : Kızılyüksek Masif Cevher					
10 : Dereocak-Bandlı-Saçımlı Cevher					19-20 : Akinekağı Bandlı Cevher					
11 : Dereocak-Masif Cevher										

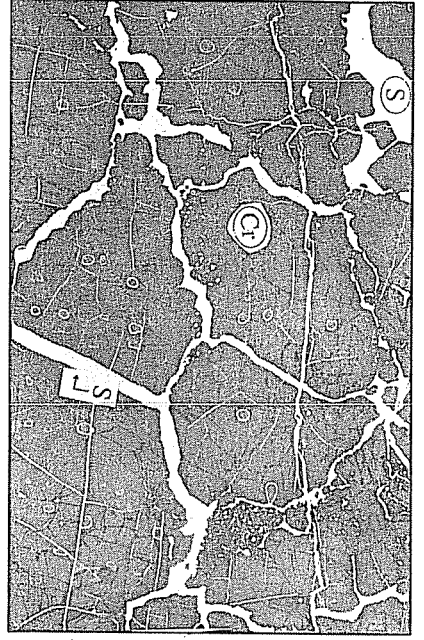
**3.3.2. Bandlar ve Masif Dünit İçindeki Saçımlı Kromit**

Gerek band tipi cevherlerde ve gerekse dünitik masif kütle içinde gelişigüzel dağılım gösteren saçımlı kromitler bölge içinde rastlanan en yaygın cevher tipidir. Kompakt ve nodüler kromite göre daha öz şekilli ve az deformasyon geçirmiş bu tip cevherin kristal boyutları da küçüktür (0, 2-1 mm).

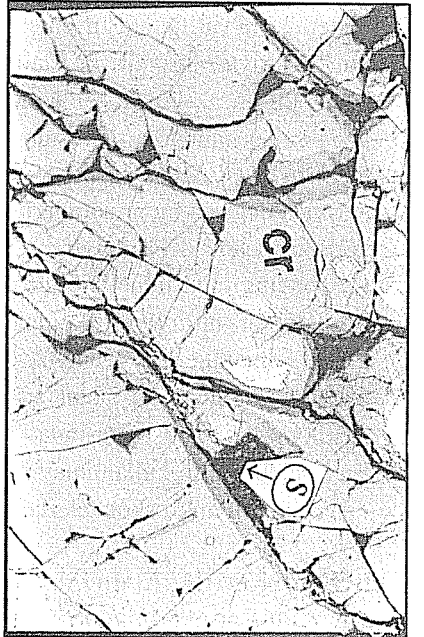
Dünitik gang içinde çoğu yarıöz ve özşekilli genellikle de eşboyutsuz kristallerden oluşmuş saçımlı cevherlerde belirgin bir yönelme görülmez (Levha 4, Şekil 4). Gangi oluşturan olivin tamamen serpantinleşmiş olup, gerek kristal dokanakları arasında ve gerekse kromit kristallerinin çatlakları arasından onları katetmektedir.

Bandlı tip cevherler içinde de masif kromitten daha çok saçımlı kromitler görülmektedir. Çıplak gözle görüldüğü kadar net olmasa da öteki tip cevherlere göre bunlarda az çok belirgin yönelmeler görülmektedir (Levha 5, Şekil 1). Bazı kesitlerde bu tip cevherde bile parçalanmalar görülmektedir (Levha 5, Şekil 2). Eğer magma odasında oluşan stratiform bandlar daha sonra gerek okyanus kabuğundayken veya

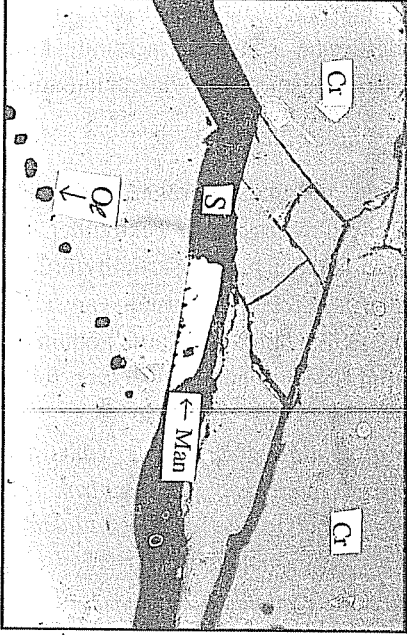
LEVHA IV



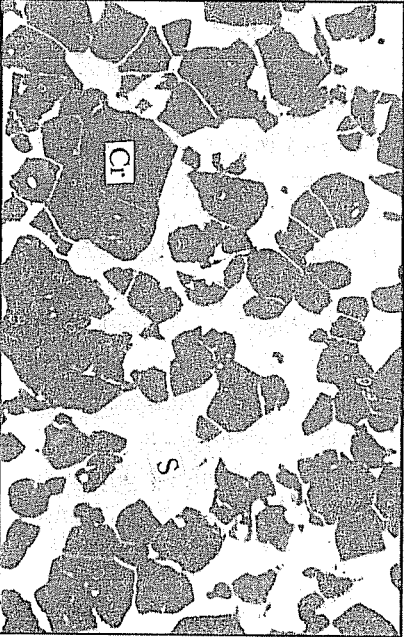
1. Kompakt (masif) kromit. Çeşitli doğrultularda gelişen irili ufaklı çatlaklar ve bu çatlaklara kizozit ve lizarditin dolması (Mikrofoto, N.1.).



2. Masif kromitte görülen ana ve kılcak çatlaklar (Mikrofoto, Y.1.).



3. Kromit çalığıında gelişen manyetit kristali (Mikrofoto, Y.1.).



4. Saçınımlı kromit. Serpantleşmiş düntük gang içinde göğü yanlız şekilli kromit kristalleri (Mikrofoto, N.1.).

kabuğun kıta üzerine bindirmesi sırasında geçirdiği tektonizma şiddetine göre kırılma, parçalanma ve sürüklenmeler sebebiyle anakayaç durumundaki dünitin tamamen serpantinleşmesinden de kaynaklanan serbestleşme sonunda saçınımlı kromitlerin biraraya gelerek banatlar içinde bile masif kromiti oluşturmaya imkan tanımışlardır.

### 3.3.3. Nodüler Kromit

Pozantı-Karsantı ofiyolitindeki birçok krom ocağında görülen nodüler kromite Kızılyüksek Tepe cevher zonunuda çok seyrek olarak rastlanır. Tektonitler içinde yer alan diğer ocaklarda ise çok yaygın olmamakla beraber nodüler kromit görülmektedir. Genellikle eş boyutsuz (1-3 cm) olan nodüllerin küresel olanlarının yanısıra elipsoid halini alanlar ve tamamen deforme olanları da görülür. Bazı ocaklarda nodüllerin içinde bulunduğu dünitik gangın tamamen serpantinleşmesi sebebiyle yer yer serbest hale gelen nodüllere de rastlanmaktadır.

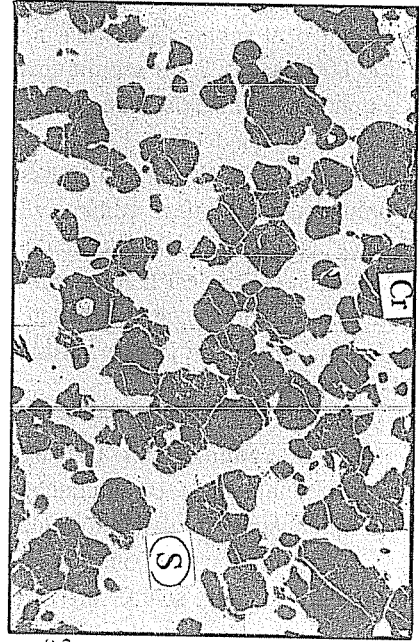
*Mikroskopik gözlemlerde ise nodüllülerin iç yapıları gözlenmiştir. Önce nodüllerin morfolojik yapılarını görmek amacıyla özel mercekler kullanılarak polarizan mikroskopta incelemeler yapılmış ve nodüllerin üç boyutta da belirgin çatlaklar içerdiği ve birbirine paralel çatlakların yanısıra onları kesen nisbeten daha kalcal çatlakların varlığı gözlenmiştir (Levha 5, Şekil 3). Bu iki grup çatlağın da krizotil ve lizardit şeritleriyle doldurulduğu görülmektedir.*

Maden mikroskobunda yapılan incelemelerde cevher tipine bakılmaksızın kromit dışı minerallerin varlığı araştırılmıştır. Küçük büyütmeleli objektiflerle pek görülmeyen sülfür mineralleriyle, kromit kırıstallerinin kenar zonlarında yada çatlaklarında görülen manyetiti ancak büyük büyütmeleli objektifler ile yağda yapılan incelemeler sonunda tayin etmek mümkün olmuştur. Bu minerallerden en yaygın olanı pendlandittir (Levha 5, Şekil 4). Çoğu serpantinleşmiş gang içinde olmak üzere boyutları 10-50 mikron arasında değişen bu minerallerin yanısıra seyrek de olsa millerit iğneleri, pendlanditlere göre nisbeten daha büyük (60 mikronu geçenler vardır.) heazlewoodit, awaruit (josphinite) gibi mineraller de gözlenmektedir. Daha önceki çalışmalar (23) sırasında Pozantı-Karsantı ofiyolit kompleksindeki diğer kromitlerin içinde rastlanan bazı platin grubu minerallerine Kızılyüksek Tepe ve Akinek Dağı mevkiilerindeki örnekler üzerinde yapılan çalışmalar sırasında pek rastlanılmamıştır. Ancak bu durum parlak kesitlerin hazırlanışı sırasında karşılaşılan güçlükler ile yeterince büyütme yapabilecek özel objektiflerin kullanılmayışından olabilir. Bu konuda kesin bir görüşe varmak için daha modern mikroskop tekniklerinin çok sayıda örnek üzerinde uygulanması gerekir.

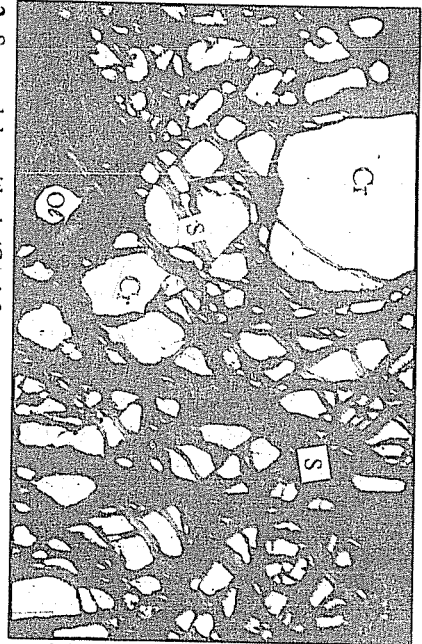
## 4. EKONOMİK JEOLJİ

Pozantı-Karsantı ofiyoliti içindeki kromit cevherleşmelerinin varlığı 1950'li yıllardan beri bilinmektedir. Tüm masif ele alındığında 200 'den fazla irili ufaklı kromit çıkarılan

LEVHA V



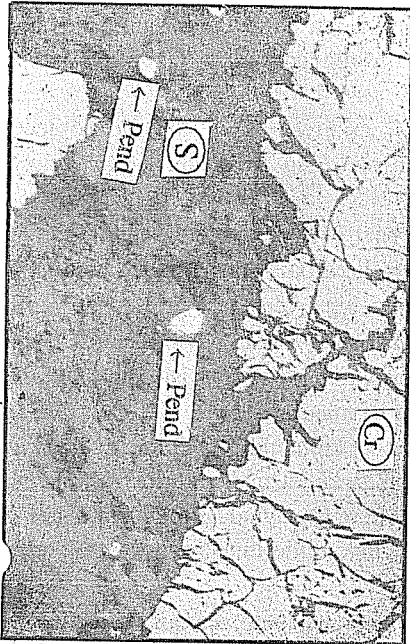
1. Bantlı tip çevrede saçınmılı kromit (Cr). Az çok belirgin bir yönlenme vardır (Mikrofoto, P.1.).



2. Saçınmılı kromitlerde (Cr) deformatsiyonlar sırasında görülen kırılmalar. Bu kırıklar sepanitin (S) grubu minerallerle dolmuştur. (Mikrofoto, Y.1.).



3. Nodüller kromitin iç yapısı. Nodül tabakalanma yönünde uzarken çok sayıda çatlak oluşmuştur (Mikrofoto, P.1.).



4. Parajenez içinde seyrek görülen sülfürlü minerallerden p bandlı. Çoğu gang içinde irili ufaklı taneler halinde dir (Mikrofoto, I.).

cevher zonu bulunan bu bölge içinde inceleme alınanda görülen rezerv miktarı da oldukça önemlidir.

Çoğu özel sektör tarafından mostra madenciliği yapılarak bir çok ocaktan yaklaşık 700 000 ton satılabilir kromit cevheri çıkarılmıştır. Bu güne kadar yapılan araştırmalar sonunda ise 450 000 tonu görünür olmak üzere 950 000 ton toplam rezerv yalnızca tektonitler içindeki podiform cevher zonlarında görülmektedir. Bu rezerve düşük tenörlü (% 9-16 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Kızılyüksek Tepe mevkiinde sondajlarla belirlenen 200 milyon tonluk sahanında ilave edilmesiyle sahanın önemi daha da artmaktadır. Öte yandan bu düşük tenörlü sahadaki dünitlerden yan ürün olarak olivin kumu elde edilme projesinin de gerçekleştirilmesi halinde günümüz koşullarında değerlendirilmeyen düşük tenörlü bandlı kromitlerin değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Halen projelendirme safhasında olan bu işletmelerin yakın tarihlerde olmasa da yakın gelecekte faaliyete geçirilmesi beklenmektedir.

Halen iki özel şirkete ait iki konsantrasyon tesisinden yıllık 20-25 000 ton konsantrasyon kromit elde edilmektedir. Etibank sahası için ise yıllık 80 000 ton üretim yapacak bir tesisin planlanması düşünülmektedir. Bu projede yaklaşık 400-450 000 ton olivin kumunun yan ürün olarak üretilmesi mümkün görülmektedir.

Olivin kumunun ilk önceleri İskandinav ülkelerinde refrakter malzeme yapımında kullanılmasından sonra, çelik endüstrisi başta olmak üzere birçok teknolojiye kullanılmaya başlanmıştır. Olivin cüruf düzenleyici olarak özellikle silisi yüksek demir cevherlerinin izabesinde dolomit yerine başarıyla kullanılmaktadır. Yine yüksek MgO içeriği sebebiyle yüksek fırınlardan daha az miktarda cüruf çıkmasını sağlayan olivin forsterit tuğlanın yapımında da kullanılır. Bu tuğlalar cüruf etkilerine karşı daha dayanıklıdır.

Sinter tesislerinde sinterleşme derecesini aşağıya çeken olivin böylece kok tüketiminde ekonomi sağlamakta ve sinter sertliğini yükselterek iş verimini de artırmaktadır.

Olivin aynı zamanda döküm kumu olarakta bazı özel dökümlerde silis kumuna karşı önemli avantaj sağlar (metal ile kalıp arasında gelişen bazı reaksiyonlar önlenir).

Olivin kumunun aşındırma özelliği sebebiyle bina ve köprü gibi sanat yapılarının yüzeylerinin temizleme işlerinde de kullanılması son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Bir çok Avrupa ülkesinde serbest silis içeren kumun aşındırma işlerinde kullanımının yasaklanmasıyla olivin kumuna olan talep de artmıştır.

Olivinin patlayıcı madde üretim endüstrisinde kullanıldığı bilinmektedir. Patlayıcı maddelere sağlığa zararlı olarak kalıcı etki yapan katkı maddelerinin yasaklanmasıyla olivin bu konuda da rekabetini artırmıştır. Gübre sanayinde de sınırlı olarak olivin kumu kullanılmaktadır. Sanayinin yanı sıra olivin kartallarının süs taşı olarak (zebercet) kullanıldığı da bilinmektedir.

Olivin kumuna dünya piyasalarında önemli bir talep olup, fiyatları da bir çok maden cevherinden az değildir (Tablo 2).

**Tablo 2.** Olivin kumunun dünya piyasasındaki durumu (Industrial Minerals, March 1988)

Özellik	Fiyatı
Torbalanmış Döküm Kumu (İngiltere)	40-65 Sterlin / ton
Ambalajsız Döküm Kumu (İngiltere)	38-45 Sterlin / ton
Ambalajsız Döküm Kumu (A.B.D)	53-85 Dolar / ton
Torbalanmış Döküm Kumu (A.B.D)	65-95 Dolar /ton
Toz Haline Getirilmiş (Mikronize) (A.B.D)	105 Dolar / ton
Ambalajsız Agregata (A.B.D)	40-45 Dolar /ton

Tablo 2'den de anlaşılacağı üzere yan ürün olarak çıkarılacak olivinin ihracatından da önemli bir gelir elde edilmesi mümkündür. Halen 65-85 \$ olan kromit konsantre fiyatlarıyla %9-16 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikli bandlı tip kromit cevherinin işletilmesini mümkün kılmamaktadır. Ancak aynı işlemler sırasında olivin kumunun elde edilebilmesine olanak tanıyacak bir tesisin kurulması halinde bu cevherlerin değerlendirilmesi ekonomik olabilir.

## 5. SONUÇLAR

Aladağ (Karsantı) kuzeyinde yer alan kromit cevherleşmeleri başlıca iki tip olup, bunlar podiform ve bandlı (stratiform) cevherlerdir. Pozantı-Karsantı ofiyolit masifinin bir çok yerinde görülen podiform tipdeki kromit yataklanmalarına ilaveten inceleme alanında bir de yanal devamlılığı kilometreleri bulan bandlı kromit yatakları yer alır. Daha çok küçük rezervli, yüksek tenörlü kromit yataklanmaları gösteren ofiyolitik komplekslerde böylesine düzenli (stratiform) kromit cevherlerinin görülmesi önemli bir ayrıcalıktır. 1950'li yıllardan bu yana varlığı bilinen bu yataklar üzerinde ayrıntılı çalışmalar M.T.A. tarafından 1975 yılında gerçekleştirilen çalışmalarla başlanmış ve bölge bu tarihten sonra yapılan araştırmalarla önem kazanmıştır. Bu bölgede yapılan çalışmalar sonunda dünya literatürüne girmiştir. 1983-1987 yılları arasında gerçekleştirilen sondajlarla rezervleri belli ölçüde belirlenen bandlı krom yatakları, daha sonra Etibank'a devredilmiş ve bu kurum da yine aynı sahada bir dizi sondaj yaptırmıştır. Düşük tenörlü (% 9-16 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ancak 200 milyon ton görünür rezervi ile bir anda dikkat çeken bu cevher zonu, krom piyasasındaki düşüş ve yan ürün olarak olivinin değerlendirilmesine olanak tanıyacak tesis yatırımlarının büyüklüğü sebebiyle şimdilik projelendirilme aşamasındadır.

Podiform tipdeki diğer cevher zonları ise masif üzerindeki diğer ocaklardan büyük ayrıcalıklar göstermez. Bu tip (podiform) yataklar genellikle tektonitler içinde olup, hemen her zaman cevher zonunu dünitik bir kılıf çevreler. Adese, filon, kese ve cepler şeklindeki bu yataklanmalarda çok fazla miktarda tektonizma izleri görülür.

Parçalanmalar, faylarla ötelenmeler, budinaj olayları ve ezilmelerin yaygın olarak görüldüğü bu yataklarda kompakt, saçınımlı, nodüler ve yer yer de bandlar şeklinde kromitler görülür. Bu tip yatakların tenörleri % 25-52 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> arasındadır ve çoğu kez hiçbir zenginleştirme işlerine başvurmadan takoz cevher olarak satılabilir.

Ülke genelinde önemli bir yer tutan Pozantı-Karsantı bölgesindeki kromit cevherleşmesi krom piyasasının yükseldiği zamanlarda hızlı bir tempo ile işletilirken, piyasa tıkanıklıklarının yaşandığı anlarda ancak bir kaç şirkette rölanti düzeyinde madencilik çalışmaları sürdürülmektedir. Halen çeşitli özel kuruluşlara ait 3 zenginleştirme fabrikalarının faaliyet gösterdiği bu bölgede, Etibank tesislerinin faaliyete girmesi ve tam kapasiteyle çalışması halinde 150 000 ton konsantre kromit ile 400 000 ton olivin kumunun elde edilmesi mümkün olacaktır. Bu rakamlara, çoğu tektonitler içinde yer alan podiform tip cevher üreten diğer ocaklarda yapılan ve takoz olarak satılabilen kromit cevherinde ilave edilmesi halinde inceleme alanındaki potansiyel kendiliğinden ortaya çıkmaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

1. Blumenthal, M., Adana ve Niğde vilayetleri arasındaki Toros jeolojisi üzerine genel bakış. M.T.A. Enst. seri B, No: 6, 273-286. Ankara 1941.
2. Blumenhal, M., Der Karanfildag ein markantes Baughied des cilicishen Taurus. M.T.A. Enst. Bull. No: 2, pp. 273-286. 1946, Ankara.
3. Metz, K., Ein Beit gragzur des Gebirs baues von Aladağ und Karanfildag und ihres westrandes (Cilicishen Taurus). M.T.A. Bult. No: 48, 67-78, 1956, Ankara.
4. Ovalioğlu, R., Die chromerzlagrerstaetten des Pozantı-Karsantı Reviers und ihre ophiolitishen Muttergesteine, M.T.A. Enst. Bült. no: 114, 86p, 1963. Ankara.
5. Akın, A.K., Artan, Ü., Asutay, H.J. Çanakpınarı, Kızılyüksek-Dorucali Ocakları ve dolayları, 1/10 000 ölçekli jeoloji haritası. M.T.A. Enst. Rapor (yayınlanmamış), 1974, Ankara.
6. Çabuk, İ., Akın, A.K., Açıan, S., Çanakpınar Kızılyüksek-Dorucali (Karsantı-Adana) ve çevresine ait rapor. M.T.A. Enst. 1977. Ankara.
7. Bingöl, A.F., Pétrologie du massif ophiolitique de Pozantı-Karsantı (Taurus Cilicien, Turquie). Etude de la partie orientale, Univ. de Strasbourg, 1978.
8. Çakır, Ü., Pétrologie du massif ophiolitique de Pozantı-Karsantı (Taurus Cilicien, Turquie). Etude de la partie centrale, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 1978.
9. Rahgoshay, M. et Juteau., Th., Chromites from the ophiolitic massif of Pozantı-Karsantı, Cilicien Taurus-Turkey: new observation about their structural setting and geochemistry. Proceed. Inten. Symp. Athens, pp. 114-126, 1980.
10. Akın, A.K., Çanakpınarı-Kızılyüksek-Karasalı-Dorucali (Karsantı-Adana) kromit yataklarının jeolojik değerlendirme raporu. M.T.A., 1983. Ankara.
11. Çataklı, A.Ş., Assemblage ophiolitique et roches associées de la partie occidentale



du Massif de Pozantı-Karsantı (Taurus Cilicien, Turquie). Thèse Doctorat d'Etat, Univ. Nancy, 760 p., 1983.

12. Anıl, M., Billor, Z., Özüş, S. Gerdibi Grubu (Pozantı-Karsantı-Adana) kromit yataklarının jeolojisi ve Metalojenezi. Doğa Bilim Derg., Müh. ve Çevre, D.11, 2 175-205, 1987.

13. Anıl, M., Yurtmen, S., Abacı, Ş. ve Gökçen, S.L. Evolution des formations detritiques du bassin de Karsantı (NW d'Adana-Turquie). IAS 8 the Regional meeting of sedimentology, Tunis, 1-3 April, 1987.

14. Anıl, M., Pozantı-Karsantı, Mersin ve Kızıldağ (Hatay) ofiyolitlerindeki bazı kromit yataklarının morfolojik-yapısal ve genetik özellikleriyle Akdeniz Bölgesindeki benzer Kromit yataklarıyla karşılaştırılması. Doğa Bilim Derg. Müh, ve Çevre, 14-645-675, 1990, Ankara.

15. Anıl, M., Le complexe ophiolitique cchromifère du massif de Pozantı-Karsantı (Adana, Turquie). Ofioliti, 15 (2), 209-229, 1990.

16. Anıl, M., Observation sur des chromites nodulaires, disséminées, massives et déformées dans les gisements podiformes ophiolitique du massif de Pozantı-Karsantı et Kızıldağ (S-E de Turquie). Yerbilimleri Geosound, 18, 21-42, 1991.

17. Borchert, H., Principles of the genesis and enrichment of chromite ore deposits. Paris org. Econ. Coop. Develop. p. 175-202, 1964.

18. Jackson, D.E., Ultramafic cumulates in the Stillwater Dyke and Bushveld Intrusion. In ultramafic and related rocks. John Wiley Ed., New-York, pp. 20-38, 1967.

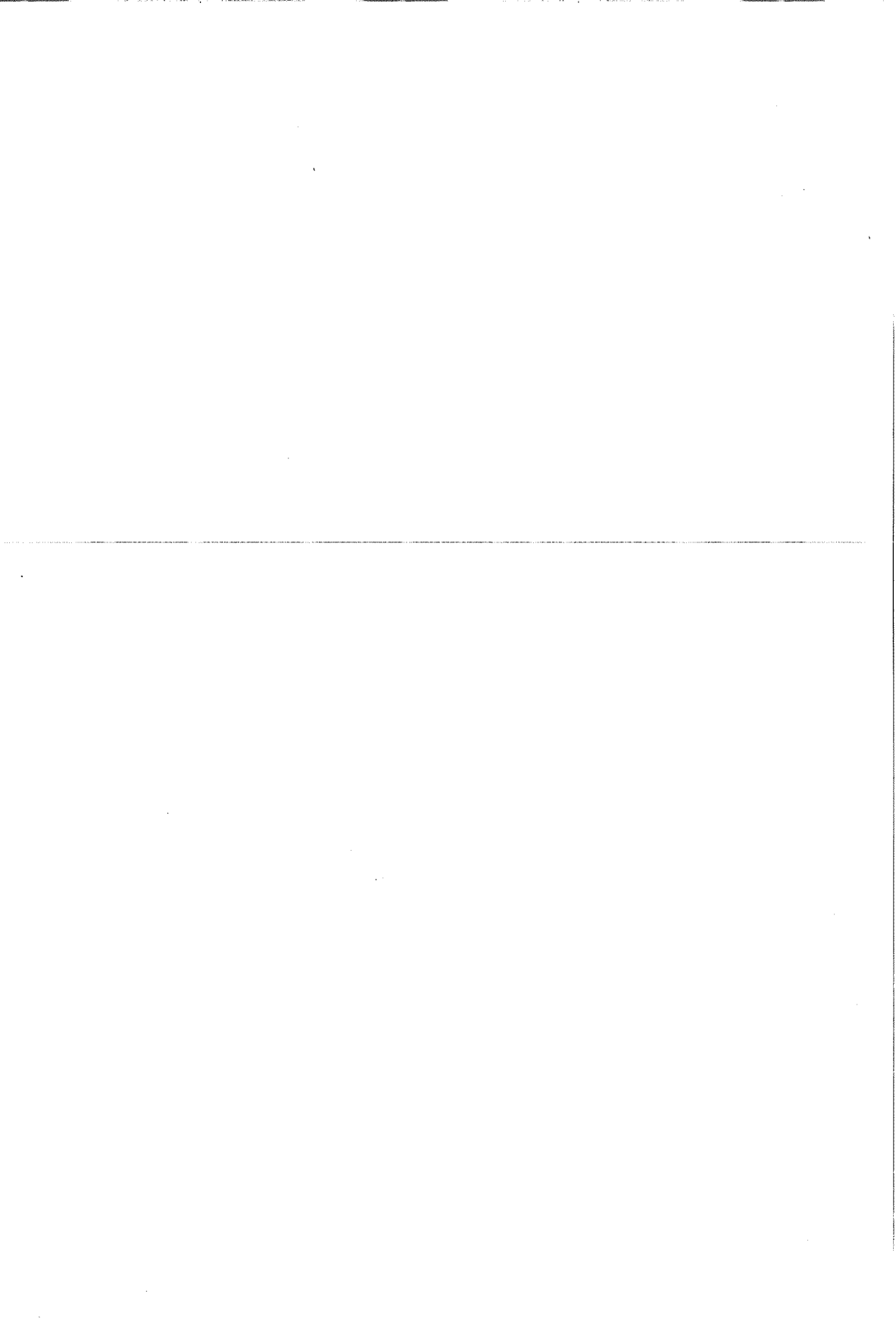
19. Juteau, Th., Les ophiolites des nappes d'Antalya (Taurides occidentales, Turquie). Pétrologie d'un fragment de l'ancienne croûte océanique téthysienne, Sci. terre, Mém., 32, 692p., Nancy, 1975.

20. Cassard, D., Nicolas, A., Rabinowitch, M., Moutte, J., Leblanc, M., Prinzhoter, A., Structural classifaction of chromite pods in Southern New Caladonie. Econ. Geol., 76, pp. 805-831, 1981.

21. Leblanc, M., Cassard, D.et Juteau., Th., Cristalisation et déformation des orbicules de chromite. Miner. Deporsita, 16. 269-282, 1981.

22. Rahgoshay, M., Juteau, Th., Whitechurch, H., Kızılyüksek Tepe: Un gisement exceptionnel de chromite stratiforme dans un complexe ophiolitique (Massif de Pozantı-Karsantı, Taurus- Turquie). acard. Sci. Paris, t 293 série 11, 765-770, 1981.

23. Anıl, M., Pozantı-Karsantı, Mersin ve Kızıldağ (Hatay) ofiyolitleri içinde görülen kromitlerdeki dönüşüm ve bazı platin grubu mineralleri. Akdeniz Univ. Isparta Müh.Fak.Derg. Sayı 7, 31-44,1993.



**GÜMÜŞLER (NİĞDE) YÖRESİNİN JEOLJİSİ VE PETROGRAFİSİ****Fikret İŞLER***Ç. Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye***Hasan BÜYÜKGİDİK***Ç. Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana/Türkiye*

**ÖZET :** *İnceleme bölgesinde temeli Üst Kretase yaşlı metamorfik birimler oluşturur. Genellikle mermer, gnays, şist, amfibolit ve kuvarsitten oluşan bu metamorfik birimler granodiyorit ve diyorit plüton ve daykları tarafından kesilmişlerdir. Tüm bu birimler üzerine Pliyosen yaşlı tüfler bir diskordansla gelir.*

*Bölgede çok sayıda granodiyorit ve diyorit çıkışlarına bağlı cevherleşmeler ve eski maden işletmeleri (Antimonit, civa, gümüş, demir) vardır. Pliyosen öncesi tüm birimlerin prospeksiyonu yeni cevherleşmelerin bulunmasına neden olabilecektir.*

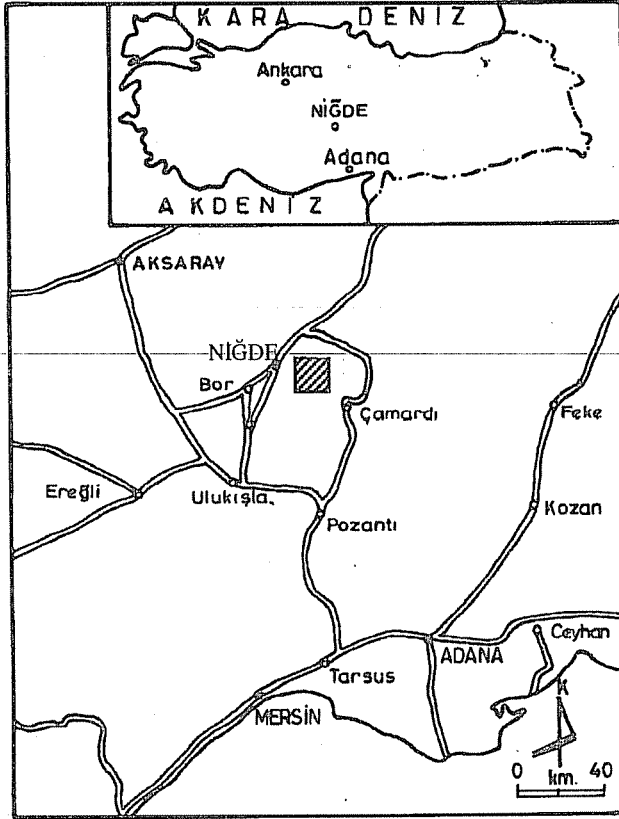
**GEOLOGY AND PETROGRAPHY OF GÜMÜŞLER (NİĞDE) AREA**

**ABSTRACT :** *Upper Cretaceous age metamorphics, which mainly comprises marble, gneiss, schist, amphibolite and quartzite, form the basement of the study area. The metamorphosed units are cut by granodiorite and diorite pluton and their dykes. All these rocks are discordantly overlain by Pliocene tuffs.*

*In the area, mineralizations related to the granodiorites and diorite intrusions and many abandon mines (antimony, mercury, silver, iron) exist. The detail geological study on the pre-plyosen rocks, may help to discover new mineralizations in the economical scale.*

## 1. GİRİŞ

Çalışma alanı Niğde ili sınırları içerisinde ve Niğde'nin 5 km doğusunda Gümüşler Üçkapılı yöreleri arasında kalan yaklaşık 140 km<sup>2</sup>'lik bir bölgeyi kapsar (Şekil 1).



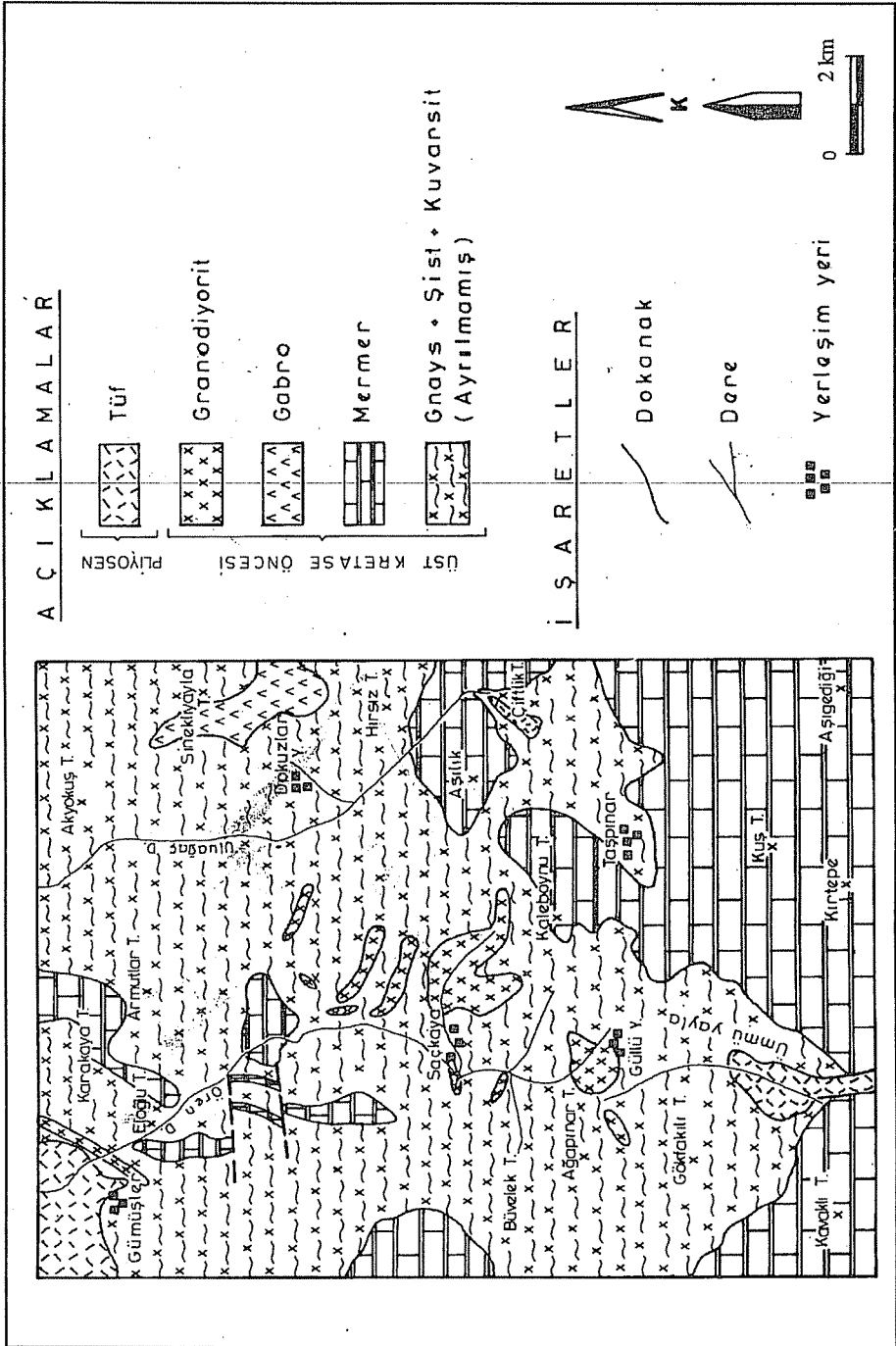
Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası

Bölge ve yakın çevresi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Blumenthal (1) Masifi ilk kez bir jeolojik birim olarak tanımlar. Yazar bölgede yer alan beyaz ve mavimsi mermer, kuvarsit, amfibolit, mikaşist ve fillitten oluşan kayaların metamorfizma dışında Anti-Toros'un dizilimini andırdığını öne sürer, Blumenthal (2), Aladağların jeolojisini temel alan bir çalışmada Niğde Masifi'nin metamorfize olmuş Paleozoyik yaşlı birimlerden oluştuğunu öne sürer ve tüm kütleli Niğde kompleksi olarak adlandırır. Akaladağ kireçtaşlarının Triyas'la başladığını Jura'nın ise ispatlanmadığını, Kretase'nin muhtemelen bulunduğunu ve Ecemiş fayını oluşturan hareketin erken Oligosen'de olduğunu savunmuştur.

Okay (3), Tuz gölü-Niğde-Kayseri arasının 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasını yapmış, ayrıca ayrıntılı olarak Niğde-Çamardı-Ulukışla arasında çalışmıştır. Yazar, tabanda amfibolistlerin yüzelendiğini ve bunların üzerine sırasıyla mikalı gnays, biyotit-muskovit şist ve masif mermerlerin geldiğini, tüm bu birimlerin granit ve diyorit tarafından kesilmiş olduğunu belirtir. Okay masifin dokanaklarının tektonik nitelikte olduğunu ileri sürmüş ve bölge volkanizmasını Granit masifleri, Diyoritler, Eosen yaşlı andezitler, Üst Neojen yaşlı andezitler ve bazaltlar şeklinde incelenmiştir. Okay (4), Ulukışla ve çevresinin jeolojisini doktora tezi olarak çalışmış ve inceleme alanındaki birimleri birçok formasyon ve gruplara ayırmıştır. Göncüoğlu (5), (6), (7), Niğde masifi üzerinde çalışmalar yapmıştır. Çalışmalarında Niğde masifinde yüzelenen metamorfik kayalar Niğde Grubu adı altında toplamıştır. Kaya türü özelliklerine göre Niğde Grubu içinde alttan üste doğru çeşitli gnays türleri içeren Gümüşler formasyonu; gnays, amfibolit ve karbonat aralanmasından oluşan Kaleboynu formasyonu ve masif karbonatlardan oluşan Aşıgediği formasyonunu ayırtlamıştır. Tüm bu birimler üzerinde ofiyolitli karmaşığın yer aldığı ve diğer birimlerle birlikte deformasyon ve metamorfizma geçirmiş olduğunu belirtmiştir. Kıtasal kabuk kökenli olduğu varsayılan Üçkapılı Granodiyorit Alt Senomaniyen'de Niğde grubu kayaları içine posttektonik olarak intrüzyon yaptığını ileri sürmüştür. Yetiş (8), Ecemiş Fay zonu boyunca Çamardı ve yöresinin jeolojisini incelemiştir. Özgür ve diğ. (9), Niğde masifinin jeolojisi ve cevherleşmesi ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Baş ve diğ. (10), Ulukışla-Çamardı volkanitlerinin petrolojik ve jeokimyasal özelliklerini incelemiş ve jeotektonik konumlarını yorumlamışlardır. İşler (11), (12), bölgemiz yakın çevresinde yüzelenen volkanitlerin petrografisi ve jeokimyasını incelemiş ve çoğunlukla spilitleşmiş olan volkanitlerin kalkalkali özellikte olduklarını vurgulamış ve bu volkanitlerin erginleşmiş adayaları volkanizmasının ürünleri olabileceklerin ileri sürmüştür. Yıldırım, İşler (13) ve Demir, İşler (14) Niğde masifi içerisinde yaptıkları petrografik ve jeokimyasal çalışmalarla masife ait bir kısım metamorfik kayaların daha önce varolan ofiyolitik seriye ait bazik ve ultrabazik kayaların metamorfizması sonucu geliştiğini vurgulamışlar ve metamorfitlerin büyük bir bölümünün orta köken daha az bir bölümünün de para kökenli olduklarını ileri sürmüşlerdir.

## 2. GENEL JEOLJİ

Çalışma bölgesinde Üst Kretase yaşlı Göncüoğlu (5), (15) oldukları kabul edilen metamorfik kayalar (mermer, şist, kuvarsit, gnays) ile bu kayaları kesen durumda Gabro, Granodiyorit mostraları ile tüm bu birimleri örten konumda Pliyosen yaşlı tüfler yer almaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Gümüşler yöresinin jeoloji haritası

## 2.1. Gnays + Şist + Kuvarsit

Çalışma bölgemizde gnays+şist+kuvarsit olarak gösterdiğimiz bu birimler ayrı ayrı haritalanabilecek bir konumda olmadıklarından ayrılmamış olarak bir arada gösterilmişlerdir. Genelde çalışılan bölgenin çok büyük bir kesimini oluşturan bu birimler birbirleri içlerinde merceksi yapıda veya ardalanma şeklinde görülebildikleri gibi bazan bir birim diğer birimlere oranla çok daha fazla yüzeylenme gösterir. Göncüoğlu (5), (15) bu birimleri gnays, amfibolit ve karbonat ardalanmasından oluşan Kaleboynu formasyonu ile çeşitli gnays türleri içeren Gümüşler formasyonu olarak adlandırır. Bu çalışmada özellikle birimler ayrı ayrı ele alınıp petrografik olarak incelenmişlerdir.

### 2.1.1. Gnays

Bazen tek başlarına bazende diğer birimlerle birlikte yüzeylenme gösteren gnayslar Ören deresi ve karagöl deresi boyunca, Armutlar tepe ve Göllü yaylası civarlarında iyi yüzlek verirler çoğunlukla taneli görünüme sahip olmakla birlikte yer yer şisti görünüm arzederler. Yapılan mikroskopik çalışmalar sonrasında biyotitli, turmalinli, iki mikalı, granatlı ve viridinli gnays türleri tespit edilmiştir. Tüm gnays türlerinde kuvars esas minerali oluşturur bazen küçük bazen iri taneler şeklinde ve birbirleriyle iyi kenetlenme gösteren kuvarsların hemen hemen hepsi basınçtan dolayı hafif bir uzanım kazanmış olup dalgalı sönmelidirler. Plajioklaslar bazı örneklerde alkali feldispatlardan daha fazla bulunurlar, büyük bir çoğunluğunun serisitleşme ve kaolenleşme şeklinde ayrışma gösteren plajioklasların % 40-45 Anortit içeren Andezin oldukları tespit edilmiştir. Alkali feldispatlar da genellikle kaolenleşme şeklinde ayrışmış olup yer yer pertitik yapı göstermeleri ile dikkati çekerler ayrıca bazı kesitlerimizde karakteristik kafes şekilleri ile mikroklin de tespit edilmiştir. Turmalinli gnayslarda otomorf turmalinlerin kırıklı yapısı ve bükülme gösteren iri muskovit tanelerinin konumu dikkat çekicidir. Granatlı gnayslarda da granatların tektonizma sonucu kırıklı bir yapı gösterdiği ve kırıkların düşük sıcaklıklı ikincil mineraller tarafından doldurulduğu gözlenmiştir. Viridinli gnayslarda viridin mineralinin koyu yeşil polarizan renkleri ve zümrüt yeşili net pleokroizması ile dikkat çekicidir.

### 2.1.2. Şistler

Gnayslara oranla çok fazla yer kaplayan şistler belirgin şisti görünümleri, yer yer kıvrım ve kırıklı yapıları ile dikkati çekerler. Şistler genellikle gnays ve mermerlerle bir arada zaman zaman ardalanmalar şeklinde veya merceksi konumda görülürler, bazan tek başlarına geniş yayılımlar gösterirler. Bölgemizde çok değişik yerlerde görülmelerinin yanında en iyi yüzeylendikleri yer Aşıgediği Ören deresi, Uluğaç deresi, Armutlar, Zerdalılıkaya, Kaleboynu tepe, Dokuzlar ve Ağaçpınar yaylası civarlarıdır.

Yapılan mikroskopik çalışmalar sonrasında mineral çokluk sırasına göre kuvars şistlerin çok yaygın oldukları görülmüş daha az olarakta yine kuvars mineralinin de içinde varolduğu biyotit şist, Epidot şist, Kalk şist ve Amfibol şist gözlenmiştir. Kuvarşistlerde mineral parajenezlerine göre Muskovit-Serisit-Kuvars şist, Biyotit-Muskovit-Kuvars şist, Muskovit-Epidot-Kalsit-Kuvars şist ve Amfibol-Kalk-Kuvars şist birimleri tespit edilmiştir. Bu şistler de hakim mineral olarak görülen kuvars taneleri genellikle irili ufaklı taneler şeklinde dalgalı sönmeli ve yer yer çok belirgin uzanım gösterirler bazı örneklerde diğer koyu renkli minerallerle bantlı yapı oluştururlar. Mikalar özellikle biyotit mineralleri ince uzun fibru şekilleri ve tektonizma etkisi ile yer yer bükülme ve kırılma göstermeleri ile dikkati çekerler, kalsitin var olduğu kuvars şistlerde kalsitlerin yer yer uzanım kazanmış oldukları ve polisentetik ikiz veya baklava şeklinde dilinim izi gösterdikleri gözlenmiştir. Şistlerin bir kısmında plajyoklas mineraline çok az rastlanmış ve bir kısım plajyoklasların da serisitleşmiş oldukları görülmüştür.

Kalsit mineralinin egemen olduğu kalk şistlerde kuvars-piroksen-kalsit ve Epidot-kuvars- kalsit parajenezleri tespit edilmiştir. Piroksen mineralinin gözlendiği kalkşistler mozaik görünümlü olup mineraller iyi kenetlenme gösterir, mineraller yaklaşık aynı boyuttadırlar bazen piroksen daha iri olması ile dikkati çeker, Epidot mineralinin varolduğu kalk şistler ise daha ince taneli olup bazen bantlı yapı gösterirler.

Amfibol şistler ise diğer şistlerden daha koyu renkli olması ve daha masif görünümü ile kolaylıkla ayırtedilirler. Mikroskopik çalışmalar sonrasında amfibol ile birlikte kuvars, kalsit, piroksen ve plajyoklas mineralleri tespit edilmiştir ayrıca bazı kalsitlerde epidot, sfen ve opak mineraller gözlenmiştir. Plajyoklaslar genellikle ayrıışmış ve serisite dönüşmüştür. Piroksenlerin çok kırıklı ve çatlaklı görünümü ile polisentetik ikizli kalsit minerallerinin varlığı dikkat çekicidir.

Göncüoğlu (6), burada gözlenen şistlerin bölgesel metamorfizma başkalaşım koşullarının orta-yüksek tipine karşılık geldiğini belirtmiştir.

### 2.1.3. Kuvarsit

Kuvarsitler daha az olarak mermerler içerisinde diğer metamorfik birimlerle aralanmalı veya merceksi şekilde yer yer görülürler. Çok çatlaklı ve kırıklı bir yapıları vardır, kırık ve çatlaklar kuvars tarafından doldurulmuştur en iyi izlendikleri yer Uluğağaç deresi, Ortaburun tepe ve Çökük civarıdır. Mikroskopik olarak incelendiğinde egemen minerali kuvars oluşturur genellikle birbirleri ile iyi kenetlenme sunan kuvarşlar dalgalı sönmeli, düzensiz kırık ve çatlaklı ve bazen belirgin uzanımlıdır. Kuvars dışında az miktarda plajyoklas izlenmiştir, bunlarda ayrıışmış olup serisit ve muskovite dönüşmüşlerdir.



#### 2.1.4. Mermer

İncelenen bölge içerisinde diğer birimlere oranla en fazla olan bir birimdir, değişik yerlerde yaygın olarak yüzeylenme gösterirler. Mermerler iki farklı görünüm verirler, Kabak tepe, Aşılık tepe, Kavaklı tepe ve Hıdırlık tepede görülen mermerler som ve katıksız iken Hırsız tepe, Tümnü yaylası, Armutlu r tepesi, Ören deresi ve Sapçıkuzayı tepesi civarlarında görülen mermerler ise diğer metamorfik birimlerle bir arada değişik konumlarda, ardalanmalı veya diğer birimleri merceksi olarak içinde bulundurur şekilde bulunurlar. Arazideki konumları genellikle oldukça kırık ve çatlaklı olup yer yer düzenli tabakalanma gösterirler. Gri beyaz veya pembemsi renkte olan mermerler içerisinde bazen yaklaşık kalınlıkları 1-2 metre ve 20-30 metre uzunluklarına erişen süt kuvars damarlarına rastlanmıştır.

Yapılan mikroskopik incelemeler sonrasında bazı mermerlerin çok iyi kenetlenme gösteren iri kalsit tanelerinden oluştuğu görülmüş ve bu kalsitlerde polisentetik ikizlenmelerle baklava şeklinde dilinim izleri çok iyi gelişmiştir. Tektonik olaylar sonucu bazı kalsitlerde de bükülme ve kırılmalar tespit edilmiştir. Bir kısım mermer örneklerinde ise yer yer az miktarda kuvars, muskovit, amfibol ve epidot gibi silikat minerallerine de rastlanılmıştır.

#### 2.2. Granodiyorit

İncelenen bölge içerisinde genellikle tüm metamorfik birimleri keser konumda olan granodiyoritin en iyi yüzeylendiği yerler Saçkaya doğusu ve Güllü yayla civarlarıdır. Bu yerlerin dışında değişik yerlerde dayk ve küçük sokulumlar şeklindedir. Açık renkli olmaları, çok kırıklı yapıları ve yaklaşık birbirine dik çatlak sistemleri ile dikkat çekicidirler. Genellikle keskin ve sert röliyefler oluştururlar dokanak sınırlarında daha ince taneli olmaları ve koyu renkli ksenolitleri içermeleri ile kontakt ilişkileri net olarak izlenir.

Mikroskopik incelemeler sonucunda yer yer dalgalı sönme gösteren bol kuvars içerdikleri ve % 35-40 An. içeren andezin türü plajyoklasların ise genellikle ayrılmış oldukları gözlenmiştir. Ayrışma minerali olarak serisitlenme ve kaolenleşme yaygındır. Bazı kesitlerde ise plajyoklaslar tamamen serisitlenmişlerdir. Plajyoklaslara oranla daha az görülen potasyumlu feldispatlar da ayrılmış olup yer yer serisitlenme ve kaolenleşme gösterirler bir kısım örneklerde pertüleşme ve bazı örneklerde ise mikroklin tespit edilmiştir. Ferromagnezyen minerallerden hornblend görülmemiş ancak az miktarda biyotit ve bazı kesitlerde ise daha bol miktarda muskovit gözlenmiştir. Özellikle dayk şeklinde yüzeylenme gösteren granodiyoritlerde mineraller tektonizmadan fazlaca etkilenmişlerdir. Tektonizma sonucu muskovitlerde bükülme, kırılma ve ufalanmalar görülmüştür. Ayrıca bu kayalarda yer yer granat ve turmalin mineralleride tespit edilmiştir.

### 2.3. Gabro

Bölgemizin doğu ve güneydoğu kesiminde görülen gabrolar geniş yüzeylenme sunarlar en iyi görüldüğü yer Sineksizyayla tepe ve civarlarıdır. Genellikle çok sert, kırıklı ve çatlaklı bir yapıya sahip olan gabrolar orta kısımlarda taneli bir görünüm sunarken dokanak kısımlarında çoğunlukla ezikli hatta şisti bir yapı gösterirler. Yer yer kuvarslı diyorit damarları tarafından kesilmişlerdir.

Yapılan mikroskopik incelemeler sonucunda bazılarının meta gabro diğerlerinin ise piroksenli gabro ve olivin ve piroksenli gabro oldukları gözlenmiştir. Hakim olarak görülen plajioklasların ise 55 An. içeren Labrodor oldukları ve bazılarının kırılma ve bükülme gösterdikleri bir kısmının ise serisitleşme gösterdiği tespit edilmiştir. İkinci hakim minerali piroksenler oluşturur, bunlarda kırıklı ve çatlaklı olmaları ve büyük bir kısmının uralitleşme göstermeleri ile dikkati çekerler. Olivin bazı örneklerde görülmemiş bazılarında ise az miktarda izlenmiştir. Ayrıca bazı örneklerimizde az olarak amfibol minerallerine de rastlanmıştır.

### 2.4. Tüf

Bölgemiz içerisinde en genç birimler olarak yer alırlar ve bölgemizin değişik yerlerinde özellikle Gümüşler, Evliya tepe ve Çiftlik tepe ve Ümmü yaylası mevkiinde yüzeylenirler. Tüfler bazı yerlerde sert ve boşluklu görünüm verirken diğer bazı yerlerde ise yumuşak ve dağılğan olarak izlenirler. Pembemsi ve gri renklerde görülen tüfler içerisinde yaklaşık bir kaç santimetre büyüklüğünde yer yer pomza ve volkanik kayaç parçalarının bulunuşu dikkati çeker.

Yapılan mikroskopik incelemeler sonucunda dasitik tüf karakterinde ve kristalli vitrik tüf özelliğinde oldukları tespit edilmiştir. Hyalo-porfirik strüktürlü olup plajioklasları genellikle zonlu yapı ve parçalanmış durumdadır.

Kuvarslar ise ksenomorf şekilli ve kırıklı bir yapı sunarlar. Ayrıca yer yer kırıklı biyotit mineralleri de gözlenmiştir. Tüm bu mineraller camsı hamur içerisinde yüzer vaziyettedir. Camsı hamuru oluşturan değişik görünümlü cam yongaları tek nikelde net görüntü verirler.

## 3. EKONOMİK JEOLJİ

Çalışma bölgemiz ve yakın çevresi ekonomik yönden önem arz etmektedir. Sahamızın hemen kuzeyinde antimonit-civa cevherleşmeleri bulunmaktadır. Bu yataklar önceki yıllarda işletilmiş fakat sonraları terkedilmiştir. Gümüşler köyü güneyinde yine çok önceleri gümüş işletildiği bilinmektedir. Armutlar tepe ve Büvelek tepe yörelerinde demir cevherleşmeleri gözlenmiştir. Tüm bunların dışında sahamız ve sahamız yakın çevresinde Mermerler çok önem taşımaktadır. Ayrıca tüflerden de bazı besin maddelerinin depolanmasında yararlanılmaktadır.

#### 4. SONUÇ

Bölge ve yakın çevresinde yüzeyleme gösteren kayalar metamorfizma bakımından çok çeşitlilik arz etmektedir. Bölgesel metamorfizmanın orta-yüksek sıcaklık tipinde başkalaşım geçirmiş olan bu kayaların litostratigrafik konumları da yakın mesafelerde dahi çok değişkenlik göstermektedir. Bu bakımdan bölgenin detay petrografik incelenmesi yanında tektonik konumunun çok iyi çalışılması gerekmektedir. Bölge Sb, Hg, Ag ve Fe cevherleşmeleri yönünden de önem teşkil etmektedir. İyi bir prospeksiyon çalışması ile yeni maden yataklarının bulunacağı ayrıca mermer ocaklarından daha iyi yararlanılabileceği kanısındayız.

#### 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma FBE 90-32 nolu proje ile Çukurova Üniversitesi Araştırma fonu tarafından desteklenmiştir. Yazarlar projenin gerçekleşmesinde emeği geçen tüm kişilere teşekkür eder.

#### 6. KAYNAKLAR

1. Blumenthal, M., Niğde ve Adana vilayetleri dahilindeki Torosların jeolojisine bakış, MTA Derg. 6, 1941.
2. Blumenthal, M., Yüksek Bolkar dağlarının kuzey kenar bölgelerinin ve batı uzantılarının jeolojisi, MTA Ens. yayını, seri D, No 7, 15s, 1956.
3. Okay, A.C., Niğde-Çamardı ve Ulukışla arasındaki bölgenin jeolojisi, MTA Rep. Nr. 2383, 1955.
4. Oktay, F.Y., Ulukışla ve çevresinin stratigrafisi ve jeolojik evrimi. Türkiye Jeo. Kur. Bült. C. 25, s. 1, 15-23, 1973.
5. Göncüoğlu, M.C., Geologie des Westlichen Niğde Massivs, Bonn Univ. Doktora tezi (yayınlanmamış), 180s, 1977.
6. Göncüoğlu, M.C., Niğde Masifinin jeolojisi, İç Anadolu'nun jeolojisi simpozyumu, Türkiye Jeo. Kur. 35. Bilimsel ve teknik kurultayı, 16-19, 1981.
7. Göncüoğlu, M.C., Niğde Masifinde viridin gnaysın kökeni, Türkiye jeo. Kur. Bült. c. 24, s 1, 45-51, 1981.
8. Yetiş, C., Çamardı (Niğde) yakın ve uzak dolayının jeoloji incelemesi ve Ecemiş yarılım kuşağının Madenboğazı Kamışlı arasındaki özellikleri, İST. Üniv. Fen Fak. Doktora tezi (yayınlanmamış), 164 s, 1978.
9. Oygür, V., Erkale, M., Erkân, N. ve Karabalık, N., Niğde Masifi demir cevherleşmeleri maden jeolojisi raporu, MTA Derleme Rap. No 7521, 1975.
10. Baş, H., Ayhan, A. ve Atabey, E., Ulukışla-Çamardı (Niğde) Volkanitlerinin petrolojik ve jeokimyasal özellikleri, Jeoloji Mühendisliği, 26, 27-35, 1986.
11. İşler, F., Çiftahan (Niğde) volkanitlerinin mineralojik-petrografik ve jeokimyasal incelemesi, Türkiye Jeo. Kur. Bült. C. 31, S. 2, 29-35, 1988.

12. İşler, F., Bademdere kuzeyinin (Niğde) jeolojik ve petrografik etüdü, Ç.Ü. Araştırma Fonu Proje No FBE 88-8, Adana, 1991.
13. Yıldırım, F. ve İşler, F., Klavuz-Çiftlik köy (Niğde-Bor) Yöresinin jeolojisi ve petrografisi, *Yerbilimleri Geosound*, sayı 21, 155-162, Adana, 1992.
14. Demir, Ö. ve İşler, F., Niğde Masifi güneybatı kesimi (Karamahmutlu-Karacaören) in jeolojisi, petrografisi ve amfibolitlerin kökensel yorumu, *Yerbilimleri Geosound*, sayı 23, 85-96, Adana, 1993.
15. Göncüoğlu, M.C., Niğde Masifi paragneyslarında zirkon U/Pb yaşları, *Türkiye Geo., Kur., Bült.*, C. 25, sayı 1, 61-66, 1982.

## PARAMETRİK PROGRAMLAMA TEKNİĞİNİN ÜRETİM PLANLAMA VE KÂR ANALİZİNDE KULLANIMI

A. KOKANGÜL ve R.TAGİYEV

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

**ÖZET:** Üretimde etkili olan faktörlerin zaman içinde değişimi mamül satış kârının zaman parametresine bağımlı olarak değişimine neden olmaktadır. Böyle durumlarda işletmenin amaçlarını bu parametrenin her bir değerinin ne ölçüde etkilediği, Parametrik Programlama Tekniğinin uygulanmasıyla bulunabilir.

Bu çalışmada, Parametrik Programlama tekniği, satış kârı zaman içinde değişen bir işletmeye uygulanmıştır. İşletmeye ait optimum üretim planının bulunması probleminin Parametrik Programlama tekniği yardımıyla, Matematiksel Modeli hazırlanmıştır. Parametrik Programlama probleminin çözüm algoritması için hazırlanan bilgisayar programı ile elde edilmiş sonuçlar verilmiştir. Alınan sonuçlar yardımıyla, işletmenin maksimum kâr sağlayacağı optimum üretim planı belirlenmiş ve zaman parametresinin her bir değeri için elde edilecek maksimum kâr sunulmuştur.

## THE USE OF PARAMETRIC PROGRAMMING TECHNIQUES IN PRODUCTION PLANING AND PROFIT ANALYSIS

**ABSTRACT:** Changes of factors by time those are effective in manufacturing cause to change of profit by time parameter. In this case, Parametric Programming Technique is a useful tool to predict how these factors will effect the final goal.

In present work, a model plant has been considered for which a mathematical model has been established. A solution algorithm for a Parametric Programming and also computer program for this algorithm have been put foreword. A sensitivity analysis of optimal solution of the problem has also been carried out by Parametric Programming Technique. As a result, maximum profit level with respect to production amount has been set up by help of sensitivity analysis and accordingly production planing is proposed for each value of time parameter.

## 1. GİRİŞ

İşletmelerin çözüm getirmek zorunda oldukları karar problemleri esas itibarıyla, kıt kaynakların rakip faaliyetler arasında, optimum bir şekilde dağıtılması problemidir. Günümüzde üretimde etkili olan faktörlerin zaman içinde hızla değişmesi ve işletmeler arasında ezici bir rekabet ortamının oluşması, yöneticilerin üretim hakkında verdikleri kararlarda bilimsel yöntemlerden yararlanmasını zorunlu kılmıştır.

Karar verme bilimi olarak tanınan Yöneylem Araştırması alanında, işletmelerin karar verirken yararlanabilecekleri matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bu modellerin en iyi tanınan ve en yaygın kullanılan bir tanesi Doğrusal Programlamadır. Matematiksel açıdan Doğrusal Programlama modeli, amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcıları lineer olan bir sınırlı optimizasyon problemidir (Dantzig, 1963 (1); Taha, 1987 (2)).

Parametrik Doğrusal Programlama, modeldeki parametrelerin eş zamanlı değişimine karşın optimal çözümün nasıl değiştiğini inceleyen bir yöntemdir. Pratikte çoğu zaman modelin verilerinin yalnız yaklaşık değerleri belli olur. Hem ölçmeye dayanan hataların, hem de verilerin değişme aralığının dikkate alınması optimal çözümün bulunması açısından önemlidir. Bu verileri bir parametrenin lineer fonksiyonları gibi göstererek, katsayıların farklı değerlerinin problemin çözümünü nasıl etkilediğini öğrenmek mümkün olur. Diğer yandan bir çok ekonomik problemin matematiksel modeli Parametrik Programlama problemi şeklinde yazılabilir (Dantzig, 1948 (3); Manne, 1953 (4); Hillier ve Liberman, 1980 (5); Gall, 1980 (6)).

Parametrik Programlama pratikte mühendislik faaliyetleriyle ilgili matematiksel problemlerin araştırılmasına kolaylıkla uygulanabilir. Örneğin ilk verilerin değişimine göre çözümün duyarlılık analizinde, bu duyarlılığın değerlendirilmesi ve değişik bir çok problemin çözümünde Parametrik Programlama tekniği kullanılabilir. Parametrik Programlama; endüstri, ziraat, askeri uygulamalarda, tarım alanlarında, şehir trafik kontrolünde, petrol rafineri yönetiminde, finansal planların yapılmasında ve benzeri alanlarda kullanılabilir. (Lacacava ve Wallar, 1971(7); Chern, 1985 (8); Harrison ve Leonard, 1986 (9); Turgeon, 1987 (10); Rockow ve Corcoran, 1989 (11); Broyson, 1991 (12); Ohsaki ve Arrora, 1993 (13)).

Bu çalışmada Parametrik Doğrusal Programlama problemlerinin çözüm teknikleri incelenmiş ve bir bilgisayar programı yapılmıştır.

Daha sonra ülkemiz gıda ve temizlik alanında önde gelen bir işletmeden alınmış gerçek veriler kullanılarak, üretim planlaması ve kâr analizi için Parametrik Doğrusal Programlama modeli kurulmuştur. Bu modelin çözümü yapılan bilgisayar programı ile bulunmuş ve işletmeye optimum üretim planı sunulmuştur. Bulunan sonuçlar işletmede gerçekleşen değerlerle karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

## 2. MATERYAL ve METOD

Üretimde etkili olan pazar sınırları, hammadde stokları, minimum üretim miktarı, üretim kapasitesi, satış kârı ve her mamülün birim miktarını üretmek için her hammaddenin kullanım miktarlarına ait veriler işletmeden alınarak materyal olarak kullanılmıştır.

Bu çalışmada Parametrik Doğrusal Programlama Tekniği, Büyük-M, Simpleks ve Dual Simpleks metodları kullanılmıştır.

## 3. İŞLETMEYE AİT EKONOMİK MODELİN KURULMASI

Piyasada mamül satış kârı genellikle zamana veya farklı parametrelere bağımlı olarak değişmektedir. Böyle durumlarda işletmelerin daha yüksek bir kârla, piyasada varlıklarını sürdürebilmeleri için bu değişimi dikkate alarak, maksimum kâr sağlayacakları üretim planının belirlenmesi, Parametrik Programlama tekniğinin uygulanmasıyla mümkündür. Bunun için öncelikle işletmeye ait ekonomik model kurulur. Ekonomik modelin kurulması için şu yol izenir.

1. Problem ve amacı sözler ile ifade edilir. Bu çalışmadaki problem gıda ve temizlik alanında çalışan bir işletmenin mevcut imkanlarıyla maksimum kâr sağlama problemi. Amaç ise, 9 aylık dönemde üretimde etkili olan faktörlerin dikkate alınarak optimum üretim planının bulunmasıdır.

2. Problemin karar değişkenleri seçilir. Uygulamayı yaptığımız işletmede 35 mamül üretildiğinden, modelde 35 karar değişkeni bulunacaktır. Her bir mamül aşağıda görüldüğü gibi bir değişkene atanır.

1. mamül:  $x_1$ , 2. mamül:  $x_2$ , ..., 35. mamül:  $x_{35}$

3. Problemin amacı bir değişken ile sembolize edilir ve karar değişkenlerine bağımlı olarak amaç fonksiyonu formüle edilir. Bu çalışmada amaç, mevcut imkanlarla 9 aylık dönemde üretimden sağlanan kârın maksimum seviyeye getirilmesidir. Dolayısıyla, işletmenin sağlayacağı maksimum kâr,  $F$  ile sembolize edilsin. Bu fonksiyon aşağıda görüldüğü gibi, üretilen her bir mamülün satışından sağlanan kâr veya zararın toplamı şeklinde ifade edilerek, maksimum yapılmaya çalışılır.

Uygulamada mamül satışından sağlanan kârın zaman içinde değişmesi ve bu değişimin modelde dikkate alınması, gerçekçi sonuçların alınması açısından önemlidir. Bu değişim  $t$  zaman parametresine lineer bağımlı olarak ifade edilir.

İşletmeden 3 aylık ve 9 aylık ortalama kâr oranları alınmıştır. Zaman parametresinin  $0 \leq t \leq 4.5$  aralığında değiştiği ve  $t=1.5$  değerinin 3 aya,  $t=4.5$  değerinin ise, 9 aya karşılık geldiği varsayılarak, her bir mamülün satışından sağlanan kâr,  $t$  parametresinin lineer

fonksiyonu gibi yazılır. Örneğin 1. mamülün ( $x_1$ 'in) bir kilogramından sağlanan 3 aylık kâr, 8469.9 TL., 9 aylık ortalama kâr ise, 8 142.9 TL. olduğundan bu lineer fonksiyon 8 633.4-109 t olur. Dolayısıyla amaç fonksiyonundaki  $x_1$  'in katsayısı (8 633.4-109 t) olur. Benzer şekilde diğer mamüller için de 9 ayda elde edilen kârın zamanla değişimi bulunarak amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\begin{aligned}
 F = & (8633.4-109t)x_1 + (7583.2-1640.2t)x_2 + (5808.05-1165.03t)x_3 + \\
 & (5841.05-1702.43t)x_4 + (6183.99-1066.66t)x_5 + (5896.8-746.4t)x_6 + \\
 & (4958.4-1262.33t)x_7 + (2992.6+637t)x_8 + (3910.75-614.16t)x_9 + \\
 & (8504.75-1316.5t)x_{10} + (4461.3-825t)x_{11} + (4648.55-539.96t)x_{12} + \\
 & (9931.5-1163.8t)x_{13} + (11449.05-1660.36t)x_{14} + (4694-1457.2t)x_{15} + \\
 & (8628.05-985.63t)x_{16} + (7992.45-1083.96t)x_{17} + (9308.05-2419.5t)x_{18} + \\
 & (5028-1649.06t)x_{19} + (9891.1-1562.53t)x_{20} + (10112.95-1745.76t)x_{21} + \\
 & (9005-395.86t)x_{22} + (8753.7-1620.6t)x_{23} + (7740.5-1626.2t)x_{24} + \\
 & (6258.85-2240.3t)x_{25} + (12 759.2-376.86t)x_{26} + (11749.4-578.46t)x_{27} + \\
 & (14202.4-2381.93t)x_{28} + (12215.6+1824.93t)x_{29} + (7075.55+823.43t)x_{30} + \\
 & (11498.25 - 1907.12t)x_{31} + (5987.05-1461.7t)x_{32} + (5151.4 - 1045.46 t)x_{33} \\
 & (4602.2-463t)x_{34} + (10276.65-1025.43t)x_{35}
 \end{aligned}$$

4. Kısıtlayıcıların belirlenmesi: Üretimde etkili olan faktörler belirlenir ve bu faktörler modelde birer sınırlayıcı olarak lineer denklem veya eşitsizlikler ile ifade edilir.

Bu çalışmada, özellikle üretimde etkili faktörler; fabrika kapasitesi, bazı mamüllerden minimum üretim yapma zorunluluğu, pazar sınırları ve kullanılan hammadde miktarıdır. Üretimi sınırlayan bu faktörlerin incelenen dönemde değişmediği kabul edilerek aşağıdaki gibi ifade edilir.

**Fabrika kapasitesi:** İşletmeden alınan verilerden yararlanarak işletmenin 9 aylık üretim kapasitesi modelde birer sınırlayıcı olarak ifade edilir.

$$\begin{aligned}
 x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} \\
 \leq 92\,400\,000 \text{ kg. (Margarin için)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} \\
 \leq 17\,325\,000 \text{ kg. (Sıvı yağ için)}
 \end{aligned}$$

$$x_{29} + x_{30} + x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} \leq 6\,930\,000 \text{ kg. (Sabun için)}$$

$$x_{35} \leq 4\,620\,000 \text{ kg. (Sabun tozu için)}$$

Burada kısıtlayıcıların birinci tarafında o guruba giren üretilen mamüllerin miktarlarının toplamı, ikinci tarafında ise, üretilen mamül gurubundan işletmenin 9 aylık üretim kapasitesi bulunmaktadır.

**Pazar Sınırları:** İşletmenin belli bir dönemde satabileceği mamül miktarı sınırlıdır ve üretim planı yapılırken bu sınırlar dikkate alınmalıdır. Pazarlama bölümünden



alınmış veriler kullanılarak, 9 ayda satılabilecek maksimum mamül miktarları birer sınırlayıcı denklem halinde aşağıdaki gibi ifade edilir.

$x_9$	$\leq 2\ 625\ 000$ kg.	Nepa için
$x_5+x_6$	$\leq 30\ 000\ 000$ kg.	Neba için
$x_1+x_2+x_3+x_4$	$\leq 7\ 500\ 000$ kg.	Doya için
$x_7+x_8+x_9+x_{10}+x_{11}+x_{12}$	$\leq 22\ 500\ 000$ kg.	Sanayi için
$x_{29}+x_{30}+x_{31}+x_{32}+x_{33}+x_{34}$	$\leq 6\ 750\ 000$ kg.	Sabun için
$x_{20}+x_{21}+x_{22}+x_{23}+x_{24}+x_{25}$	$\leq 18\ 750\ 000$ kg.	Ayçiçek yağı için
$x_{26}+x_{27}+x_{28}$	$\leq 1\ 500\ 000$ kg.	Mısırozü yağı için
$x_{16}+x_{17}+x_{18}+x_{19}$	$\leq 1\ 875\ 000$ kg.	Soya yağı için
$x_{35}$	$\leq 2\ 250\ 000$ kg.	Sabun tozu için
$x_{13}+x_{14}+x_{15}$	$\leq 3\ 750\ 000$ kg.	Pastacılık için

Burada kısıtlayıcıların birinci tarafında o guruba ait üretilecek mamüllerin miktarlarının toplamı, ikinci tarafında ise, pazar sınırları yer alır.

**Minimum üretim sınırlayıcıları:** İşletmenin bazı mamüllerden en azından belli bir miktar üretmek zorunda olması nedeniyle bu faktörler birer sınırlayıcı olarak dikkate alınmıştır. Bu miktarlar yapılmış anlaşmalardan veya üretilen mamülün marka adının devam ettirilmek istenmesinden kaynaklanır ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$x_2 \geq 35\ 750$ ,	$x_3 \geq 81\ 480$ ,
$x_4 \geq 195\ 300$ ,	$x_{16} \geq 32\ 900$ ,
$x_{17} \geq 35\ 400$ ,	$x_{18} \geq 21\ 200$ ,
$x_{19} \geq 42\ 900$ ,	$x_{24} \geq 74\ 650$ ,
$x_{27} \geq 37\ 950$ ,	$x_{28} \geq 86\ 550$ ,
$x_{30} \geq 115\ 800$ ,	$x_{31} \geq 23\ 300$ ,
$x_{32} \geq 102\ 050$ ,	$x_{33} \geq 56\ 550$ ,
$x_{34} \geq 19\ 700$	

**Hammadde Sınırlayıcıları:** Üretimde etkili olarak kullanılan ve temini belli dönemlerde sağlanan 10 hammadde dikkate alınmıştır. Her hammadde için bir sınırlayıcı denklem ifade edilir ve bu denklemin birinci tarafında o hammaddenin kullanılacağı miktarlar ikinci tarafında ise, hammaddenin zamana bağımlı 9 aylık stok miktarı yer alır. Değişkenlerin katsayıları ise, bu değişkenlerle ifade edilen mamüllerin 1 kg.'ının üretimi için kullanılan hammadde miktarlarıdır.

$0.79x_1+0.83x_2+0.80x_3+0.812x_4+0.69x_6+0.029x_7+0.649x_9+0.015x_{11}+0.007x_{15} \leq 8\ 654\ 658$  kg. (Doya kompoze margarin)

$$0.11x_1 + 0.048x_2 + 0.044x_3 + 0.039x_4 + 0.009x_6 + 0.928x_7 + 0.036x_9 + 0.18x_{11} + 0.22x_{12} + 0.003x_{13} \leq 5\,720\,461 \text{ kg. (Pamar kopoze)}$$

$$0.01x_2 + 0.009x_4 + 0.001x_7 + 0.026x_{11} + 0.026x_{13} \leq 1\,648\,910 \text{ kg. (İhraç Doya kompoze margarin)}$$

$$0.01x_2 + 0.023x_3 + 0.016x_4 + 0.829x_5 + 0.02x_6 + 0.009x_7 + 0.036x_9 + 0.039x_{11} + 0.11x_{13} + 0.002x_{14} + 0.034x_{15} \leq 6\,621\,250 \text{ kg. (Neba kompoze margarin)}$$

$$0.0005x_4 + 0.004x_6 + 0.01x_7 + 0.0005x_9 + 0.65x_{11} \leq 115\,913 \text{ kg. (Pamar pakmaya kompoze)}$$

$$0.006x_4 + 0.866x_{15} \leq 1\,318\,376 \text{ kg. (Pamar Baklava kompoze)}$$

$$0.0005x_7 + 1x_{10} \leq 1\,245\,820 \text{ kg. (Özel kernel kompoze)}$$

$$0.909x_{20} + 0.909x_{21} + 0.909x_{22} + 0.909x_{23} + 0.909x_{24} + 0.909x_{25} \leq 15\,783\,000 \text{ kg. (Deodorize ayçiçek yağı)}$$

$$0.309x_{30} + 0.258x_{31} + 0.249x_{32} + 0.269x_{33} + 0.128x_{34} \leq 1\,800\,000 \text{ kg. (Don yağı)}$$

$$0.869x_{35} \leq 2\,619\,037 \text{ kg. (Kesek paklar)}$$

Burada bir sınırlayıcı da negatif olmama koşulundan yazılır çünkü işletmede herhangi bir mamül ya üretilir veya üretilmez. Dolayısıyla,

$$x_i \geq 0, \quad (i=1,2,\dots,35) \text{ olur.}$$

Böylece, mamül satışından sağlanan kârın zaman içinde değişimine karşın Parametrik Doğrusal Programlama modeli kurulmuş olur. Burada  $t$  parametresinin  $0 \leq t \leq 4.5$  aralığındaki her bir değeri için  $F$  amaç fonksiyonunun bütün kısıtlayıcıları sağlamak koşulu ile maksimum değerinin bulunması istenmektedir.

5. Model kurulduktan sonra çözümlenerek elde edilen sonuçlar değerlendirilir. İşletmeye ait kurulan ekonomik modelin çözümü oluşturulan bilgisayar programı yardımıyla bulunur.

### 3.1. Modelin Çözümü İçin Bilgisayar Programı

Çözümü bulmak için bilgisayar programı oluşturulmuştur. Program oluşturulurken

özellikle gereksinim duyulacak tüm bilgilerin program kapsamında olması sağlanmış ve kullanıcıya konuyla ilgili tatmin edici bilgilerin verilmesi hedeflenmiştir.

Programın oluşturulmasında, Parametrik Doğrusal Programlama modelinin çözümünde kullanılan Büyük-M, Simpleks ve Dual Simpleks Metodlarının algoritmaları kullanılmıştır. Program Basic programlama dilinde yazılmıştır.

Program, zaman parametresi  $t$ 'nin istenen aralıktaki tüm değerleri için Parametrik Doğrusal Programlama probleminin çözümünü vermektedir. Dolayısıyla  $t$ 'nin alt sınırının ve üst sınırının dışarıdan girilmesi sağlanmıştır.

Program,  $t$  parametresinin istenen aralıktaki tüm değerleri için iterasyon sayısını, amaç fonksiyonunun maksimum değerini ve bu maksimum değer sağlandığı gerçek ve yapay değişken değerlerini bulmayı mümkün kılmaktadır.

### 3.2 Sonuçlar ve Değerlendirme

Oluşturulan ekonomik modelin bilgisayar programında çözümü sonucunda  $t$  zaman parametresinin her değerinde 9 aylık dönemde mevcut imkanlarla işletmenin sağlayacağı maksimum kâr ve bu kârın sağlanması için hangi mamülden ne kadar üretilmesi gerektiği bulunmuştur. Bulunan sonuçlar çok yer kapladığından  $t$  zaman parametresinin sadece 3 ve 9 aylık dönemlere karşılık gelen sonuçlar sunulmuştur.

$1.406972 \leq t \leq 2.821679$	$3.655556 \leq t \leq 4.5$
<u>Optimal üretim planı</u>	<u>Optimal üretim planı</u>
$x_1 = 7\ 187\ 470$	$x_1 = 7\ 187\ 470$
$x_2 = 35\ 750$	$x_2 = 35\ 750$
$x_3 = 81\ 480$	$x_3 = 81\ 480$
$x_4 = 195\ 300$	$x_4 = 195\ 300$
$x_5 = 7\ 876\ 312$	$x_5 = 7\ 387\ 772$
$x_6 = 3\ 946\ 546$	$x_6 = 3\ 946\ 546$
$x_8 = 21\ 254\ 180$	$x_8 = 22\ 500\ 000$
$x_{10} = 1\ 245\ 820$	$x_{13} = 3\ 750\ 000$
$x_{14} = 3\ 750\ 000$	$x_{16} = 32\ 900$
$x_{16} = 32\ 900$	$x_{17} = 36\ 400$
$x_{17} = 36\ 400$	$x_{18} = 21\ 200$
$x_{18} = 21\ 200$	$x_{19} = 42\ 900$
$x_{19} = 42\ 900$	$x_{22} = 15\ 616\ 950$
$x_{22} = 15\ 616\ 950$	$x_{24} = 74\ 650$
$x_{24} = 74\ 650$	$x_{26} = 1\ 375\ 500$
$x_{26} = 1\ 375\ 500$	$x_{27} = 37\ 950$
$x_{27} = 37\ 950$	$x_{28} = 86\ 550$
$x_{28} = 86\ 550$	$x_{29} = 6\ 392\ 600$

$x_{29} = 6\ 392\ 600$	$x_{30} = 155\ 800$
$x_{30} = 155\ 800$	$x_{31} = 23\ 300$
$x_{31} = 23\ 300$	$x_{32} = 102\ 050$
$x_{32} = 102\ 050$	$x_{33} = 56\ 550$
$x_{33} = 56\ 550$	$x_{34} = 19\ 700$
$x_{34} = 19\ 700$	$x_{35} = 2\ 250\ 000$
$x_{35} = 2\ 250\ 000$	$x_{36} = 47\ 315\ 680$
$x_{36} = 46\ 827\ 140$	$x_{38} = 180\ 000$
$x_{38} = 180\ 000$	$x_{39} = 2\ 370\ 000$
$x_{39} = 2\ 370\ 000$	$x_{40} = 2\ 625\ 000$
$x_{40} = 2\ 625\ 000$	$x_{41} = 18\ 665\ 680$
$x_{41} = 18\ 177\ 140$	$x_{45} = 3\ 058\ 400$
$x_{45} = 3\ 058\ 400$	$x_{47} = 1\ 741\ 600$
$x_{47} = 1\ 741\ 600$	$x_{66} = 4\ 870\ 153$
$x_{66} = 4\ 881\ 403$	$x_{67} = 1\ 549\ 295$
$x_{67} = 1\ 646\ 795$	$x_{69} = 100\ 029.2$
$x_{69} = 100\ 029.2$	$x_{70} = 1\ 317\ 204$
$x_{70} = 1\ 317\ 204$	$x_{71} = 1\ 245\ 820$
$x_{72} = 1\ 519\ 336$	$x_{72} = 1\ 519\ 336$
$x_{73} = 1\ 702\ 702$	$x_{73} = 1\ 702\ 702$
$x_{74} = 663\ 787$	$x_{74} = 663\ 787$
Amaç fonksiyonunun maksimum değeri (Maksimum Kâr)	Amaç fonksiyonunun maksimum değeri (Maksimum Kâr)
$F = 5.180479E+11 - (4.962739E+09) t$	$F = 5.024688E+11 - (1.458212E+08) t$

Bulunan sonuçları üç aylık ve 9 aylık dönemlere karşılık gelen  $t=1.5$  ve  $t=4.5$  değerleri için inceleyelim, İşletmeden 3 aylık ve 9 aylık dönemlerdeki veriler alındığından bu dönemlerde bulunan sonuçları karşılaştırma imkanı vardır.

Sonuçlarda görüldüğü gibi zaman parametresinin  $1.406972 \leq t \leq 2.821679$  aralığı için maksimum kâr (amaç fonksiyonunun değeri);  $(5.180479E+11 - (4.96273E+09) t)$  TL. olur. Bu kâr üç aylık 510 603 791 500 TL. olacaktır. Bu kârın sağlandığı üretim planını inceleyelim:

Sonuçlardan görüldüğü gibi 2., 3., 4., 16., 17., 18., 19., 24., 27., 28., 30., 31., 32., 33. ve 34. mamüllerden minimum miktarda üretim yapılmalıdır. Bunun nedeni, bu mamüllerin satış kârının, diğer mamüllere oranla daha düşük olması dolayısıyla bu mamüller için sınırlı kaynakların mümkün olduğunca az kullanılmasıdır.

Optimum üretim planında görülmeyen 7., 9., 11., 12., 13., 15., 20., 21., 23., 25., mamüllerden verilen zaman aralığında hiç üretim yapılmaması gerektiği anlaşılr.

Modelde eşitsizlik durumunda 39 adet sınırlayıcı denklem olduğundan 1. denkleme  $X_{36}$ , 2. ye  $X_{37}$ , ..., 39. ya da  $X_{74}$  yapay değişkenleri eklenir. Optimal üretim panında verilen bu yapay değişkenlerin değerlerini ekonomik açıdan inceleyelim.

Fabrika kapasitesiyle ilgili sınırlayıcılara  $X_{36}$ , ...,  $X_{39}$  değişkenleri tekabül eder. Margarin üretim kapasitesine karşı gelen  $X_{36}=4.682714E+07$  kg değeri belirlenen optimal üretim planında fabrikanın margarin kapasitesinin  $4.682714E+07$  kg'lık kısmının kullanılmadığını gösterir.  $X_{38}=180\ 000$  kg. sabun,  $X_{39}=2\ 370\ 000$  kg. sabun tozu için benzer anlam taşımaktadır.  $X_{37}=0$  sıvı yağ gurubundan ise, işletme kapasitesinin tam olarak kullanıldığını ifade eder.

Pazar sınırları ile ilgili kısıtlayıcılara  $X_{40}$ , ...,  $X_{49}$  yapay değişkenleri karşı gelir. Napa ile ilgili sınırlayıcıya eklenen  $X_{40}=2\ 625\ 000$  kg. değeri bu mamülün  $2\ 625\ 000$  kg.'lık pazar kapasitesi olduğu halde üretilmeyen miktarını ifade eder.  $X_{41}$ , ...,  $X_{49}$  değerleri; neba, ..., pastacılık için karşılık gelir ve benzer anlam taşır.

Minimum üretim miktarı ile ilgili kısıtlayıcılara  $X_{50}$ , ...,  $X_{64}=0$  değerleri karşı gelir ve bu üretim planında bu mamüllerden minimum miktarda üretim yapılması gerektiğini gösterir.

Bulunan sonuçların hammadde açısından değerlendirilmesi: Hammadde stoku ile ilgili sınırlayıcılara  $X_{65}$ , ...,  $X_{74}$  değişkenleri karşı gelir. Optimal üretim planında,  $X_{66}=4\ 881\ 403$  kg. pamar kompoze,  $X_{67}=1\ 646\ 795$  kg. ihraç doya kompoze,  $X_{69}=100\ 029.2$  kg. pamar pakmaya kompoze,  $X_{70}=1\ 317\ 204$  kg. pamar baklava kompoze,  $X_{72}=1\ 519\ 336$  kg. deodorize ayçiçek yağı,  $X_{73}=1\ 702\ 702$  kg. don yağı,  $X_{74}=663\ 787$  kg. kesek paklar hammaddelerinden kullanılmayan miktarları,  $X_{65}=0$  doya kompoze margarin,  $X_{68}=0$  neba kompoze margarin,  $X_{71}=0$  özel kernel kompoze hammaddelerinin ise tam olarak kullanıldığını ifade eder.

Bulunan optimal üretim panında, işletme 3 ayda 510 603 791 500 TL. kâr sağlayacaktır. Aynı dönemde işletmede gerçekleşen kâr ise, 108 911 649 343 TL. dir. Bulunan kâr ile gerçekleşen kâr arasında çok büyük bir farkın oluşması işletmenin üretim yaparken, özellikle pazar sınırlarını dikkate alması, kârın zaman içinde değişimini ve üretimde etkili olan diğer faktörleri dikkate almamasından dolayı, sınırlı kaynakları optimum bir şekilde kullanmamasından kaynaklanmaktadır.

#### 4. SONUÇ

1. Parametrik Doğrusal Programlama tekniğinin üretim planlanmasında kullanılması durumunda, satış kârının zaman içinde değişimine karşın mevcut imkanlarla işletmenin maksimum kâr sağlayacağı üretim planının belirlenmesi için ekonomik model kurulur.

2. Oluşturulan bilgisayar programını kullanarak Parametrik Doğrusal Programlama tekniğine uygun ekonomik modelin çözümü bulunabilir.

3. Parametrik Doğrusal Programlama yöntemiyle bulunan üretim planına bakarak,

üretimde etkili olan darboğazların giderilmesi durumunda, kârın ne oranda değişeceği önceden bilineceğinden, yöneticiler bu tür kararların alınmasında elde edilen sonuçlardan faydalanabilirler.

4. Parametrik Doğrusal Programlama yöntemiyle elde edilen sonuçlardan faydalanarak mamül satış kârının zaman içinde değişimi durumunda işletmenin maksimum kâr sağlaması için hangi mamülden ne zaman ve ne miktarda üretim yapması gerektiği kolaylıkla bulunabilir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Dantzig, G.B. *Linear Programming and Extensions*, Princeton University Press, Newjersy, 1963.
2. Taha, H.A., *Operations Research*, Macmillan Publishing Company, pp 26-38. 1987.
3. Dantzig, G.B. *Parametric Programming in a Linear Structure*, Comptroller, USAF, Washington, D.C., February.1948.
4. Manne, G.B. *Notes on Parametric Linear Programming*, Rand Co., Report No. B-468, 1953.
5. Hiller, F.S., Libermann, G.,J. *Introduction to Mathematical Programming*, McGraw-Hill, International Edition, Singapore pp 181-185, 321-326, 1980.
6. Gall, T. A "Historiogramme" of Parametric Programming, *Jour.Opr. Res.* pp 449-451, 1980.
7. Lacava, G.J., Wallar, B.S. A Note On Duality and Parametric Programming In Urban Planning, *Journalof Regional Science*, Vol.11, No.2, 1971.
8. Chern, M.S., Jan ,R.H. Parametric Programming Applied to Reliability Optimization Problems, *IEEE Translations on Reliability*, Vol.34, No.2, pp 165-170, 1985.
9. Harrison, D.K., Leonard, R. Optimising CAD Usage in Small Manufacturing Companies By Parametric Programming, *Computer-Aided Engineering Journal*, December, pp. 229-234., 1986.
10. Turgeon, A. An Application of Parametric Mixed-Integer Linear Programming to Hydropower Development, *Water Resources Research*, Vol. 23, No. 3, pp. 399-407, March.,1987.
11. Rackow, P., Corcoran, W. The Analysis of Academic Retrencement Using Parametric Programming and Marcov Chains, *Computer ops. Res.* Vol.11, No.3, pp. 307-319., 1989.
12. Bryson, N. Applications of The Parametric Programming Procedure, *European Journal Research*, Vol. 54, pp 66-73, 1991.
13. Ohsaki, M., Arora, J.S. A direct Application of Higher- order Parametric Programming Techniques to Structural Optimization, *International Jor.for Numerical Methods in Engineering*, vol. 36, pp. 2683-2702., 1993.

## İMALAT SEKTÖRÜNDE KALİTE GÜVENCE SİSTEMİ

**Funda KAHRAMAN**

*Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana/Türkiye*

**O.Tuğrul GÖNCEL**

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

**ÖZET:** *Bu çalışmada amaçlanan işletmelerde Kalite Güvence Sisteminin kurulması ve yürütülmesi aşamalarında yönlendirici rol oynamaktadır.*

*Bu amaç doğrultusunda ISO 9000 Kalite Güvence standartları esas olarak alınmıştır. Kalite Güvence Standartları herhangi bir ürünü ya da prosesi tanımlamayıp hatasızlığın nasıl sağlanabileceğinin bir çeşit kılavuzudur.*

*Kalite Güvence Sistemi, bir ürünün elde edilmesindeki tüm aşamalarda kaliteli üretimi gerçekleştirmeye yönelik çalışmaları kapsar. Bir ürün için ön görülen ve gerekli olan kalite düzeyi, kalitenin tasarımdan başlayarak her aşamada kalıcı olarak sağlanmasındaki etkinliklerin tümüdür.*

*Kısaca Kalite Güvence Sistemi, kalitede işletmeleri mükemmelliğe ulaştıracak olan bir yönetim felsefesidir ve rekabet koşullarında başarılı olmanın tek yoludur.*

## QUALITY ASSURANCE SYSTEM IN THE MANUFACTURING SECTOR

**ABSTRACT:** *The aim of this study is to play instructive role in all level of the Quality Assurance System's establishment and implementation.*

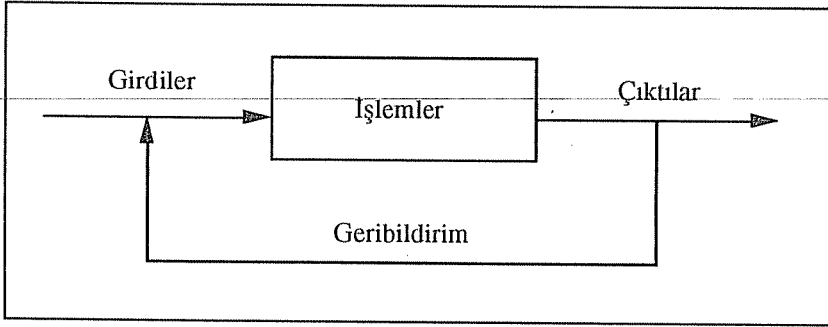
*In this direction, the ISO 9000 Quality Assurance Standarts (QAS) has been referred as a base for standard. The Quality Assurance Standarts are kind of the guidelines of how to be straight along all levels instead of instructing any product or process. Providing and sufficient quality level is ensuring the quality in total of the activities.*

*As a result of the QAS, referencing the quality is the most reliable factor of philosophy to achieve perfection, and it is the only way of being successful.*

## 1. SİSTEM YAKLAŞIMI

İlgilenilen bir olay yada soruna ilişkin tüm bilgi, faktör ve elemanların bütün olarak ele alınıp inceleme ve değerlendirme yapılması, olayı bütün olarak yorumlayıp sonuçlar çıkarılması sistem kuramının temelini oluşturur. Buradan sistemi tanımlarsak, sistem bir veya birden çok amaca veya sonuca ulaşmak üzere aralarında ilişkileri olan fiziksel veya kavramsal birden çok bileşenin oluşturduğu bütündür.

Bir sistemin en genel ve temel özelliği parçaların birbirine bağlılığıdır. Bu bağlılığın esasını, parçalar veya elemanlar arasında düzenli ilişkilerin varlığını oluşturmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak sistemin bir veya birkaç unsurunda meydana gelecek herhangi bir değişim sistemin tümünü etkileyecektir. Sistemin yapısı şematik olarak Şekil 1 deki gibi gösterilebilir (1).



Şekil 1. Sistemin Genel Yapısı

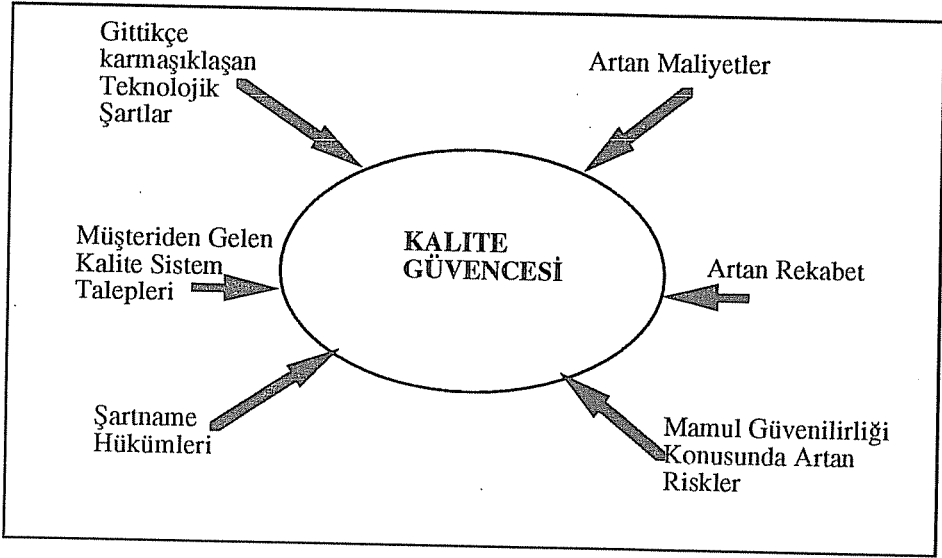
İşletmede kalite kontrol faaliyetlerinin kaliteyi etkileyen bütün faktörlerle beraber ele alınması bir sistem şeklinde düşünülebilir. Kalite sağlamada sistem yaklaşımının en belirgin üstünlüğü; ürün kalitesini etkileyen etmenlerin, koşulların ve süreçlerin, üretimin her düzeyinde bir bütün olarak ele alınmasıdır.

Kalite Güvence Sistemi (KGS) 'de karar vericilerin doğru karar verebilmesi için, kalite kontrol yöntem bilgisi olan yöntem ve tekniklerin yanında durum bilgisine de ihtiyaçları vardır. Spesifikasyonlar, standartlar, müşteri ihtiyaçları, tezgah, üretim süreci, iş gücü, ürün, hammadde, teknikler, ölçüm cihazları, çevre şartları v.b. konulardaki veriler KGS'nin bilgi girdisini teşkil etmektedir. KGS'de veriler değerlendirilerek, kalite kontrol noktalarına aktarılır ve kalitenin sağlanmasına çalışılır.

## 2. KALİTE GÜVENCE SİSTEMİ

Tasarım, projelendirme, planlama, hammadde temini safhalarından başlamak üzere satış ve satış sonrası hizmetleri de kapsayacak bir sürecin her aşamasında kaliteyi güvence altına almak ancak bir KGS sayesinde gerçekleştirilebilir. KGS'nin uygulanmasına yol açan sebepler Şekil 2' de şematik olarak gösterilmiştir.





Şekil 2. Kalite Güvencesi Sisteminin Uygulanmasını Gerektiren Nedenler

Üretilen ürünün kalitesi, üreticinin fabrikasyon, muayene ve test operasyonları üzerindeki etkinlik derecesine bağlıdır. Üretici spesifikasyonlarda belirlenmiş ürün kalitesini sağlayabilmek için proses üzerinde çeşitli kontrol ve operasyonları yürütmekle sorumludur. Üreticilerin aktivitelerini ve bu aktivitelerin sonuçlarını gösterecek çalışmalar yapılması ve kalite kontrol sonuçlarının istatistiksel toplanması kalite güvencesi yönünden zorunludur. Ayrıca artan gereksinimlere bağlı olarak, kalitenin iyileştirilmesi, geliştirilmesi, dolayısıyla güvenilirliğin artırılması gerekmektedir.

Sonuç olarak; mal üreten işletmelerde KGS'nin oluşturulmasının ana nedenlerini aşağıdaki gibi incelemek mümkündür:

- Kalitenin tasarlanmasının gerekliliği
- Yapılan test ve muayenenin servis koşullarında oluşan hatayı önleme özelliğinin olması
- Muayene edilen parçalarda hatalar olabildiği gibi muayene edilmeyenlerde de hataların bulunma olasılığı (% 100 kontrolün mümkün olmadığı durumlarda)
- Hatalı bir ürünü düzeltilmek için gereken maliyetin hatasız olanı yapmak için gerekenden fazla olması.

Yapılan araştırmalara göre ürünlerde ortaya çıkan hataların % 75'i tasarım ve planlama aşamalarında yapılmakta, buna karşın söz konusu hataların % 80'i geleneksel anlayışla, üretim kontrol, son kontrol ve müşteriye teslimden sonraki aşamalarda düzeltilmeye çalışılmaktadır. Tasarım ve planlama aşamalarında kolayca giderilebilecek bir hata, giderek maliyetin büyük miktarda artmasının yanı sıra müşteri şikayetlerine ve

dolayısıyla firmanın imajının pazarda kötü yönde etkilenmesine yol açmaktadır.

Oysa ki Kalite Güvence Sistemi sayesinde;

-Ürünün tasarımdan, kullanıcıya ulaşana kadar geçtiği ve hammaddeden, işlenmiş bir bütün haline kadar geçirdiği tüm aşamalar önceden tariflenmiş olduğundan ve her işlem belgelendiğinden,

-Eğitim, Kalite Çemberleri, Geliştirme Teklifi gibi tekniklerle işçi, ürün konusunda bilinçlendirildiğinden,

ürünün maliyeti artmadan, hedeflenen kalite seviyesine ulaşılmış olacaktır.

Bütün bunların sonucunda, üretim sonrası yapılacak kalite kontrole kıyasla, Kalite Güvence Sistemi'nin büyük avantajlar sağlayacağı açıktır.

Bir firmada kalite güvencesini sağlamak için etkin ve güvenli bir Kalite Yönetimi ve Kalite Sistemi'nin kurulmuş olması gerekmektedir.

## 2.1. Kalite Yönetimi

Kalite Yönetimi, firmanın yönetim fonksiyonunun kalite politikasını şekillendiren ve uygulayan bir parçasıdır.

Kalite Yönetimi, kaliteyi etkileyen tüm faaliyetlerin belirli bir hedef doğrultusunda ve birbirleri ile olan ilişkilerini gözönüne alarak, bir bütünsellik gösterecek biçimde organize edilmesini ve gerçekleştirilmesini sağlar.

Kalite Yönetimi'nin birbiri ile içiçe iki yönü vardır:

### a. Firmanın Gereksinimleri ve Çıkarları

Her firma için en önemli şey optimal kara ulaşılması ve bunun sürdürülmesidir. Kalite yönetiminin bu yönü firmanın, elindeki tüm kaynakları (insan, donanım, malzeme) planlı ve verimli bir biçimde kullanılmasını gerektirir.

### b. Alıcının Gereksinimleri ve Çıkarları

Müşteri için en önemli faktör firmanın güvenilirliği yani, her istediği zaman firmanın vermeyi taahhüt ettiği kalite düzeyinde ürün ve hizmet arz edebileceği ve bu kalite düzeyini koruyabileceği inancıdır.

Kalite yönetiminin, yukarıdaki gerekleri tutarlı bir şekilde yerine getirebilmesinin temel koşulu, uygulanan kalite sisteminin beklenen ürün veya hizmet kalitesinin ne ölçüde sağlayabildiğinin somut verilerle kanıtlanmasıdır.

## 2.2. Kalite Sistemi

Firma içinde kalite yönetiminin gerçekleştirilebilmesi için belirli bir organizasyonel yapılanmanın sağlanması gereklidir. Kalite Sistemi, bu yapının kapsamındaki kalite güvencesini etkileyecek; sorumlulukların, çalışma yöntemlerinin, prosedürlerin, iş talimatlarının, iş akış şemalarının, görev tanımlarının v.b. dökümanlarla tanımlanması

olarak tarif edilebilir.

Kalite yönetimini uygulayabilmek için yönetim, etken bir kalite sistemi kurmak, geliştirmek ve sistemin etkinliğini sürekli izlemek zorundadır.

Herhangi bir firmada kalite sisteminin etkin ve verimli olabilmesi, uygulamaya konan sistemin firmanın yapısına ne kadar uyumlu olduğu ile doğru orantılıdır. Eğer sistem;

- Herkes tarafından anlaşılmalı ve benimsenmişse,
- Ürün veya hizmetler müşterilerin beklentilerine cevap verebiliyorsa,
- Yapılmış hataları ayıklamak yerine, bunların nedenleri üzerine gidilebiliyorsa, etkin ve verimli çalışıyor demektir.

Etkin bir kalite sistemi, kısaca tüketici taleplerinin en ekonomik şekilde karşılanmasına, yasal ve teknik şartların yerine getirilmesi, pazar araştırmasından, satış sonrası servise kadar olan tüm süreçte kalitenin sağlanması ve sürdürülmesine imkan sağlamalıdır (2, 7).

### 2.3 Kalite Güvence Sisteminin Yapısı

KGS'de üretim süreci ile kalite faaliyetleri etkileşimli olarak yürütülmelidir. Ürün, üretim öncesi safha, üretim safhası ve üretim sonrası safhalardan geçmektedir. Tüm bu safhalarda kalite açısından birtakım faaliyetler yapılmaktadır. Bu yapı, üretim ile kalite faaliyetlerinin birlikte yürütülmesi gerektiğini göstermektedir. KGS'nin yapısı şematik olarak Şekil 3' de gösterilmiştir.

### 2.4 Kalite Güvence Sisteminin Oluşturulmasında İzlenecek Adımlar

1. ISO 9000 Standart serisinin temin edilmesi ve kuruluşun kendi ihtiyaçları doğrultusunda yorumlanması,
2. Kuruluşun ISO 9000 açısından Kalite Güvence/Yönetim durumunun tespiti,
3. Yönetimin, işletmenin genel olarak kalite politikasını tespit etmesi,
4. Yönetimin kalite politikasına uygun olarak hedeflerin belirlenmesi,
5. Kalite organizasyonunun oluşturulması,
6. Sistemin tasarlanması ve yerleştirme planlarının yapılması,
7. Bilgi sisteminin oluşturulması,
8. Kalite sağlanabilmesi için el kitabı, prosedürler ve iş talimatlarının hazırlanması,
9. Plan çerçevesinde faaliyetlerin başlatılması,
10. Deney tasarımı çalışmalarının başlatılması,
11. Kabul örnekleme faaliyetlerinin düzenlenmesi,
12. İstatiksel proses kontrolün sağlanması,
13. Kalite geliştirme faaliyetlerine önem verilmesi,
14. Kalitenin ekonomik boyutunu incelemek amacıyla kalite-maliyet sisteminin kurulması,
15. Ölçüm aletlerinin periyodik olarak bakım ve kalibrasyonu,

16. Kalite denetleme faaliyetlerinin yapılması ve sürdürülmesi,  
17. Kalitenin sağlanması için çalışanlara kalite hakkında sürekli eğitim verilmesi (9, 10).

ÜRETİM ÖNCESİ SAFHA  
Müşteri İhtiyaçları

Tamamlanmış ürünün spesifikasyonları

Ürün Tasarımı

Teknik spesifikasyonlar ve tasarım kalitesi

Fonksiyon, tip, yaşam süresi ve ikame edilebilirlik gereksinimleri  
Süreçlerin ve hammaddenin niteliği ve maliyeti  
Kalitenin maliyet ve değer analizi

Süreç Tasarımı

Uygunluk kalitesi

Mevcut sürecin ekonomiklik analizi ve gereken süreçler  
Kalite karakteristikleri ve kalite için standartlar

ÜRETİM SAFHASI

Gelen hammaddenin kalitesi  
Toplam süreç kontrolü  
Atelye iskarta analizi ve son muayene  
Donanımın bakımı  
Kalite güvencesi için destekleyici sistemler

ÜRETİM SONRASI SAFHA

Ambalajlama, taşıma ve depolama  
Servis, performans, garanti ve geri bildirim sistemleri

Şekil 3. Kalite Güvence Sisteminin Yapısı

### 2.5. Kalite Güvence Sisteminden Beklenen Yararlar

Kalite Güvence Sistemi genelde etkileri kısa dönemde görülmeyen faaliyetlerden oluşur. Sistemin uygulanmaya başlamasından sonra görülebilecek etkiler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Ürünlerin kalite düzeyleri gelişir, kusurlu ürünler azalır,
- Ürün güvenilirliği artar,
- Malzeme tasarrufu sağlanır,
- Maliyetler düşer,
- Verimlilik artar,

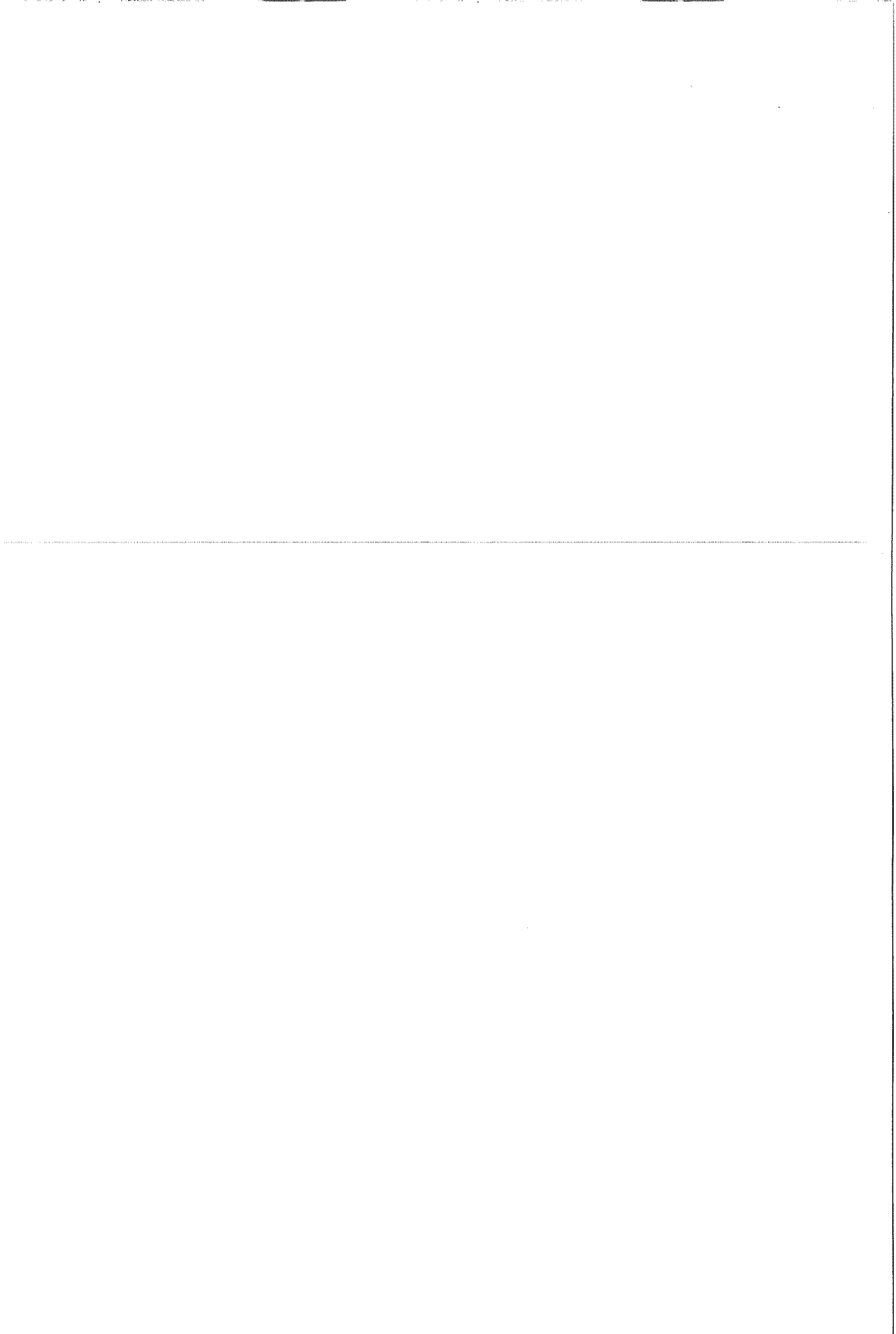
- Yeniden işleme ve iş kayıplarının önlenmesiyle işgücünde tasarruf ve etkin kullanım sağlanır,
- Üretici ve tüketici arasındaki sözleşmelerde açıklık sağlanır,
- İşletmenin bölümleri arasında daha iyi ilişkiler kurulur; insanlar arası ilişkiler gelişir ve çalışanların morali yükselir,
- Kurulan bilgi sistemi ile hatalı veri ve raporlar azalır,
- Ürünlerin güvenilirliğinin artması nedeniyle işletmenin büyümesi ve rekabet gücünün sürekliliğini sağlar,
- Pazar payı genişler,

### 3.SONUÇ

ISO 9000 Kalite Güvence Sisteminin getirdiği salt bir sistem kuruluşu olmayıp sürekli gelişmeyi öngören dinamik bir yapı geliştirtirilmesidir. Yani yap-sat fikrinin yerini araştır-geliştir-üret-takip et uygulaması alacaktır.

### 4. KAYNAKLAR

1. Dicle, İ., *Sistem Kuramı ve Toplumsal Örgütlere Uygulanışı*, E-İ.T.İ.A Yayını, No:001178102, Eskişehir, 1978.
2. Banks J., *Principles of Quality Control*, John Wiley-Sons Inc., p.634., 1989 .
3. Carisen, R.D., Gerber, J., *Manual of Quality Assurance*, October, p.250., 1988.
4. Deming, E., *Quality Productivity and Competitive Position*, MIT Press ., 1982..
5. Göncel, O.T., *Kalite ve ISO 9000 Standartları*, Ç.Ü.Müh-Mim. Fakültesi Dergisi, Sayı 2, Adana, 163-172s., 1992.
6. Kalinosky ,I., ve L.S. *The Total Quality System Going Beyond ISO 9000*, *Quality Progress*, June., 1990
7. Masaaki, I., *Kaizen*, Mc-Graw Hill Book Comp.Inc., 1986.
8. Suresh, N.C., Meredith J.R., *Quality Assurance Information System for Factory Automation*, *Int.J.Prod.Res.*, Vol:23, No:3, p 479-488.,1985.
9. *TSE 9000 Kalite Güvence Sistemi Standartları*, 1991.
10. England, J.R. *Quality Assurance*, *Metals Handbook*, Vol:11, p.407., 1982.
11. Evans, J.R., Lindsay W.M.X, *The Management and Control of Quality*, West Publishing Company, p.586.,1989.



**DÖKÜMHANELERDE İSTATİSTİKİ PROSES KONTROL****Funda KAHRAMAN***Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana/Türkiye***O. Tuğrul GÖNCEL***Ç.Ü., Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*

**ÖZET:** *Güntümüzde pazarda yeralan ürün ve hizmet tercihinde %80 oranında kalitenin etken olduğu koşullar geçerliliğini sürdürmektedir. Hedeflenen kalite düzeyine ulaşmak için temel araç olarak Kalite Güvence Sistemi (KGS)'nin oluşturulması gerekmektedir.*

*KGS'nin oluşturulmasında gözönüne alınacak noktalar, organizasyon, denetim, planlama, dökümantasyon, düzeltme faaliyetleri, tasarım kontrolü, ölçü cihazlarının kalibrasyonu, istatistiksel teknikler, giriş ve proses kontrolü, uygun olmayan malzemelerin kontrolü, taşıma-depolama-ambalajlama, eğitim ve motivasyondur (1-16).*

*Bu çalışmada, KGS'nin kurulması için gerekli ön hazırlıklar yapıldıktan sonra X Döküm A.Ş. Dökümhanesinde İstatistikî Proses Kontrol (İPK) uygulamaları ile kalitenin her aşamada sağlanması gerekliliği gösterilmiştir.*

**STATISTICAL PROCESS CONTROL IN THE FOUNDRIES**

**ABSTRACT:** *In today's life, the product, which takes place in market and service preference the circumstance which are effective about 80% quality rate, shall prolong its validity. To reach the purposed level as a principal tool the Quality Assurance System's (QAS) formation is being required.*

*The factors which will be considered during the formation of the QAS are the project, planning, documentation, reform/correction activities, the calibration of the measurement and test equipments, the statistics control technics, input and process control of the improper materials / supplies, carrying, storing, packing, training, motivation and inspection (1-16).*

*In this study, for the purpose of showing that QAS can be established and operated in the medium leveled companies entering this category the X' Casting Ind.& Tra. Company has been selected. The Statistical Process Control Technics (SPC) have been applied in the foundry of X' Casting Company and the results were analysed. It is shown that the quality requirement must be provided in all levels.*

## 1.GİRİŞ

Ülkemizde döküm sektörü çok farklı kapasitelerde üretim yapan dökümhanelerden oluşmaktadır. Büyük ölçekli dökümhanelerde ve orta ölçekli dökümhanelerin bir kısmında hammadde giriş, kimyasal analiz, kum analizi, metallografik analiz ve sertlik kontrolleri yapan bir laboratuvar ve kalite Kontrol bölümü vardır. Dökümhanelerin çoğunda, kalite kontrol sadece son ürün kalitesini denetleyen ve sevk edilip edilmemesine karar veren, proses kalite kontrolünü ise kısıtlı olarak yapan bir görünümde dir. Orta ölçekli dökümhanelerde kontrol sonuçları kayda geçirilmekte, ancak firenin oluşmasını ya da azaltılmasını sağlama açısından yeterli ve sağlıklı değerlendirilme yapılamamaktadır. İstatistiksel kalite kontrol uygulamalarına yeteri kadar yer verilmemektedir.

Küçük ölçekli dökümhanelerde ise kalite ile ilgili bir döküm ve kontrol cihazları mevcut değildir. Ürün kalitesi ve hammadde durumu kişilerin tecrübesine kalmaktadır (17,18).

## 2. KALİTE KONTROLUNDA İSTATİSTİK

Kalite kontrolün oldukça eski bir tarihi olmakla beraber istatistiksel kalite kontrolün endüstride uygulanması oldukça yenidir. İstatistik kuramı kalite kontrolünde ilk olarak 1920 yıllarında etkili biçimde uygulanmaya başlanmıştır. Yeni istatistiksel yöntemler, kalite , kalite kontrol problemine ilk defa 1924 yılında Shewart tarafından Bell Telephone Laboratuvarı'nda uygulamıştır. Bununla beraber istatistiksel kalite kontrolün endüstride yaygınlaşması, İkinci Dünya Savaşı koşullarının zorlaması sonunda gerçekleşebilmiştir.

"İstatistik" kelimesi kendine özgü terminolijisi, yöntemleri ve bilgileri olan bir konu veya metodoloji anlamına gelmektedir. Buna göre istatistiği genel olarak aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz (19):

İstatistik, tesadüfi etkenlerin etkisi altında bulunan olayların gözlenmesi ve belirli araç, yöntem ve tekniklerin yardımıyla bu olaylar hakkında sistematik biçimde bilgilerin toplanması ve incelenmesi sonucunda belirli tahmin ve yorumlar yapılmasını sağlayan bilim dalıdır. İstatistiğin tarihsel gelişmesinde ve uygulanmasında iki değişik bakış açısının bulunduğu görülmektedir (20).

1- Tanımsal istatistik

2- Yorumsal istatistik

Tanımsal istatistik, nicel ve niteliksel bilgilerin sistematik olarak sınıflandırılması, histogram ve benzeri grafiklerin çizimi, frekans dağılımlarının incelenmesi, frekans dağılıma ölçülerinin hesaplanması konuları ile uğraşır. Yorumsal istatistikte ise olaylarla ilgili olarak toplanan bilgilerin gerçeği tam yansıtamadığı veya eksik olduğu varsayımından hareket edilerek tahmin ve yorumlarda bulunulur. Bununla ilgili olarak bir ana kütle den tesadüfen seçilen örnek grubu üzerinde yapılan gözlem ve ölçmeler



değerlendirilir ve ana kütle hakkında yargıya varılır.

İstatistiksel Proses kontrolün en önemli amacı proseslerde zaman zaman oluşabilecek özel nedenleri mümkün olan en kısa sürede bulup ortaya çıkartmak suretiyle düzeltici önlemlerin bir an önce alınmasını sağlayarak daha fazla hatalı ürünün üretilmesini engellemektir. Üretim prosesine hakim olmak ancak değişime neden olan sistematik etkenlerin ortadan kaldırılması tesadüfi olanların ise olabildiğince küçük tutulmasıyla olasıdır. Bu amaçla önemli ürün özelliklerinin ve proses parametrelerinin değişmeleri hakkında yeterli bilgi toplanır ve proses kontrolü bu bilgiler ışığında gerçekleştirilir.

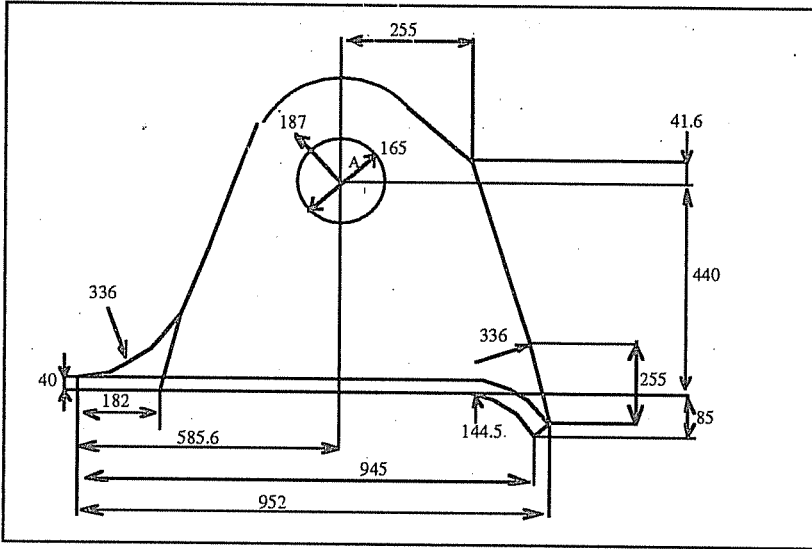
### 3. METHOD

Endüstride kalite kontrol uygulamaları içinde dökümhanelerin istatistikî metodlardan en az düzeyde faydalandıkları bir gerçektir.

İstatistiksel Proses kontrolün en önemli amacı proseslerde zaman zaman oluşabilecek özel nedenleri mümkün olan en kısa sürede bulup ortaya çıkartmak suretiyle düzeltici önlemlerin bir an önce alınmasını sağlayarak daha fazla hatalı ürünün üretilmesini engellemektir.

X Döküm A.Ş. Dökümhanesi'nde İPK uygulamaları başlatılmış, örnekler verilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

İşletmede en fazla problem yarattığı tespit edilen, seri imalat parçalarından "Numune" pilot ürün olarak seçilmiş ve numunenin teknik resmi Şekil 1' de gösterilmiştir.



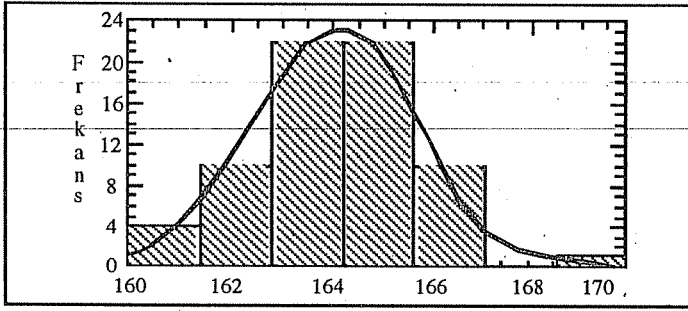
Şekil 1. Numunenin Teknik Resmi

İş parçası üzerinden alınan A boyutunun parametreleri ve Ki-kare sınaması Şekil 2'de verilmiştir.

Alt Limit	Üst Limit	Gözlenen frekans	Beklenen Frekans	Ki - Kare
≤	162.86	14	16	.2327
162.86	164.29	22	21	.0322
164.29	165.71	22	20	.2060
165.71		12	13	.0668

Şekil 2. A Boyutunun Ki - Kare Sınaması

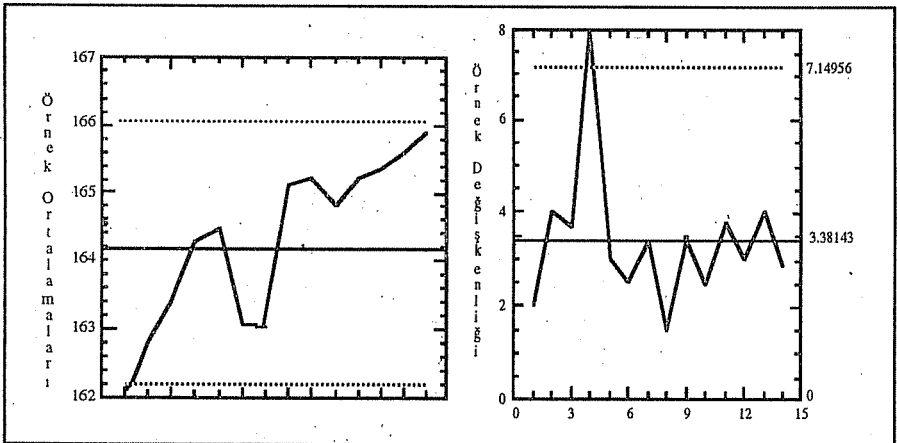
Ölçümlerin dağılımını belirlemek amacıyla normal dağılım sınaması yapılmış ve histogramı Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. A Ölçüsünün Histogramı

$X^2 = 6.6349 > X^2 = 0.537686$  olduğundan A boyutunun ölçüsü %99 güven seviyesinde normal dağılmaktadır.

A boyutu için alınan ölçüm değerlerinin ortalama (X) ve değişim (R) grafikleri çizilmiştir (Şekil 4).

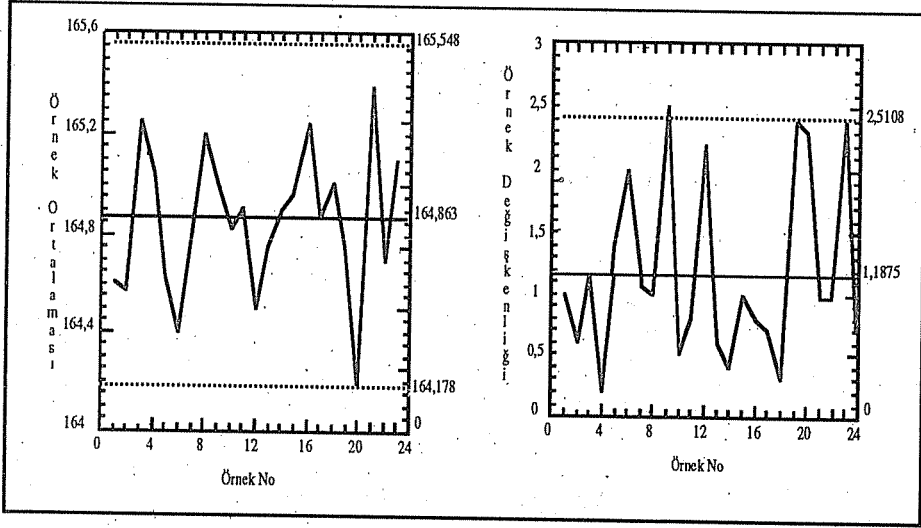


Şekil 4. A Boyutunun X ve R Kontrol Grafiği

X ve R kontrol grafikleri incelendiğinde A ölçüsü her ne kadar spesifikasyonları sağlıyor görünsede, değişkenlik kontrol altında değildir. Yapılan incelemeler sonucunda maça sandığında tadilat yapılmasının gerekli olduğu tespit edilmiştir.

Tadilat yapıldıktan sonra işlem noktasından tekrar ölçümler alınmış ve değerlendirilmiştir.

Yeni A ölçüsünün X ve R kontrol grafikleri Şekil 5' te görülmektedir.



Şekil 5. Yeni A Ölçüsü X ve R Kontrol Grafiği

X ve R kontrol grafiklerine bakıldığında, orta çizginin istenilen değer olan 165 mm'ye çok yakın olduğu ve X değerlerinin de kontrol limitlerini ve spesifikasyonları sağladığı görülmektedir. Değişkenliğin ortalama değerinin 3.38143'den, 1.1875'e düştüğü görülmüştür. Değişkenlik kabul edilebilir düzeydedir.

A ölçüsünün düzeltme yapılmadan önce spesifikasyon dışına çıkma olasılığı, X: A boyutunun ölçüsü,  $X = 164.155$ ,  $S = 1.73719$  olmak üzere aşağıdaki gibi hesaplanırsa:

$$P(X \leq 162) + P(X \geq 168) = P\left(X \leq \frac{162 - 164,155}{1,73719}\right) + P\left(X \geq \frac{168 - 164,155}{1,73719}\right)$$

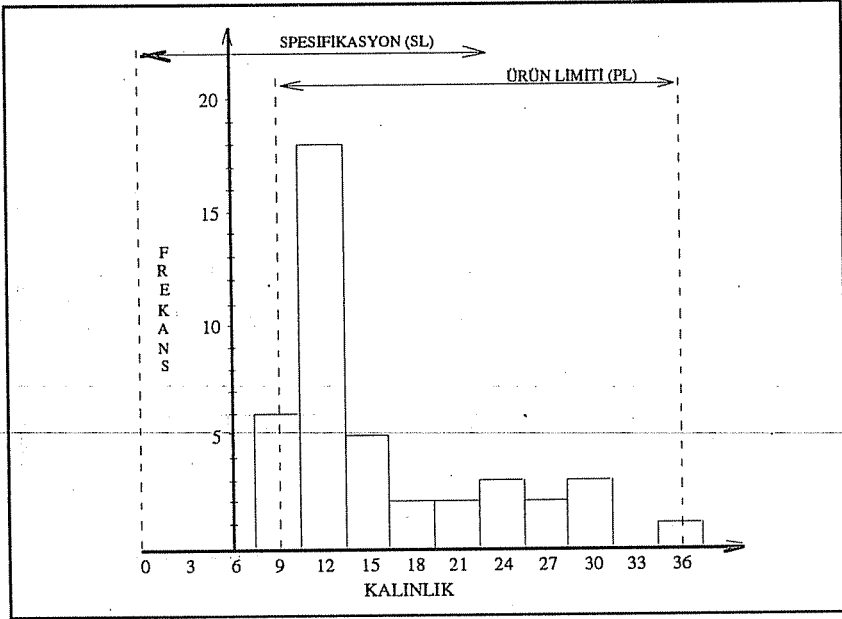
$$P(X \leq -1,24) + P(X \geq 2,13) = 0,12 \text{ olarak bulunur.}$$

Bu oranın %7'sinin hurda %5'inin yeniden işleme olduğu tespit edilmiştir.

İyileştirme çalışması sonunda, işlem noktasının spesifikasyon dışı parça oranı  $X = A$  boyutunun yeni ölçüsü,  $X = 164.867$  ve  $S = 0.595407$  olmak üzere hesaplanırsa sonuç 0.008 olarak bulunur. Bu değer başlangıçtaki spesifikasyon dışı parça oranı olan %12 ile karşılaştırılamayacak kadar küçüktür.

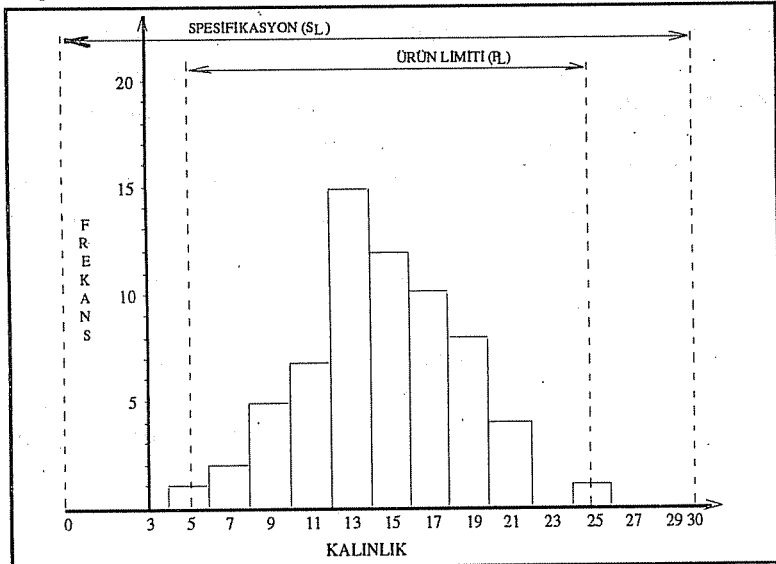
Parça kalınlığı ile ilgili veriler toplanmış ve bu ölçülere ait histogram Şekil 6'da verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi ürün limitinin üst sınırı (PL), spesifikasyonun üst

sınırdan (SL) büyük olduğundan dağılım uygunsuzdur. Bu durumda acil olarak düzeltici tedbir gereklidir.



Şekil 6. Kalınlık Ölçülerine Ait Histogram

İyileştirme çalışmaları yapıldıktan sonra tekrar ölçümler alınmış ve bu ölçülere ait histogram da Şekil 7'de gösterilmiştir.



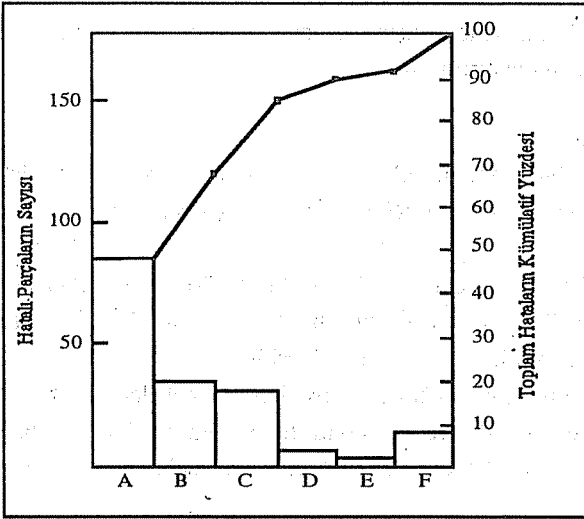
Şekil 7. Yeni Kalınlık Ölçülerine Ait Histogram

Şekilden dağılımın normal olduğu ürün limitinin spesifikasyon limitinin aralığına girdiği görülmektedir.

6 ay süresince şakat parçalarda görülen hatalar ile ilgili veriler toplanmıştır. Hata türleri ve oranları Şekil 8'de verilmiş ve Pareto diyagramı çizilmiştir (Şekil 9).

Sakat Türleri	Hata Sayısı	Hata(%)	Kümülatif (%)
A. Boyutsal Hata	96	48	48
B. Sıvı Metal Yetersizliği	40	20	68
C. Soğuk Döküm	32	18	86
D. Gaz	8	4	90
E. Kaçık Döküm	4	2	92
F. Diğer	16	8	100
	200	100	-

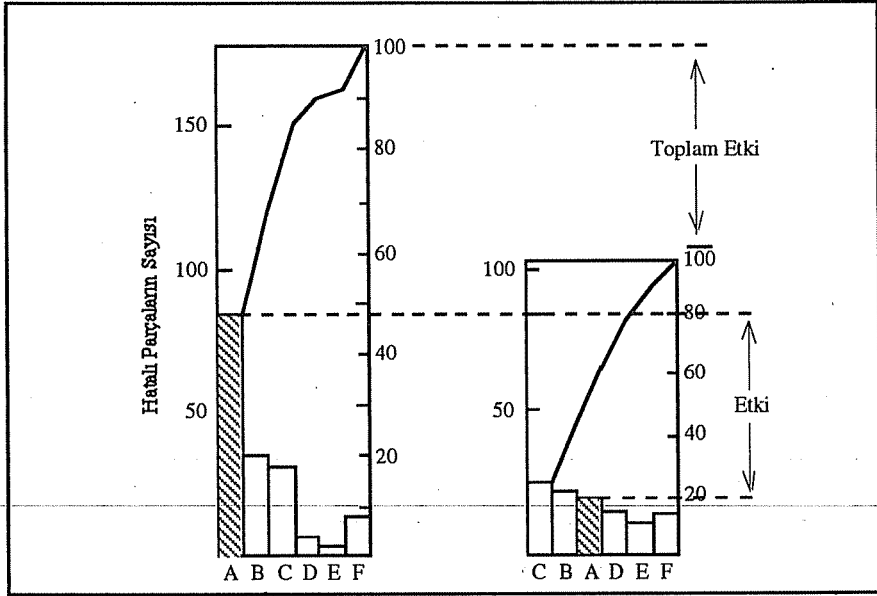
Şekil 8. Pareto Diyagramı İçin Data Tablosu



Şekil 9. Pareto Diyagramı

Boyutsal hataların sebepleri araştırılmış ve bu nedenlerle ilgili iyileştirme çalışmaları yapıldıktan sonra tekrar veri toplanmış, sonuçları pareto diyagramında karşılaştırmalı olarak Şekil 10'da gösterilmiştir.

Şekilden de görüldüğü gibi hataların %48'ini teşkil eden boyutsal hatalar %20'ye kadar düşmüştür.



Şekil 10. İyileştirme Çalışmalarından Önce ve Sonra Pareto Diyagramlarının Karşılaştırılması

#### 4. SONUÇLAR

Üretim sektöründe önemli bir paya sahip olan orta ölçekli işletmelerin piyasada varlığını sürdürebilmesi için Kalite Güvence çalışmalarını bir an önce başlatmaları gerekmektedir.

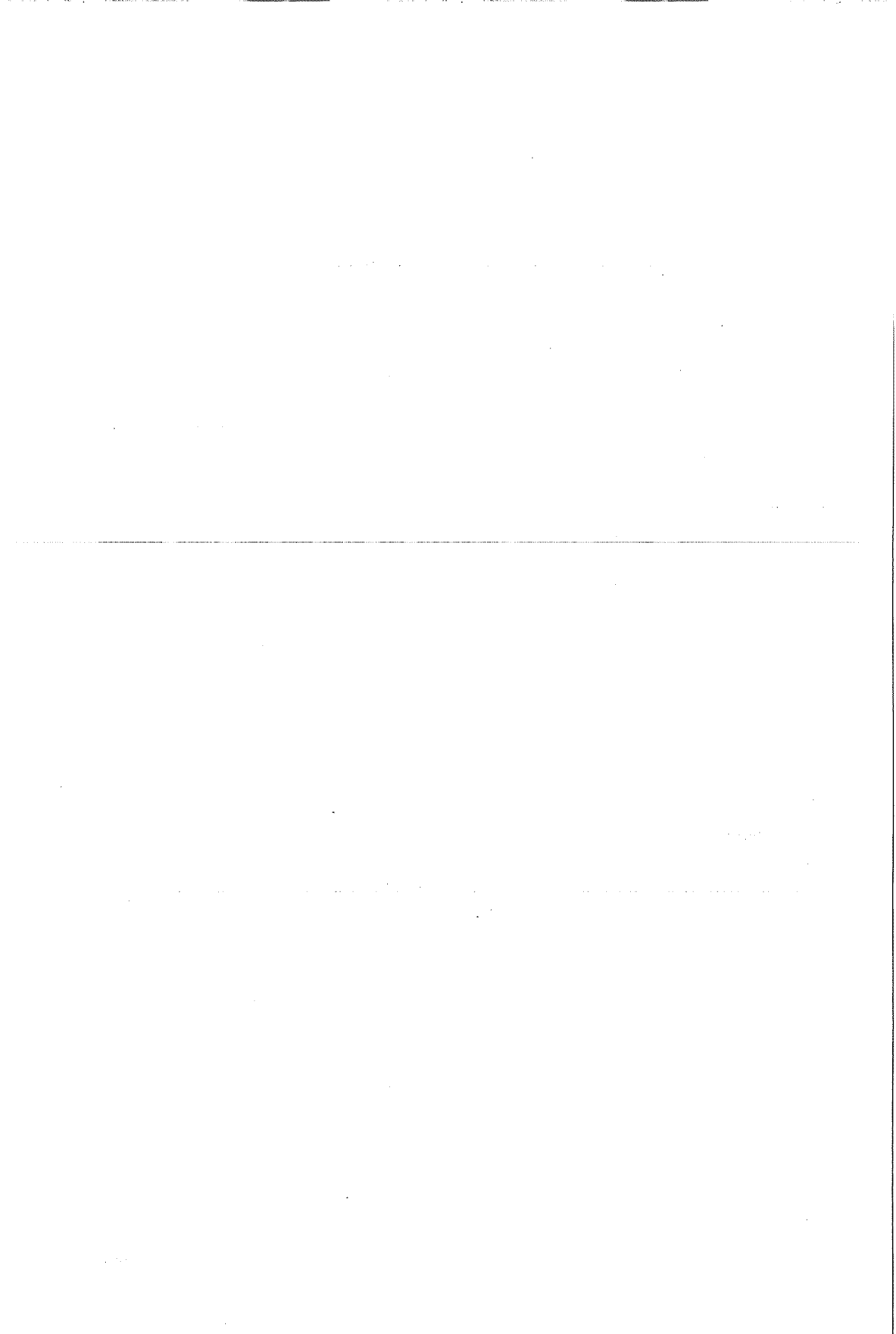
Döküm sektöründe, KGS'nin oluşturulması üretimin karmaşıklığı, parametrelerin çokluğu nedeni ile oldukça zordur. bu konuda en büyük yardımcıları başta proses kontrol olmak üzere diğer kontrol teknikleridir.

En iyi sonucun sınır değerleri çok hassas belirlenmiş bir İPK uygulamasıyla desteklenen malzeme özellikleri kontrolü olduğu ve bu uygulamaların eksiksiz bir dökümantasyonla desteklenerek entegrasyon sağlanması ile elde edilebileceği söylenebilir.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Barrow, J., *Does Total Quality Management Equal Organizational Learning?*, *Quality Progress*, July, p.39-43, 1993.
2. Bcirà, *Broad Sheet 272/1,2,3,4, Statistical Methods of Quality Control-Pareto Analysis*.1989.
3. Benjamin, M., SHAW, J., *Hardnessing the Power of the Pareto Principle*, *Quality Progress*, September, p.103-108. 1993.

4. Carlsen,R.D., Gerber,J., Hugh,J., *Manual of Quality Assurance*, October, p.250. 1988.
5. Clutter,R.S., *Total Quality Control*, *Modern Casting*, May, p.23-25. 1991.
6. Crosby,P.B., *Quality is Free*, Mc Graw-Hill Comp. 1979.
7. Deming,E., *Quality Productivity and Competitive Position*, MIT Press Camb. 1982.
8. England,J.R., *Quality Assurance Handbook*, Vol.11, p.407. 1982.
9. Feigenbaum,A.V., *Total Quality Control Engineering and Management*, Mc Graw-Hill Book Comp.Inc.p.851.1987.
10. Göncel,O.T., *Kalite ve ISO 9000 Standartları*, Ç.Ü. Mühendislik -Mimarlık Fakültesi Dergisi, Sayı 2. Adana, 163-172 s. 1992.
11. Ishikawa,K., *What is Quality? The Japanese Way*, Prentice Hall Publishing Co, Clifton. 1985.
12. Juran,J.M., *Quality Control Handbook*, Mc Graw-Hill Inc., Third Edition, 2.22-2.24, 21.4-21.7. 1974.
13. Kavrakoğlu,İ., *Toplam Kalitenin Temelleri*, *Önce Kalite Dergisi*, Sayı:1, p.37-45. 1992.
14. Kume,H., *Statistical Methods for Quality Improvement*, AOTS, Tokyo, p.231. 1989.
15. Masaaki,I., *Kaizen*, Mc Graw-Hill Book Comp.Inc. 1986.
16. Taguchi,G., *Using Taguchi Methods in Quality Engineering*, *Quality Progress*, September, p.55. 1990.
17. Jamieson,A., *Statistical Quality Control in the Foundry-Part 1*, *Modern Casting*, May, p-18-20 1983 a.
18. Jamieson,A., *Statistical Quality Control in the Foundry-Part 2*, *Modern Casting*, June, p-23-25. 1983 b.
19. Zuwaylif, H.F., *General Applied Statistics*, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1972, p.2.
20. Freund,J., Williams, F., *Elementary Business Statistics*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1972.





**Ç.Ü. MÜHENDİSLİK - MİMARLIK FAKÜLTESİ**  
**LABORATUVARLARINDA DÖNER SERMAYE**  
**KAPSAMINDA YAPILAN İŞLER**

- ☞ Çeşitli Yapı Malzemesi Deneyleri
- ☞ Beton Nümunne Testi
- ☞ Çelik Nümunne Testi
- ☞ Zemin Deneyleri
- ☞ Zemin Emniyet Gerilmesi Tespiti
- ☞ Çeşitli Danışmanlık Hizmetleri

**İNŞAAT**  
**MÜHENDİSLİĞİ**  
**BÖLÜMÜ**

- ☞ Her Çeşit Makina Tasarımı İmalatı ve Danışmanlık Hizmetleri
- ☞ Mekanik Ağırlıklı Tıbbi Cihazların İmalatı
- ☞ Viskozite Ölçme Deneyi
- ☞ Şofbenlerin ve Eşanjörlerin TSE'ye Uygunluk Deneyi
- ☞ Termosifonların Verim Ölçme Deneyi
- ☞ Kalorifer Radyatörleri ve Bağlantı Elemanlarının TSE'ye Uygunluk Deneyi
- ☞ Basınçlı Kapların TSE'ye Uygunluk Deneyi
- ☞ Hidrolik Akışkan Güç Sistemlerinin TSE'ye Uygunluk Deneyi
- ☞ Kayışlar, Kasnaklar ve Bantların TSE'ye Uygunluk Deneyi
- ☞ TS201'e Göre PVC Borularının Testleri
- ☞ Motor Numarası veya Şasi Numarası Tespit veya Vurma İşleri
- ☞ Çekme, Basma ve Eğme Deneyleri Sertlik Den.
- ☞ Metalografik İnceleme

**MAKİNA**  
**MÜHENDİSLİĞİ**  
**BÖLÜMÜ**

- ☞ Jeolojik Etüdler
- ☞ Büyük ve Küçük Ölçekli Jeolojik Haritalama
- ☞ Sondajlı Zemin Etüdüleri
- ☞ Güzergah Etüdüleri
- ☞ Deprem Risk Analizleri
- ☞ Cevher ve Kayaçların Kimyasal Analizleri
- ☞ Su Analizleri
- ☞ Alkali Reaktivite Deneşleri
- ☞ Malzeme Etüdüleri
- ☞ Maden Arama, Ön İşletme ve İşletme Projeleri Ara Raporları
- ☞ Fizibilite Raporları
- ☞ Ön İşletme ve İşletme Projeleri
- ☞ Çevre Etüdüleri
- ☞ Patlayıcı Madde Kapasitesi Raporları
- ☞ Teşvik ve Kredilendirme Etüd Raporları
- ☞ Ayrıntılı Rezerv Hesaplamaları
- ☞ İnce ve Parlak Kesit Hazırlamaları
- ☞ Petrografik Tayinler
- ☞ Aşınma Deneşleri
- ☞ Kayaların Jeomekanik Özelliklerinin Belirlenmesi
- ☞ Çeşitli Danışmanlık Hizmetleri

**JEOLJİ  
&  
MADEN  
MÜHENDİSLİĞİ  
BÖLÜMÜ**

- ☞ Elyaf Cinsi Tayini
- ☞ Kumaşlarda Kalite - Kontrol Deneşleri
  - Yırtılma Mukavemeti
  - Renk Haslıklarının Tayini
  - Su Geçirmezlik Testi
  - Doku Tayini (Örgü ve Çözgü)
  - Kumaşta Ağırlık Tespiti
  - Yıkamada Çekme Tespiti
  - Kopma Mukavemeti
  - Hava Geçirgenlik Testi
  - Sürtünme Haslığı Testi
  - Örgü Katı Tayini
  - Kimyasal Yapı Analizi
  - Kükürt Miktarı Tayini

**TEKSTİL  
MÜHENDİSLİĞİ  
BÖLÜMÜ**

- ☞ İplikle İlgili Fiziksel Muayeneler
- ☞ Tekstil Maddelerinde Rutubet Tayini
- ☞ Tekstil Maddelerinde Mikroskopik İncelemeler
- ☞ Azo Boyarmaddelerinde Amin Tayini

- ☞ İçme ve Atık Su Analizleri
- ☞ Katı Artıkların İslahına Yönelik Çalışmalar
- ☞ Arıtma Tesis Planlaması
- ☞ Çet Raporları
- ☞ Fizibilite Raporları

## ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

- ☞ Toplu Konut Uygulama Projeleri
- ☞ Restorasyon Projeleri
- ☞ İnşaat Fizibilite Projeleri
- ☞ Tadilat Projeleri

## MİMARLIK

- ☞ ISO-900 ve Toplam Kalite Yönetim Eğitimleri
- ☞ M.R.P. Programları
- ☞ Metalik Malzeme Analizleri
- ☞ Korozyon Analizleri
- ☞ Auto - Cad Eğitimleri

## ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

### ☞ Bilgisayar Kursları

- Temel Eğitim - MS - DOS
- Windows
- WinWord
- Excel
- Basic
- Pascal
- C Programlama Dili
- Bilgisayar Donanımı
- Mikroişlemciler

### ☞ Tasarım - Üretim

- Her Türü Elektronik Cihaz ve Sistemler
- Bilgisayar Destekli Sistemler
- Bilgisayar Yazılım Paketleri

### ☞ Danışmanlık

- Elektronik ile İlgili Konular
- Haberleşme ile İlgili Konular
- Bilgisayarla İlgili Konular

### ☞ Bakım Onarım

- TV, Radyo, Video, Teyp gibi Cihazlar
- Bilgisayar ve İlgili Birimler
- Endüstriyel ve Tıbbi Elekt. Cihaz ve Sistemler
- Bilgisayar Destekli Elekt. Sist.

### ☞ Uydu Anten ve Güvenlik Sistemleri

- Uydu Anten Sis. Projelendirilmesi
- Alarm Sistemleri , Kapalı Devre TV Sis. Projelendirilmesi
- Montaj Hizmetleri
- Malzeme Temini
- Danışmanlık Hizmetleri
- Malzeme Satış Hizmetleri

## ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

# çetin kimya

Tıbbi Cihazlar  
Laboratuvar Malzemeleri  
Tıbbi ve Jeolojik Mikroskoplar ve Her Türlü Aksesuarlar  
Parlatma Kalıpları  
Laboratuvar Numune Kapları (Plastik)  
İnce Kesit Makinaları (Vakumlu ve Normal)  
İnceltme Tozları (Avrupa ve Yerli)  
Parlatma Makinaları

Tel : (322) 359 53 63 (5Kat) Fax : (322) 352 13 28  
Abidinpaşa Cad. 10 Sk. No.115 01010 ADANA



# TEMEL KİMYA

KİMYEVİ MADDE - TIBBİ MALZEME LABRATUVAR  
CİHAZLARI TİCARET VE PAZARLAMA

A.Serdar KARAÖGEN  
Kimyager

Yalçın ÖZTÜRK  
Kimyager

Reşatbey Mah. Türkuşu Cad. No: 51

Tel : (322) 457 84 29 - 457 02 42

Fax : (322) 457 02 42

ADANA

## 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 paragraflar 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 aydinger 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 düzgiin 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. Özeten 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 verilmiş sırasına göre yapılmalıdır. İki den fazla yazar sayısı durumunda ilk iki yazar adı yazılıp, türkçe kaynaklarda "ve diğ." yabancı kaynaklarda "et.al." ibaresi eklenir. Kaynak makale ise, önce yazar adı 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 yayınlansın 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

Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğinde Sanayi Tesisleri ve Bazı Ölçüm Değerleri <i>Industrial Plants and Some Measurements of Emission in the View of the Regulation of Air Quality Protection</i> R. Tuğrul OĞULATA, Beşir ŞAHİN .....	89
Yerden Isıtma Sistemleri ve Tasarım Özellikleri <i>The Floor Heating Systems and Their Design Properties</i> R. Tuğrul OĞULATA, Ayşe KÜÇÜK .....	97
Orifislerde Laminar Akışın Sonlu Farklar Yöntemiyle İncelenmesi <i>Investigation of Laminar Flow Around Square-Edge Orifices</i> Hüseyin CEYHAN, Beşir ŞAHİN .....	107
Bakırın Atmosferik Korozyonuna Klorür İyonu Etkisinin Bağlı Neme Bağlılığı <i>Dependence on Relative Humidity of the Effect of Chloride Ions on the Atmospheric Corrosion of Copper</i> İlyas DEHİRİ, Mehmet ERBİL.....	123
Synthesis of a Novel Catalyst for Organic Reactions in Aqueous Media <i>Sulu Ortam Organik Tepkimeleri için Yeni Bir Katalizör Sentezi</i> Osman SERİNDAĞ, Raymond D.W. KEMMİTT .....	129
Tabii Kısıtlayıcılarda (Orifis/Kılcal boru) Küçük Reynolds Sayılarındaki Akışın Deneysel Analizi <i>The Experimental Analysis of Flow with Low Reynolds Numbers in Natural Throttlers (Orifice/Capillary Tube)</i> Suat CANBAZOĞLU, Fazıl CANBULUT .....	135
Ultrasonik Spektral Dağılımın ve Frekansa Bağlı Zayıflamanın Doppler Ölçme Sonucuna Olan Etkisi <i>The Effect of Ultrasonic Spectral Distribution and Frequency Dependent Attenuation on the Doppler measurement Results</i> İnan GÜLER.....	153
Adana Havzası Tersiyer Yaşlı Güvence Formasyonu'nun Nannoplankton Biyostratigrafisi ve Bazı Rölatif Batimetrik Verileri <i>Nannoplankton Biostratigraphy and Some Relative Bathymetric Data of the Tertiary Aged Güvence Formation at the Adana Basin</i> Nimet ÖZÇELİK, Vedia TOKER, Cengiz YETİŞ.....	167
Akinek-Dorucali-Çanakpınar (Aladağ Kuzeyi, Adana) Kromit Yatakları ve Ekonomik Değerlendirmesi <i>Chromite Deposits of Akinek-Dorucali-Çanakpınar (North of Aladağ, Adana) and Their Economic Evaluation</i> Mesut ANIL, Hasan YILDIZ, Mustafa AKYILDIZ .....	183
Gümüşler (Niğde) Yöresinin Jeolojisi ve Petrografisi <i>Geology and Petrography of Gümüşler (Niğde) Area</i> Fikret İŞLER, Hasan BÜYÜKGIDİK .....	207
Parametrik Programlama Tekniğinin Üretim Planlama ve Kar Analizinde Kullanımı <i>The Use of Parametric Programming Techniques in Production Planning and Profit Analysis</i> A. KOKANGÜL, R. TAGİYEV .....	217
İmalat Sektöründe Kalite Güvence Sistemi <i>Quality Assurance System in the Manufacturing Sector</i> Funda KAHRAMAN, O. Tuğrul GÖNCEL.....	227
Dökümhanelerde İstatistikî Proses Kontrol <i>Statistical Process Control in the Foundries</i> Funda KAHRAMAN, O. Tuğrul GÖNCEL.....	235