



CİLT 11
VOL 11

SAYI 1
NO 1

HAZİRAN 1996
JUNE 1996

ISSN 1019-1011

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

- Analysis and Design of Prestressed Concrete Columns
Öngerilmeli Beton Kolonların Analiz ve Tasarımı
Cengiz DÜNDAR, M.Ender OKUYAN 1
- Tasarım Değişikliği Yapılmış Çerçeve Sistemlerinin
Yeniden Analizi İçin Bir Bilgisayar Programı
A Computer Program for the Analysis of Redesigned Frame Systems
Cengiz DÜNDAR, Y.Bülent YALPA 13
- A Comparative Study of the Contact Problem for an Elastic
Layer Supported by Two Elastic Quarter Planes
*İki Elastik Çeyrek Düzlem Üzerindeki Elastik Bir Tabakanın
Temas Problemlerinin Karşılaştırmalı İncelenmesi*
Orhan AKSOĞAN, Seren AKAVCI, Adib A. BECKER 25
- Bağlantıları Yarı Rijit ve Nonlinear Davranan Üç Boyutlu
Çerçevelerin İncelenmesi
*On the Analysis of Three Dimensional Frames with Flexible
Nonlinear Connections*
Hakan ERDEM, Orhan AKSOĞAN, Koncay HÜSEYİN 33
- İki Boyutlu Potansiyel Akımların Teorik ve Deneysel Analizi
*Theoretical and Experimental Analysis of Two Dimensional
Potential Flows*
M.Salih KIRKGÖZ, M.Sami AKÖZ 47
- Baraj İşletme Politikası ve Rezervuar Hacmi'nin Belirlenmesinde
İhtimal Kısıtlı Doğrusal Programlama Yönteminin Kullanılması
*Chance-Constrained Linear Programming Method for Determination
of Operation Policy and Storage Capacity of Reservoirs*
Recep YURTAL, Fatih ÜNEŞ 59
- İstinat Duvarlarının Bilgisayar ile Projelendirilmesi
Design of Retaining Walls with the Aid of Computer
S.Ercan EPSİLELİ, M.Salih KIRKGÖZ, Mustafa MAMAK 73
- Kırılma Bölgesinde Dalga Sınır Tabakasının İncelenmesi
Investigation of Wave Boundary Layer in the Breaking Zone
M.Salih KIRKGÖZ, Fatima AL-SALEH, M.Sami AKÖZ 85
- Su Dağıtım Şebekelerinin Bilgisayar ile Projelendirilmesi
Design of Water Distribution Networks Using Computer
M.Salih KIRKGÖZ, Mustafa MAMAK 97
- Yapı Üretiminde Proje, Teknik Şartname ve Sözleşmenin Uygun
Düzenlenmesinin Önemi ve Türkiye'deki Uygulama
*The Importance of Proper Preparation of Project, Technical Specification and
Contract in Construction and Its Application in Turkey*
M.Emin ÖCAL, Döndü TÜRKER 107

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ

Çukurova Universty, Journal of Faculty of Engineering and Architecture

Sahibi

Hamit SERBEST
Çukurova Üniversitesi
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanı

Editör

Mesut ANIL

YAYIN KURULU

Mesut ANIL
Beşir ŞAHİN
Recep YURTAL
Fikret İŞLER
Ziya Gökalp ALTUN

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.)	M.Baki KARAMIŞ (E.Ü.)
Erdal KEREY (A.İ.B.U.)	Erhan KIRAL (Ç.Ü.)
Salih KIRKGÖZ (Ç.Ü.)	Erdem KOÇ (Ç.Ü.)
Engin MERİÇ (İ.Ü.)	Güven ONAL (İ.T.Ü.)
Işık ÖZPEKER (İ.T.Ü.)	Kazım PIHTILI (F.Ü.)
Senai SALTOĞLU (İ.T.Ü.)	Hamit SERBEST (Ç.Ü.)
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)

N.Çaykun ALPASLAN (Y.T.Ü.)	Mehmet ARDIÇLIOĞLU (E.Ü.)
Ercan ATAER (G.Ü.)	Kadir AYDIN (Ç.Ü.)
Yüksel BURDURLU (S.Ü.)	Orhan BÜYÜKALACA (Ç.Ü.)
Cengiz DÜNDAR (Ç.Ü.)	Tuncay ERCAN (M.T.A.)
Ragıp ERDÖL (K.T.Ü.)	Osman Feyzi GENCELİ (İ.T.Ü.)
Tevfik GÜYAGÜLER (O.D.T.Ü.)	Tefaruk HAKTANIR (E.Ü.)
Halil KUMBUR (M.Ü.)	Mustafa LAMAN (Ç.Ü.)
Tuğrul OGULATA (Ç.Ü.)	Beşir ŞAHİN (Ç.Ü.)
Kamil TANRIKULU (Ç.Ü.)	Yusuf ULCAY (U.Ü.)
Hüseyin YAPICI (E.Ü.)	Çetin YILMAZ (O.D.T.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

Uluf
29.9.97
f

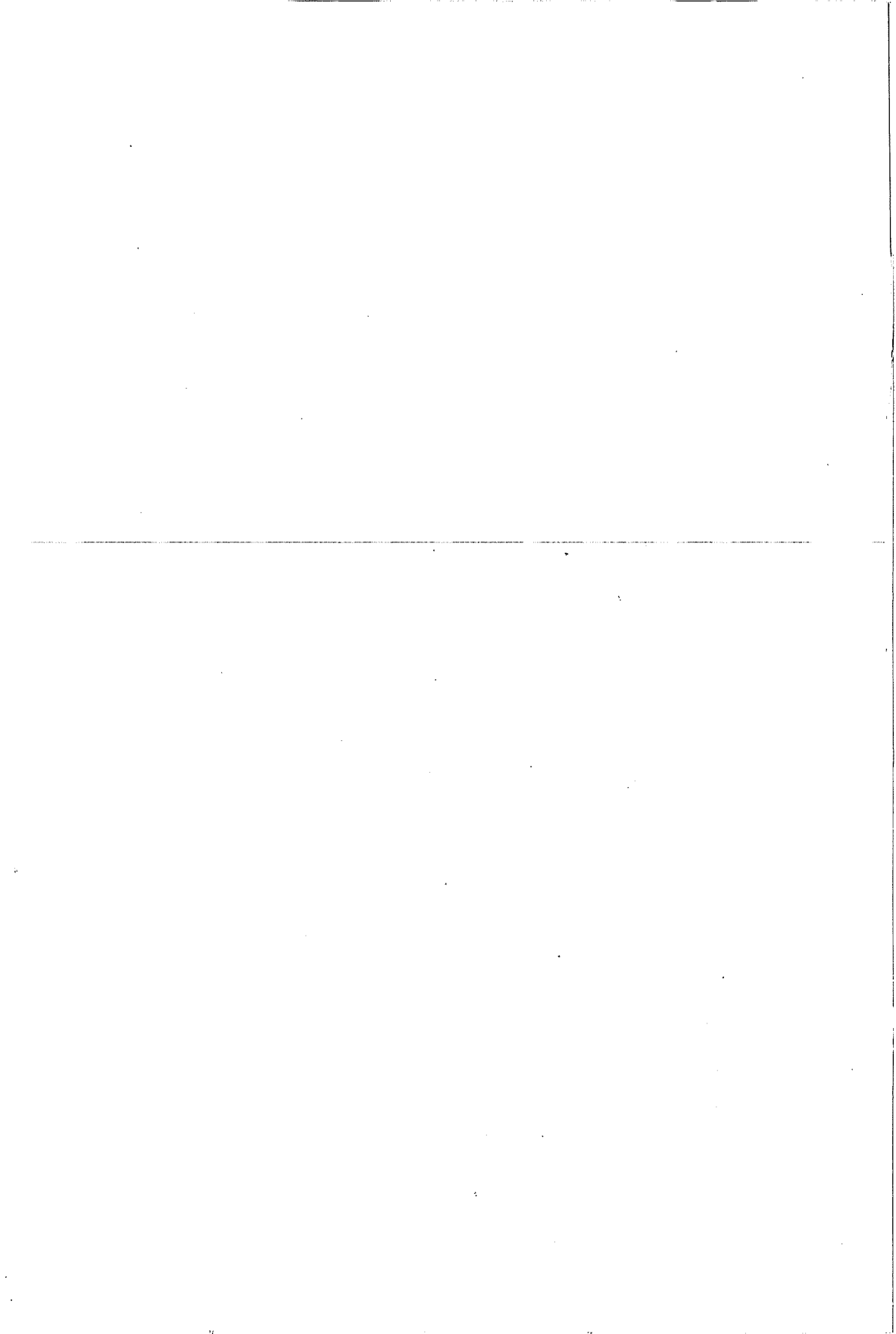
ÖNSÖZ

Artan maliyetler, bütçe kısıtlamaları ve diğer olumsuz şartlar sebebiyle Fakülte Dergimizin 11.Cilt'in 1. Sayısı gecikmeyle yayınlanabilmiştir. Bu sebeple dergimizde yayınlanmasına karar verildiği halde makaleleri bekleyen yazarlarımızdan özür diliyoruz.

Bu sayıda toplam 21 makaleye yer verilmiştir. Bu makalelerin tamamı Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde gerçekleştirilen master ve doktora tezlerine aittir. 11. Cilt'in 2. Sayısında ise münferit çalışmalar ile Fakülte dışındaki yazarlarımızın makaleleri yayınlanacaktır. Halen dizgi aşamasında bulunan bu sayımızın hazırlıkları tamamlanmış olup, çok kısa bir zaman içinde yayınlanacaktır. Bilindiği gibi Fakülte Kurulumuzun 19.3.1997 tarih, 97-6/1 sayılı kararıyla yayın konusundaki yeni ilke kararları 12.Cilt'den itibaren uygulanacaktır. Alınan bu kararlarda da master ve doktora tezlerine öncelik tanınmaktadır. Fakültemiz öğretim elemanlarının Fen Bilimleri Enstitüsünde yaptıkları tüm tezlere ait makaleler veya özetleri 12. Ciltten itibaren dergimizde yayınlanacaktır.

Fakültemiz bütçesindeki olumsuz koşullara rağmen bu sayının yayınlanmasında yardımcı olan Dekanımız sayın Prof. Dr. A. Hamit Serbest ile dergimize makale veren öğretim elemanlarımıza ve ayrıca dizgi ve mizanpajı yapan Filiz Karabıyık ile Öğr. Gör. Nil Dönderici'ye teşekkürü bir borç biliriz.

Yayın Kurulu





İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Analysis and Design of Prestressed Concrete Columns <i>Öngerilmeli Beton Kolonların Analiz ve Tasarımı</i> Cengiz DÜNDAR, M.Ender OKUYAN	1
Tasarım Değişikliği Yapılmış Çerçeve Sistemlerinin Yeniden Analizi İçin Bir Bilgisayar Programı <i>A Computer Program for the Analysis of Redesigned Frame Systems</i> Cengiz DÜNDAR, Y.Bülent YALPA.....	13
A Comparative Study of the Contact Problem for an Elastic Layer Supported by Two Elastic Quarter Planes <i>İki Elastik Çeyrek Düzlem Üzerindeki Elastik Bir Tabakanın Temas Problemlerinin Karşılaştırmalı İncelenmesi</i> Orhan AKSOĞAN, Seren AKAVCI, Adib A. BECKER	25
Bağlantıları Yarı Rijit ve Nonlinear Davranan Üç Boyutlu Çerçevelerin İncelenmesi <i>On the Analysis of Three Dimensional Frames with Flexible Nonlinear Connections</i> Hakan ERDEM, Orhan AKSOĞAN, Koncay HÜSEYİN	33
İki Boyutlu Potansiyel Akımların Teorik ve Deneysel Analizi <i>Theoretical and Experimental Analysis of Two Dimensional Potential Flows</i> M.Salih KIRKGÖZ, M.Sami AKÖZ.....	47
Baraj İşletme Politikası ve Rezervuar Hacmi'nin Belirlenmesinde İhtimal Kısıtlı Doğrusal Programlama Yönteminin Kullanılması <i>Chance-Constrained Linear Programming Method for Determination of Operation Policy and Storage Capacity of Reservoirs</i> Recep YURTAL, Fatih ÜNEŞ	59
İstinat Duvarlarının Bilgisayar ile Projelendirilmesi <i>Design of Retaining Walls with the Aid of Computer</i> S.Ercan EPSİLELİ, M.Salih KIRKGÖZ, Mustafa MAMAK	73
Kırılma Bölgesinde Dalga Sınır Tabakasının İncelenmesi <i>Investigation of Wave Boundary Layer in the Breaking Zone</i> M.Salih KIRKGÖZ, Fatima AL-SALEH, M.Sami AKÖZ	85
Su Dağıtım Şebekelerinin Bilgisayar ile Projelendirilmesi <i>Design of Water Distribution Networks Using Computer</i> M.Salih KIRKGÖZ, Mustafa MAMAK	97
Yapı Üretiminde Proje, Teknik Şartname ve Sözleşmenin Uygun Düzenlenmesinin Önemi ve Türkiye'deki Uygulama <i>The Importance of Proper Preparation of Project, Technical Specification and Contract in Construction and Its Application in Turkey</i> M.Emin ÖCAL, Döndü TÜRKER	107

Proje Yönetiminde Parasal Kaynak Dengelenmesinin Paket Program Yardımıyla Çözümü <i>Leveling Financial Resource on Project Management by Using Software</i> M.Emin ÖCAL, Nuran KAYA	115
Zemin-Yapı Etkileşimi Problemlerinin Sonlu-Sonsuz Elemanlar Modeli ile Statik Analizi <i>Static Analysis of Soil-Structure Interaction Problems Using Finite and Infinite Elements</i> Beytullah TEMEL, Erhan KIRAL	127
Segman Yerleştirilmiş Borularda Navier-Stokes Denklemlerinin Nümerik Çözümü <i>Numerical Solution of Navier-Stokes Equations in Tubes with Inserted Rings</i> Tuncay YILMAZ, Yasin VAROL	141
Isıtma ve Soğutma Amaçlı Isı Pompası Sisteminin Tasarımı ve Tanıtılması <i>Design and Introducing of a Heat Pump System for Heating and Cooling Purposes</i> Tuncay YILMAZ, Muammer ÖZGÖREN	155
Döner Tip Rejeneratör Etkinliğinin Transfer Birimi Sayısı ve Isıl Kapasite Oranı ile Değişimi <i>Variation of Rotary Regenerator Effectiveness with the Number of Transfer Unit and Heat Capacity Rate</i> Şaban ÜNAL, Tuncay YILMAZ.....	167
Çukurova Bölgesi İçin Küçük Ölçekli Fotovoltaik Sistem Tasarımı <i>Analysis of Photovoltaic Electricity Production in Adana</i> Orhan BÜYÜKALACA, Mustafa KARAÇORLU.....	181
Saw-Gın Çırcır Makinası Performans Araştırması-Teorik Yaklaşım <i>Performance Investigation of Saw-Gin Ginning Machines-Theoretical Approach</i> Erdem KOÇ, Alper YATÇI.....	195
Levhalı Tip Çapraz Akışlı Isı Değiştirgeçlerinin İncelenmesi <i>Cross-Flow Heat Exchangers and Testing of Its Plate Type</i> R.Tuğrul OGULATA, Füsün DOBA	209
Delihalil ve Yöresi (Ceyhan) Kuvaterner Bazaltlarının Petrografik ve Hidrojeolojik Özellikleri <i>Petrographical and Hydrogeological Characteristics of Quaternary Basalts Delihalil (Ceyhan) Area</i> Nurettin PELEN, Fikret İŞLER.....	221
O.A.L. Çayırhan Kömür İşletmesinde Kömür Kesimi, Nakliyesi ve Ramble Atımı Gibi Faaliyetler Esnasında Oluşan Tozun Azaltılmasına Yönelik Çözümler <i>Dust Control Techniques During Production, Conveying, Ramble etc. in Middle Anatolian Lignite Establishment, Çayırhan Underground Mine.</i> Abdurrahman DALGIÇ, Oktay BAYAT	233
Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Sistemlerinde Arıtma Veriminin İncelenmesi <i>Investigation of Treatment Efficiency in Extended Aeration Activated Sludge Systems</i> Ahmet YÜCEER, Hakan DULKADİROĞLU	243

ANALYSIS AND DESIGN OF PRESTRESSED CONCRETE COLUMNS

Cengiz DÜNDAR ve M.Ender OKUYAN
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

ABSTRACT : *In this study two computer programs have been developed in FORTRAN77 programming language. The first program makes the analysis and design of prestressed rectangular short columns without considering the slenderness effect. The other program constructs nominal load-moment interaction curves for any shape of cross section and for any level of prestress by using the assumption that the section consist of finite number of layers. Axial load-moment interaction curves of conventional reinforced concrete columns can also be obtained by the second program. Column deflection curves for equal end eccentricity has also been obtained in the program by using the numerical integration method proposed by Galambos. Numerical examples available in the literature have been solved by the aforementioned programs and the results found to be in good agreement.*

ÖNGERİLMELİ BETON KOLONLARIN ANALİZ VE TASARIMI

ÖZET : *Bu çalışmada FORTRAN77 programlama dilinde iki ayrı bilgisayar programı hazırlanmıştır. Birinci program ile, dikdörtgen kesitli öngerilmeli beton kolonların analiz ve tasarımı narinlik etkisi ihmal edilerek yapılmaktadır. İkinci program, değişik poligonal kesitler ve değişik öngerilme seviyeleri için, kesitin sonlu sayıda katmanlardan oluştuğu varsayımına göre, kolonların nominal eksenel kuvvet-moment etki diagramlarını oluşturmaktadır. İkinci program ile betonarme kolonların kuvvet-moment etki diagramları da ayrıca elde edilmektedir. Programda, eşit uç eksantrisiteli kolon deforme eğrilerinin bulunmasında Galambos tarafından önerilen numerik integrasyon metodu kullanılmıştır. Geliştirilen bilgisayar programları ile literatürde mevcut örnekler ele alınmış ve sonuçların uyum içine olduğu görülmüştür.*

1. INTRODUCTION

Prestressed concrete columns have been used in the construction industry as precast compression members for more than 25 years in the world. In designing the prestressed concrete column, there are several alternatives for the design engineer. Some of the references (1) include load versus moment interaction curves which are for limited shape of sections such as rectangular, circular, ...etc. and for a certain steel percentage. Also these curves are for a specific material stress-strain relationship, limit the designer to use the same material properties. If the designer cannot find his specific column within the available design charts he should construct load-moment interaction curves for his column which is time consuming.

In this study nondimensional load versus moment interaction curves have been developed by a computer program. These curves are for rectangular columns with the prestressing steel equally placed in all four faces of the section. General nondimensional equations have been derived by considering nonlinear behaviour of both the concrete and prestressing steel stress-strain relation together with the linear strain distribution in the cross section. Computer program also makes the analysis and design without using the design charts. In the remaining part of the study load versus moment interaction curves have been constructed by the computer program for any given complex shape of cross section.

In previously issued references (1,2), reinforcement is generally placed symmetrically in the section. In this study any arrangement of the prestressing tendons alone or together with the nonprestressed reinforcing bars can be taken under consideration. Real stress-strain relationships of concrete is used rather than the rectangular stress block approximation as usually used in the construction of interaction curves. Any experimentally obtained stress-strain values can be used to be more realistic about the behaviour of the steel and concrete in the analysis and design.

In order to determine the secondary effects in the column, moment-curvature relationship should be determined. The program is capable of calculating the moment-curvature relationship for the given cross section and axial force. A numerical integration method is used to find the column deflection curves for a given axial force (3).

2. CONSTRUCTION OF DESIGN CHARTS

In this study the general equilibrium equations have been derived for a general rectangular prestressed column. In order to obtain these equations, neutral axis depth is increased while strain compatibility is satisfied. The steel and concrete forces are calculated from the strain distribution. These forces are nondimensionalized and substituted into appropriate equations of equilibrium which represent a single point on the load-moment interaction curve. Total interaction curve is constructed by increasing

the neutral axis depth.

The nonlinear stress-strain relationship is used instead of using rectangular stress block approximation.

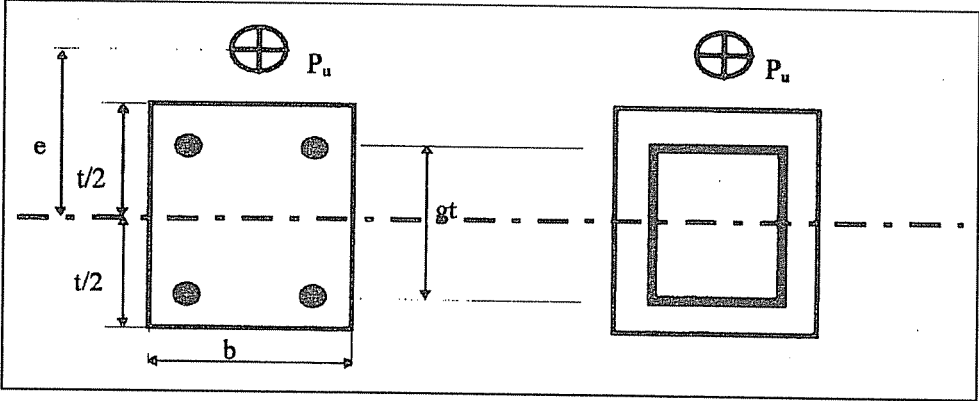


Fig. 2.1 Prestressing steel replaced by rectangular steel tube of the same area

The steel forces are calculated by replacing the prestressing strands by a thin rectangular tube of prestressing steel with equal areas in all four faces of the column as shown in Fig. 2.1.

3. DESIGN CHARTS FOR PRESTRESSED CONCRETE COLUMNS

In this second part of the study load-moment interaction curves have been constructed. The following assumptions were made for analytical modelling.

1. Material laws are known for both concrete and steel. The fibers in the column cross section will obey the stress-strain laws indicated by the chosen uniaxial relationship.
2. Plane sections normal to the neutral surface remain plane, hence longitudinal strains are proportional to their distances from the neutral surface.

Because of the plane section assumption, the concrete strain distribution can be defined by two variables. For the given curvature value (ϕ) and the top strain (ϵ_t). So the strain at any point can be calculated by the Eq.(3.1).

$$\epsilon_c = (y_t - y) \phi \quad (3.1)$$

The stresses for the above given strains are found by following the rules of material laws by integrating them over the section.

$$P = \int_{A_c} f_c dA_c + \int_{A_s} f_s dA_s + \int_{A_p} f_p dA_p \quad (3.2)$$

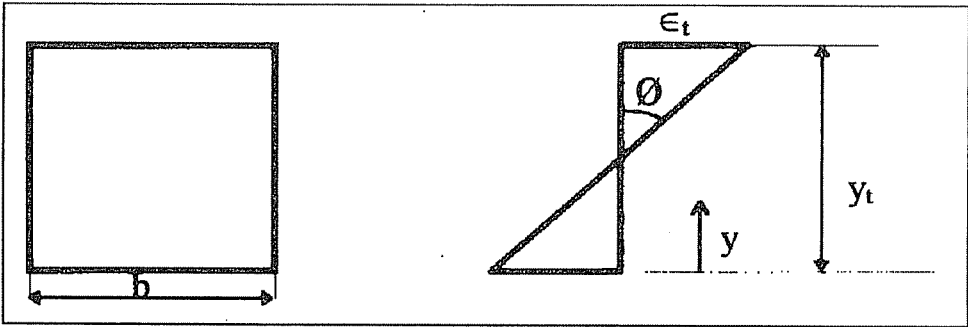


Fig. 3.1 Strain distribution

$$M = \int_{A_c} f_{cy} dA_c + \int_{A_s} f_{sy} dA_s + \int_{A_p} f_{py} dA_p \quad (3.3)$$

Integrations of the stress have been carried out numerically. This is done by layer by layer method in which the cross section is divided into series of rectangular strips and it was assumed that the strain in each layer is uniform and equal to the actual strain at the center of the strip (Fig. 3.2).

If the strain is uniform over the strip the concrete strain will also be uniform over the strip. The force in each strip can be found by multiplying the stress in the strip by the area of the strip. Moment can be found by multiplying the layer force by the distance between the middle of the strip and the reference axis.

The manner of the layer by layer procedure is shown in Fig. 3.2.

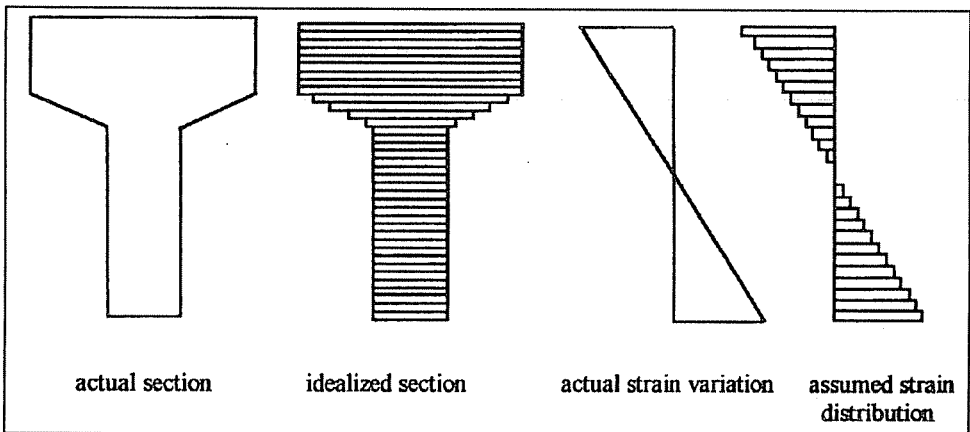


Fig. 3.2 Layer modelling of the section

In the calculation of ultimate load-moment interaction curves, the steel and concrete may have various stress-strain laws in functional form or any experimentally stress-strain data can be given as input. Computer program interpolates the specific strain within the pairs entered as input.

Many optional cross sections may be used to find their ultimate load-moment interaction curves .

Area and centroid of the choosen cross section has been found by a subprogram. Area and centroid is evaluated by the analytical formula given below.

$$A_{\text{concrete}} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n y_i (x_{i+1} - x_{i-1}) \tag{3.4}$$

$$C_{\text{centroid}} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n (x_{i+1} - x_i) (y_{i+1}^2 + y_{i+1}y_i + y_i^2) \tag{3.5}$$

4. SLENDERNESS OF PRESTRESSED CONCRETE COLUMNS

4.1. General

Precast concrete columns are generally slender. In codes of practice, emprical formulas are used for the slenderness effects (4,5). But these emprical formulas are limited for use if the slenderness ratio is very high. At the design stage, if the slenderness ratio is very high, contribution of axial loads, effect of deflection on moment and forces and effect of duration of loading should be accounted. Then use of emprical formulas are not acceptable for prestressed concrete columns.

4.2. The Strength of Beam-Columns

The bending moment inside the span of the beam-column is composed of the primary moment $M(z)$ due to the applied end moment and the secondary moment Pv , where v is the deflection of the member.

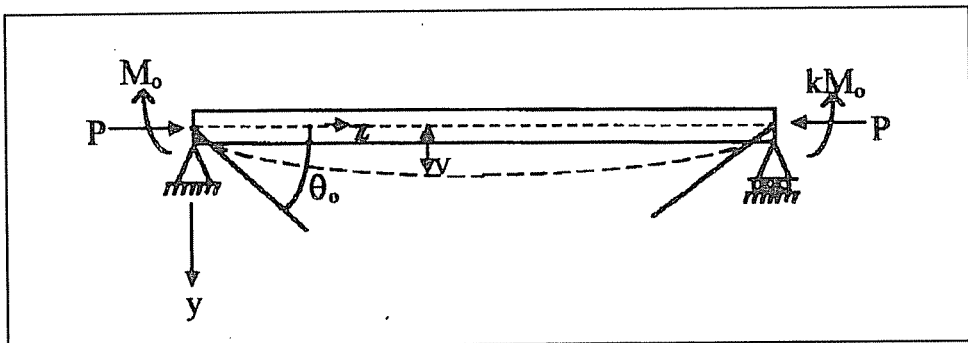


Fig. 4.1 Beam-Column with end forces

The moment at any point along the length of the member in Fig. 4.1 is given by the Eq. (4.1). In the elastic range, internal moment is given by Eq. (4.2).

$$M_x = M_0 \left(1 - \frac{z}{L} (1 - k) \right) + Pv \quad (4.1)$$

$$(M_x)_{\text{internal}} = E I_x \phi \quad (4.2)$$

If the elastic range is exceeded, internal moment is dependent upon the curvature, axial load, material and cross sectional properties. The equilibrium equation is $M_{\text{ext}} = M_{\text{int}}$ is given by Eq.(4.3).

$$M_x(z) + Pv = f(v'', P, \text{material section}) \quad (4.3)$$

The deflections and end rotations of the beam-column are obtained by numerical integration of Eq.(4.3) explained by Galambos.

4.3. The P - M- ϕ Relationship

The load-moment-curvature relationship changes according to the sequence in which P and M are applied to the cross section. However as explained by Galambos (3), it is easier to find the moment-curvature relationship as though the axial loads were applied and held constant while moments are increased to their failure values.

4.4. Numerical Method for the Construction of Column Deflection Curves

Before making the numerical integration process, moment-curvature relationship for the given cross section should be calculated correctly.

The method of numerical integration procedure is explained by the Fig. 4.2 which shows a portion of a column deflection curve near the end $z=0$. First a value of P and θ_0 is specified. Next we choose convenient subdivisions of ρ_i along the length of the axis through which P passes. The deflected shape is assumed to be circular between the ends of the segments ρ_i . Within the segment ρ_i the radius of curvature is $1/\phi_i$ as shown in Fig. 4.2. Products of small quantities such as θ_0 , ϕ_1 , θ_0^2 , ϕ_1^2 , etc. are neglected. Then the following relationships are determined for the deflected shape shown in Fig. 4.2.

$$\bar{v}_1 = \rho_1 \theta_0 - \frac{\rho_1^2 \phi_1}{2} \quad (4.4)$$

$$\theta_1 = \theta_0 - \rho_1 \phi_1 \quad (4.5)$$

$$\bar{v}_2 = \bar{v}_1 + \rho_2 \theta_1 - \frac{\rho_2^2 \phi_2}{2} \quad (4.6)$$

$$\theta_2 = \theta_1 - \rho_2 \phi_2 \quad (4.7)$$

The deflection and the slope at the i th point are given by the Eqs.(4.8) and (4.9).

$$\bar{v}_i = \bar{v}_{i-1} + \rho_i \theta_{i-1} - \frac{\rho_i^2 \phi_i}{2} \quad (4.8)$$

$$\theta_i = \theta_{i-1} - \rho_i \phi_i \quad (4.9)$$

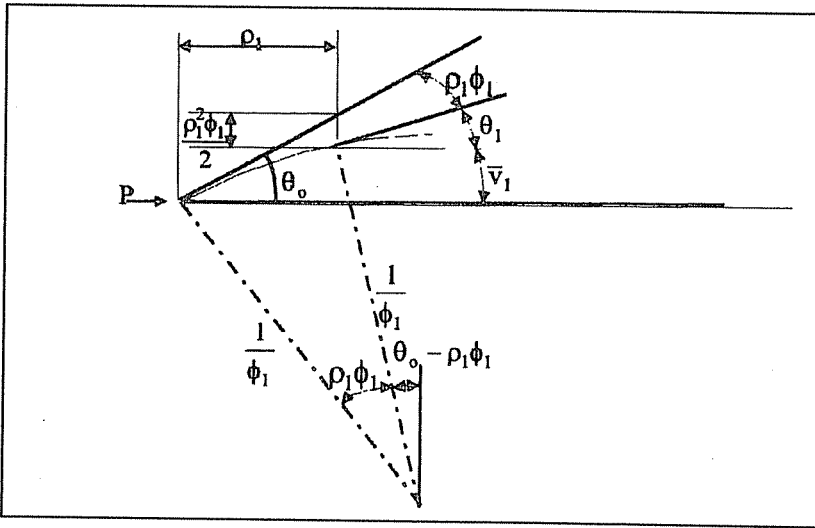


Fig. 4.2 Integration variables for column deflection curves

The quarter curve is found when $\theta=0$. This last point can be computed with any desired degree of accuracy by making ρ_i near $\theta=0$ as small as needed to obtain $\theta=0$. If the quarter wavelength is computed, the remaining portions of the column deflection curve are also known because of symmetry. The half wavelength is given by Eq.(4.10).

$$L_{\text{def.curve}} = 2 \sum_{i=1}^n \rho_i \quad (4.10)$$

The curvature ϕ_i is calculated from P-M- ϕ relationship corresponding to the mean value of the moment in the segment (i). This moment is calculated by the following formula (see Fig. 4.2).

$$M_{mi} = P v_{i-1} + \frac{P \theta_i \rho_i}{2} \quad (4.11)$$

5. COMPUTER PROGRAM

In this study, two computer programs have been prepared by using the formulations explained in the previous sections. The first program makes the analysis by replacing the prestressing steel with a thin rectangular tube of the same area with the prestressing steel. Then it has been assumed that the tube is symmetrically placed in the section. Input file for the first program requires material and section properties together with the design load and moment. This program is applicable for rectangular prestressed concrete short columns. After running the program, the steel percentage interval that the designer can choose is found by the computer. Then the analysis of the section is made according to the steel percentage entered.

The second program constructs load-moment interaction curves for any given polygonal section. In order to define the cross section, x-y coordinates of the corners of the cross section are entered as input. While entering the corner coordinates it should be ensured that the whole section is in the first quadrant. This program also finds the moment-curvature relationship for a given axial load, critical loads for the given axial loads and column length and finally constructs the column deflection curves for equal end eccentricity. Up to 15 reinforcing bars and prestressing steel with different areas and coordinates can be input. The general flowchart of each program is given in Fig. 5.1 for the first program and the second program respectively. Input files for the two programs are given below. The variables are explained at once for the two programs.

Material properties for concrete, steel and prestressing steel are stored in the program.

5.1. Preparation of Input File

5.1.1. Properties

Geometric and material properties of the member are given below.

<u>Variable</u>	<u>Entry</u>
f_c	Concrete strength
b	Width of section
t	Depth of section
e_c	Modulus of elasticity of concrete
e_{ps}	Modulus of elasticity of prestressing steel
p	Rust cover
x	x-coordinates of the corners of section
y	y-coordinates of the corners of section
l	length of the column

5.1.2. Loads

<u>Variable</u>	<u>Entry</u>
f_{se}	Effective stress in the prestressing steel
f_{pu}	Ultimate stress in the prestressing steel
P_{1u}	Design load
m_{1u}	Design moment
ϕ	workmanship factor
ρ	steel percentage

Prestressing level for each tendon in the section may have different values together with the reinforcing bars. Geometry of curvature is asked by the computer program such as it will be single curvature or double curvature.

6. NUMERICAL EXAMPLES AND CONCLUSIONS

6.1. General

In this section a numeric example has been solved and compared with previously made issues. Still there are no interaction charts covering the entire section of the columns. In this study a computer program has been made which analyse and design rectangular prestressed concrete columns. Also another computer program has been prepared which is able to construct ultimate strength interaction curves of any shape of cross section, any arrangement of prestressing steel and/or reinforcing bars.

6.2. Examples

Example 1

Analysis and design of a prestressed concrete column was made by using the first program.

$P_u = 2446.4 \text{ kN}$	$f_{pu} = 186 \text{ kN/cm}^2$	$E_c = 3070 \text{ kN/cm}^2$
$M_u = 9887 \text{ kN-cm.}$	$f_{se} = 107 \text{ kN/cm}^2$	$E_{ps} = 18961 \text{ kN/cm}^2$
$f_c = 4 \text{ kN/cm}^2$	ϕ (workmanship) = 0.7	rust cover = 5 cm.

Trial Design 1

Assume $b=t=40\text{cm.}$

After running the program, four 9.53 mm. diameter strands are chosen and found to be adequate. Then program makes the analysis and finds the actual capacity of the column loads as:

$P_u = 2816 \text{ kN} > 2430 \text{ kN}$
 $M_u = 114.35 \text{ kN-m} > 98.87 \text{ kN-m}$

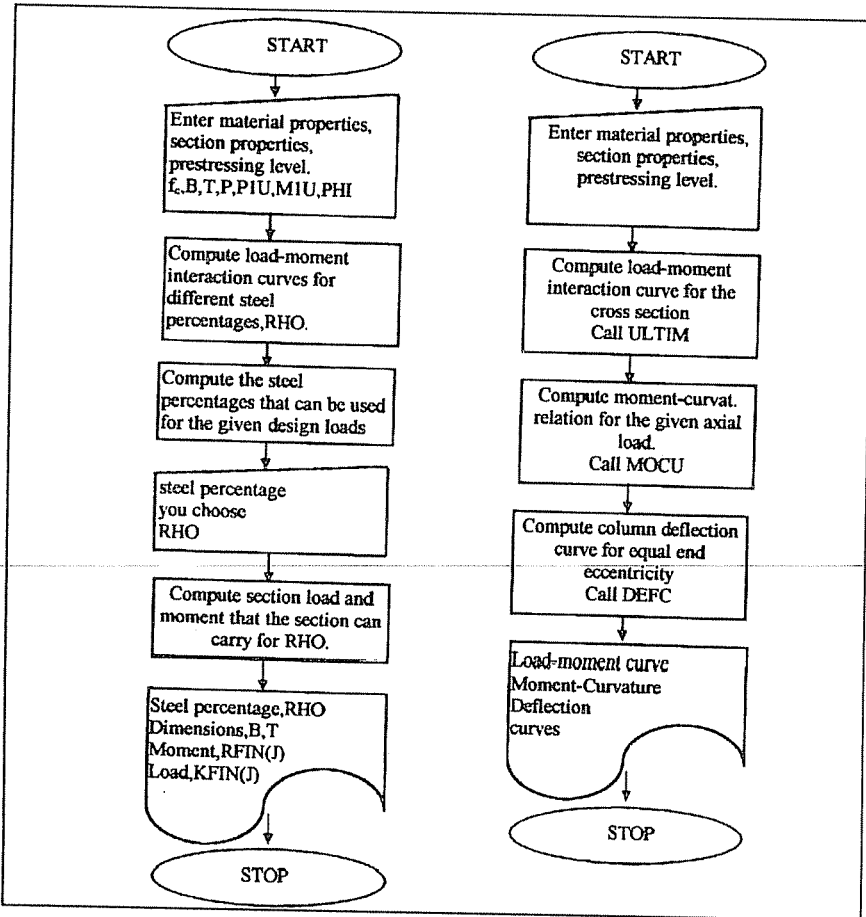


Fig. 5.1 Flowcharts of the programs

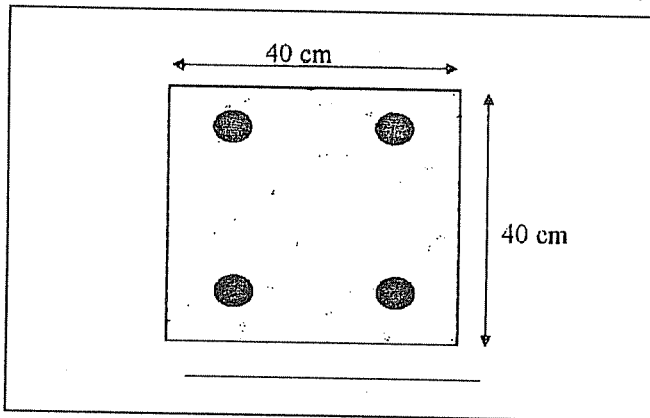


Fig. 6.1 Trial design 1

Results obtained here are in good agreement with the solution obtained by Salmons and McLaughlin (1).

The section given above has been analysed by the second program by considering the length effect is given below.

Part of the output file is given below.

AREA OF THE SECTION= 1600
 THE CENTER OF SECTION IS AT Y= 20

 ULTIMATE STRENGTH INTERACTION CURVE

LOAD	-28.21	132.48	268.54	380.85	482.62	603.14	723.94
MOMENT	2944.24	5611.13	7746.14	9317.77	10650.6	12317.5	13821.5
LOAD	845.22	965.74	1085.93	1206.67	1327.13	1447.62	1567.97
MOMENT	15169.3	16384.1	17463	18394.3	19192.1	19852.2	20378.4
LOAD	1688.21	1808.24	1928.08	2047.81	2167.53	2287.06	2406.43
MOMENT	20770.3	21029.7	21156.9	211150.7	21009.8	20737	20331.9
LOAD	2525.67	2644.79	2763.89	2882.9	3001.85	3120.7	3239.49
MOMENT	19794.3	19124.1	18319.6	17382.1	16311.6	13107.9	13771.1
LOAD	3358.22	4428.03					
MOMENT	12301	0.00					

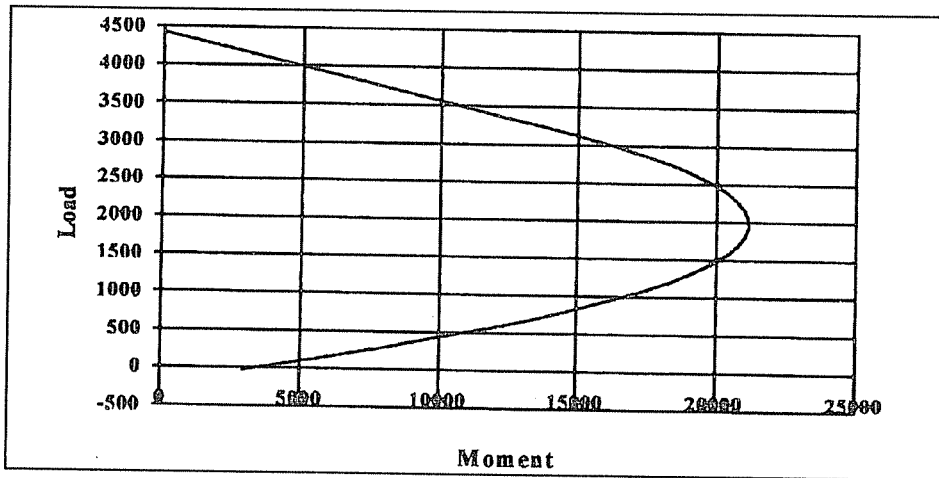


Fig. 6.2. Load-moment interaction diagram for the section given in Fig. 6.1

MOMENT-CURVATURE RELATIONSHIPS FOR GIVEN AXIAL LOAD(S)
OF P=160 kN.

(CURVATURES HAVE BEEN MULTIPLIED BY 1000000)

MOMENT	0	2518.91	2694.01	3108.59	3434.17	3778.19	3938.11
CURVATURE	0	4	8	12	16	23	31
MOMENT	4098.71	4234.38	4306.67	4389.83	4475.28	4556	4605.83
CURVATURE	39	47	54	62	70	78	86
MOMENT	4660.4	4718.19	4774.88	4825.02	4869.75	4916.40	4960.84
CURVATURE	93	101	109	117	125	132	140
MOMENT	5001.99	5041.05	5075.85	5111.77	5146.02	5175.14	5660.04
CURVATURE	148	156	163	171	179	187	537
MOMENT	5696.37						
CURVATURE	888						

CRITICAL LOADS

AXIAL LOAD= 160.00 kN, LENGTH= 350.00 cm.

CRITICAL END MOMENT= 4732.01 kN-cm

MIDMOMENT= 5126.73 kN-cm,ULT. MOM=5696.37 kN-cm

INSTABILITY FAILURE

7. REFERENCES

1. *Salmons, J.R. and Mclaughlin, D.G., "Design Charts for Proportioning Rectangular Prestressed Concrete Columns," PCI journal, January-February, pp. 121 -143, 1982.*
2. *Nathan, N., "Slenderness of Prestressed Concrete Columns," PCI journal, March-April, pp.51-75, 1983.*
3. *Galambos, T.V., "Structural Members and Frames," Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1968.*
4. *ACI Commitee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-77)", American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1977.*
5. *British Standart Institution, "Code of Practice for Structural Use of Concrete (CP 110)", Part I, 1972.*

TASARIM DEĞİŞİKLİĞİ YAPILMIŞ ÇERÇEVE SİSTEMLERİNİN YENİDEN ANALİZİ İÇİN BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI

Cengiz DÜNDAR ve Y. Bülent YALPA
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Bu çalışmada yapı sistemlerinin üç boyutlu statik analizi için iki adet bilgisayar programı geliştirilmiştir. Birinci bilgisayar programı rijitlik matrisi yönteminde altsistemlere ayırma metodu ile çerçevelerin analizini yapmaktadır. İkinci bilgisayar programı da yapı sistemlerinin tasarım değişikliği sonucunda yeniden analizini yapmaktadır. İkinci bilgisayar programı veri olarak, orijinal sistemin bilgilerini birinci bilgisayar programı tarafından hazırlanan çıktı dosyalarından almaktadır. Programların değerlendirilmesini yapabilmek için çalışmanın sonunda bazı örnekler çözülmüştür. Aynı örnekler SAP80^(R) programı ile de çözülmüş ve analiz sonuçlarının karşılaştırılmaları verilmiştir. Analiz sonuçları, geliştirilen programların yapı sistemlerinin üç boyutlu statik analizinde güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

A COMPUTER PROGRAM FOR THE ANALYSIS OF REDESIGNED FRAME SYSTEMS

ABSTRACT : In this study, two computer programs are developed for the three dimensional static analysis of frame systems. The first program is prepared by employing the method of substructures in the stiffness matrix method. The second program is prepared by the method of redesign of structure by modification of supports and/or element properties. The second computer program reads the original structure properties from the first program's output files. To assess the computer programs, some examples are analyzed at the end of this study. Some examples are analyzed by the SAP80^(R) program, and the results are compared. The results of the analysis show that the programs developed can be used reliably for the three dimensional static analysis of frame systems.

1. GİRİŞ

Yapıların analizinin düzlemsel çerçeveler kullanılarak yapılması, yapıların davranışına belirli bir yaklaşıklık getirmektedir. Bu neden ile yapıların gerçek davranışını belirleyebilmek için üç boyutlu analizini yapmak gerekmektedir (1-5).

Kişisel bilgisayarların yaygınlaşması ile ekonomik ve güvenli çözümler kısa sürede yapılabilmektedir. Sistemin bilinmeyen deplasmanlarını göz önüne alarak eleman uç kuvvetlerinin bulunmasında kullanılan rijitlik matrisi yöntemi hem bilgisayarda programlamaya elverişlidir, hem de sistematik ve genel olup her tür taşıyıcı sisteme uygulanabilmektedir. Bu yöntemde çözülecek denklem sayısı bilinmeyen deplasmanlar kadar olacaktır. Oysa rijitlik matrisi yönteminde sistemi düğümlerinden keserek altsistemlere ayırma metodu kullanıldığı takdirde, çözülecek denklem sayısı ayrılmış düğümlerin toplam deplasman sayısı kadar olacaktır.

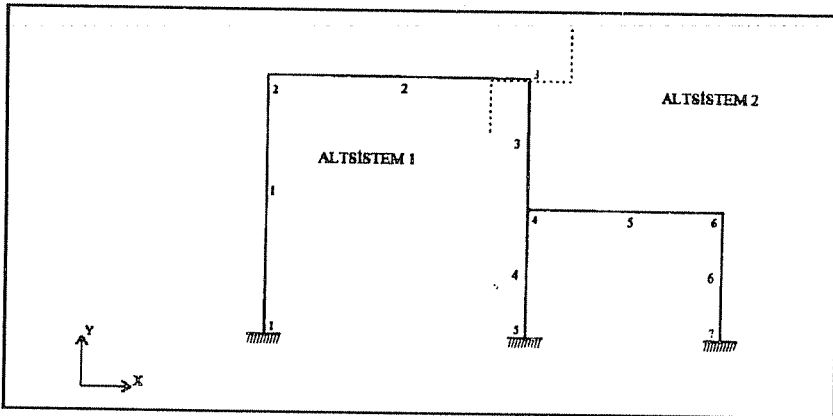
Yapı sistemlerindeki tasarım değişiklikleri sebebi ile yapıların her seferinde baştan analizini yapmak gerekmektedir. Oysa yapı sisteminin ilk analizinin sonuçlarından yararlanarak yeniden analizinin yapılması daha kolay ve hızlı olmaktadır.

2. RİJİTLİK MATRİSİ YÖNTEMİNDE ALTSİSTEMLERE AYIRMA METODU

Bir taşıyıcı sistem, elemanlarından veya düğüm noktalarından geçen teorik çizgilerle altsistemlere ayrılabilir (6,7). Bilgisayar programında düğüm noktalarından geçen teorik çizgilerle altsistemlere ayırma metodu kullanıldığı için aşağıda bu metod ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

2.1. Düğümlerinden Keserek Altsistemlere Ayırma Metodu

Şekil 1'de düğümlerinden altsistemlere ayrılmış bir taşıyıcı sistem görülmektedir. Burada sistem 3 numaralı düğümün hemen altından teorik olarak kesilmiş ve iki altsisteme ayrılmıştır.

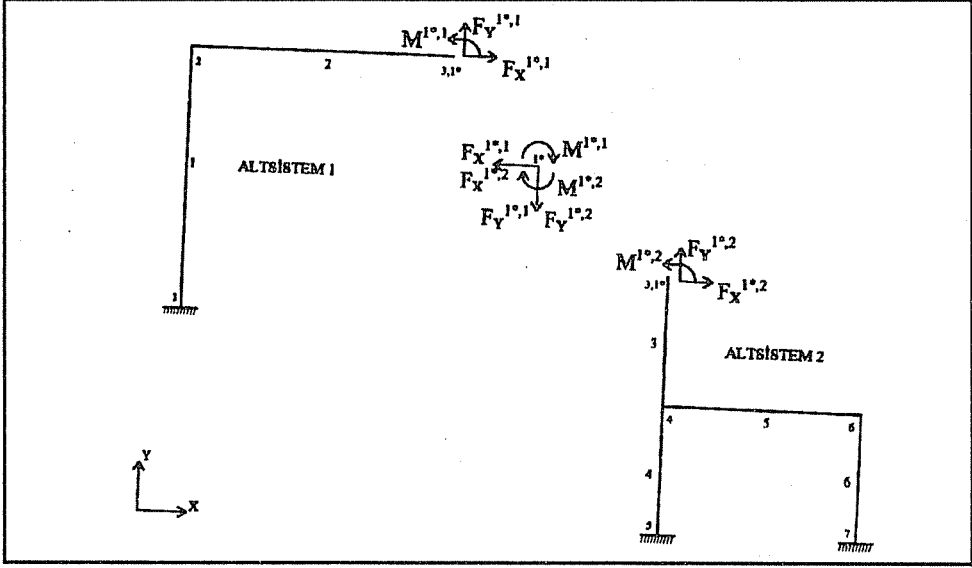


Şekil 1. Düğümlerinden kesilerek altsistemlere ayrılmış bir sistem

Bu tür altsistemlere ayırmada iç ve dış düğümler söz konusu olmaktadır. Altsistemlerin ayrıldığı düğümlere dış düğümler, diğer düğümlere ise iç düğümler denilir. Örneğin 1 numaralı altsistemin dış düğümleri 3 numaralı düğüm, iç düğümleri ise 1, 2 numaralı düğümlerdir.

2.2. Altsistemlerin Rijitlik Matrisleri

Şekil 1'deki dış düğümlerin ayrılmış şekli ve bağ kuvvetleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Dış düğüm olan 3 numaralı düğüm, 1* ile gösterilmiştir.



Şekil 2. Dış düğümlerdeki bağ kuvvetleri

Şekil 2'deki;

$F_X^{1*,1}$: 1 numaralı altsistemin 1* numaralı dış düğümün x yönündeki bağ kuvveti,

$F_Y^{1*,1}$: 1 numaralı altsistemin 1* numaralı dış düğümün y yönündeki bağ kuvveti,

$M^{1*,1}$: 1 numaralı altsistemin 1* numaralı dış düğümün x yönündeki bağ momentidir.

Herhangi bir altsistemin rijitlik matrisi önce iç düğümlerdeki deplasmanların numaralandığı düşünülürse;

$$\begin{bmatrix} [K_{ii}^j] & [K_{id}^j] \\ [K_{di}^j] & [K_{dd}^j] \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \{D_i^j\} \\ \{D_d^j\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{P_i^j\} \\ \{F_d^j\} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

olmaktadır.

(1) numaralı denklemde j altsistem numarası olmak kaydı ile;

- $[K_{ii}^j]$: Yalnızca iç düğümlerin deplasmanlarına ait olan rijitlik matrisi,
 $[K_{dd}^j]$: Yalnızca dış düğümlerin deplasmanlarına ait olan rijitlik matrisi,
 $[K_{id}^j]$, $[K_{di}^j]$: İç ve dış düğüm deplasmanlarının birbirine etkileşmelerine ait olan rijitlik matrisleri,
 $\{D_i^j\}$: İç düğümlerin bilinmeyen deplasmanlarını içeren vektör,
 $\{D_d^j\}$: Dış düğümlerin bilinmeyen deplasmanlarını içeren vektör,
 $\{P_i^j\}$: Ankastrilik uç reaksiyonlarından elde edilen iç düğümlerin eşdeğer yük vektörleri ile iç düğümlere etkileyen direkt yüklerin toplanması sonucu ortaya çıkan yükleri içeren vektör,
 $\{F_d^j\}$: Dış düğümlerdeki bağ kuvvetlerini içeren vektördür.
(1) numaralı denklemde gerekli işlemler yapılır ise;

$$\{D_i^j\} = [K_{ii}^j]^{-1} \cdot (\{P_i^j\} - [K_{di}^j] \cdot \{D_d^j\}) \quad (2)$$

$$[\bar{K}_i^j] \cdot \{D_d^j\} = \{\bar{P}_i^j\} \quad (3)$$

elde edilir. (3) numaralı denklemde görülen indirgenmiş altsistem rijitlik matrisi;

$$[\bar{K}_i^j] = [K_{dd}^j] - [K_{di}^j] \cdot [K_{ii}^j]^{-1} \cdot [K_{id}^j] \quad (4)$$

indirgenmiş altsistem yük vektörü ise;

$$\{\bar{P}_i^j\} = \{F_d^j\} - [K_{di}^j] \cdot [K_{ii}^j]^{-1} \cdot \{P_i^j\} \quad (5)$$

şeklinde dir.

Bu aşamadan sonra, her altsistem sanki sistemin birer elemanı gibi düşünülerek ve kodlama tekniği kullanılarak, sistem rijitlik denklemi oluşturulur. Sadece dış düğümlere bağlı olan sistem rijitlik denklemi genelleştirilmiş olarak;

$$\sum_{j=1}^n [\bar{K}_i^j] \cdot \sum_{j=1}^n \{D_d^j\} = \sum_{j=1}^n \{F_d^j\} + \sum_{j=1}^n \left([K_{di}^j] \cdot [K_{ii}^j]^{-1} \cdot \{P_i^j\} \right) \quad (6)$$

elde edilir. Buradaki denklemde n en son altsistem numarasıdır.

(6) numaralı denklemin boyutu sadece dış düğümlerdeki bilinmeyen deplasmanların toplamı kadar olacaktır.

(6) numaralı denklemde $\{F_d^j\}$, Şekil 2'ye dikkat edilir ise yalnız dış düğümlere etki eden direk yük vektörlerini ve ankastrilik uç reaksiyonlarından elde edilen dış düğümlerin eşdeğer yük vektörlerini içerir. Yani bağ kuvvetleri etki-tepki prensibi dolayısı ile birbirlerini götürecektir. Böylece kodlama tekniği kullanılarak;

$$\sum_{j=1}^n \{F_d^j\} = \{P_d\}_{\text{direkt}} \sum - \{f_d\} \quad (7)$$

olduğu görülmektedir. Burada;

$\{P_d\}_{\text{direkt}}$: Bütün sistemin dış düğümlerine etki eden direk yükleri içeren vektör,

$\sum - \{f_d\}$: Bütün sistemin ankastrelik uç reaksiyonlarından elde edilen eşdeğer yük vektörünün, sadece dış düğümler için kodlama metoduna göre elde edilen eşdeğer dış yük vektörüdür.

(6) numaralı denklem (7) numaralı denklem yardımı ile çözülecek olur ise dış düğümlerdeki bilinmeyen deplasmanlar bulunur. Bu işlem yapıldıktan sonra, (2) numaralı denklem yardımı ile her altsistem için iç düğümlerdeki bilinmeyen deplasmanlar da bulunur. Bütün bilinmeyen deplasmanlar hesap edildiğine göre, her eleman için eleman uç kuvvetleri hesap edilebilir.

İşlem Sırası

Düğümlerinden geçen teorik çizgilerle altsistemlere ayrılmış taşıyıcı bir sistemin çözümünde aşağıdaki adımlar izlenir.

Adım 1. Her altsistemde bulunan her eleman için $[k]_{xyz}$, müşterek eksenlerdeki eleman rijitlik matrisleri hesaplanır.

Adım 2. Her altsistemde bulunan elemanların üzerindeki dış yükler, ısı değişimleri, mesnet çökmeleri ve dönmelerinden dolayı meydana gelen $[f]_{xyz}$, müşterek eksenlerdeki ankastrelik uç reaksiyon vektörleri bulunur.

Adım 3. Her altsistem için altsistem rijitlik matrisinde edilir ve (1) numaralı denklemde görüleceği gibi ayrılır. Ayrıca her altsistem için eşdeğer yük vektörü elde edilir ve bu vektörde iç ve dış düğümlerin eşdeğer yük vektörleri olmak üzere ayrılır.

Adım 4. (4) ve (5) numaralı denklemler yardımı ile indirgenmiş altsistem rijitlik matrisi ve bağ kuvvetleri hariç olmak üzere indirgenmiş altsistem yük vektörü hesaplanır. Daha önce de anlatıldığı üzere bağ kuvvetleri birbirlerini götürecektir.

Adım 5. Adım 4'de bulunan değerler (7) numaralı denklem yardımı ile (6) numaralı denklem biçiminde elde edilir. Bu denklem çözülerek dış düğüm noktalarına ait deplasman vektörü hesaplanır.

Adım 6. Her altsistem için (2) numaralı denklemde altsistem dış düğüm noktalarına ait deplasmanlar vektörü yerine konular ise, iç düğümlerin bilinmeyen deplasmanlarını içeren vektörler elde edilir.

Adım 7. Her eleman için bulunan iç ve dış deplasman vektörleri eleman deplasman vektörlerine dönüştürülür ve eleman rijitlik denklemini çözülerek eleman uç kuvvetleri bulunur.

3. YAPI SİSTEMLERİNİN TASARIM DEĞİŞİKLİĞİ İLE YENİDEN ANALİZİ

Bir taşıyıcı sistemin analizinden sonra, bazı elemanların uç kuvvetlerinin belirli bir değere getirilmesi istenebilir. Bu durumda bu elemanların kesitlerinin, uç kuvvetlerinin istenilen değere ulaşılan kadar değiştirilmeleri gerekmektedir. Taşıyıcı sistemin mesnetlerinin bir veya birkaçında tereddüt olduğu taktirde, örneğin ankastre mesnetin mafsallı sabit mesnete dönüştürülmesi halinde, sistemin bir defa daha analizini yapmak gerekmektedir. İşte bahsedilen bu tasarım değişiklikleri sonucunda ilk çözümden yararlanarak sistemin yeniden analizinin yapılması, tüm sistemin baştan analizinin yapılmasına göre daha hızlı olmaktadır.

Bu iki çeşit tasarım değişikliği sonucu yapı sistemlerinin yeniden analizi çözüm sistemindeki farklılıklar nedeni ile ayrı bölümlerde anlatılmıştır.

3.1. Yapı Sistemlerindeki Elemanların Kesitlerinin Değiştirilmesi ile Yeniden Analizi

Bundan sonra ilk analizi yapılmış olan sisteme, orijinal sistem denilecektir.

Kesitleri değiştirilecek olan elemanların üzerindeki yüklerden dolayı düğümlerde elde edilecek olan ankastrelik uç reaksiyonlar, elemanın en kesitine veya atalet momentlerine bağlı olmamalıdır. Örneğin, elemanlardaki ısı değişimi veya düğümlerinin çökme ve dönmesi halinde ankastrelik uç reaksiyonlar EA veya EI'ya bağlı olmaktadır. Bu durumda elemanların kesitlerinin değiştirilmesi ile yeniden analiz yöntemi uygulanamamaktadır.

Ayrıca elemanların kesitlerinin değiştirilmesi sonucu ortaya çıkan eleman ağırlıklarının değişiminden dolayı düğümlerde elde edilecek olan ankastrelik uç reaksiyonların değişiminin ihmal edilebilir olduğu kabul edilecektir.

Bu kabullerin amacı bölüm içerisinde de görülebileceği gibi orijinal sistem yük vektörünün değişmediği kabulüne dayanmaktadır.

(8) numaralı denklemde orijinal sistemin rijitlik denklemi verilmiştir.

$$[K_o] \cdot \{D_o\} = \{P_o\} \quad (8)$$

Yukarıdaki kabuller ışığında sistemdeki bazı elemanların kesitlerinin değiştirilmesi nedeni ile sistem rijitlik denklemi;

$$\{D_d\} = \left[[K_o] + [\Delta K] \right]^{-1} \cdot \{P_o\} \quad (9)$$

haline gelmiştir. Burada;

$\{D_d\}$: Yeni bilinmeyen deplasmanlar vektörünü,

$[K_o]$: Orijinal sistem rijitlik matrisini,

$\{P_o\}$: Orijinal sistem yük vektörünü,

$[\Delta K]$: Elemanların kesitlerinin değişmesi nedeni ile bulunan yeni sistem rijitlik matrisi ile orijinal sistem rijitlik matrisi arasındaki fark matrisini göstermektedir.

(9) numaralı denklem $[I]$, birim matris olmak kaydı ile aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

$$\begin{Bmatrix} \{D_d\}_c \\ \{D_d\}_u \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [I] & [0] \\ [0] & [I] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} [K_o]_{cc}^{-1} & [K_o]_{cu}^{-1} \\ [K_o]_{uc}^{-1} & [K_o]_{uu}^{-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} [\Delta K]_{cc} & [0] \\ [0] & [0] \end{bmatrix} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{Bmatrix} \{D_o\}_c \\ \{D_o\}_u \end{Bmatrix} \quad (10)$$

Burada;

$[[K_o]^{-1}]_{cc}$: Orijinal sistem rijitlik matrisinin tersinin, kesitleri değiştirilecek elemanların düğümlerindeki deplasmanlara ait olan matrisi

$[[K_o]^{-1}]_{uu}$: Orijinal sistem rijitlik matrisinin tersinin, kesitleri değiştirilecek elemanların düğümlerindeki deplasmanların dışında kalan deplasmanlara ait olan matrisi göstermektedir.

(10) numaralı denklemde gerekli işlemler yapıldığı takdirde aşağıdaki denklemler gibi yazılabilir.

$$\{D_d\}_c = \left[[I] + [[K_o]^{-1}]_{cc} [\Delta K]_{cc} \right]^{-1} \cdot \{D_o\}_c \quad (11)$$

$$\{D_d\}_u = \{D_o\}_u - [[K_o]^{-1}]_{uc} [\Delta K]_{cc} \{D_d\}_c \quad (12)$$

Elemanların kesitlerinin değiştirilmesinden sonraki sistemin bütün deplasmanları bulunduğu göre, her elemanın uç kuvvetleri bulunabilir.

İşlem Sırası

Adım 1. Orijinal sistemin, sistem rijitlik matrisinin tersi alınarak ve kodlama metodu gibi bir teknik kullanılarak, $[[K_o]^{-1}]_{cc}$ ve $[[K_o]^{-1}]_{uu}$ matrisleri elde edilir.

Adım 2. Kesitleri değiştirilmiş elemanların, modifikasyon sonucunda eleman eksenlerinde eleman rijitlik matrisleri elde edilir. Bu bulunan matrislerden kesitleri değiştirilmiş elemanların, eleman eksenlerinde orijinal eleman rijitlik matrisleri çıkartılır ve transformasyon matrisleri kullanılarak, bu fark matrisleri müşterek eksenlere dönüştürülür.

Adım 3. Kodlama metodu gibi bir teknikten yararlanarak Adım 2'de hesap edilen matrislerden, $[K]$ matrisi elde edilir.

Adım 4. Orijinal sistemin deplasman vektöründen $\{D_o\}_c$ ve $\{D_o\}_u$ çekilir. Adım 4'de

bulunan matris (11) numaralı denklemde yerine konulur ise, $\{D_d\}_c$ bulunur ve bu bulunan vektör de (12) numaralı denklemde yerine konulur ise, $\{D_d\}_u$ elde edilir.

Adım 5. Modifiye edilmiş sistemin bütün deplasmanları bilindiğine göre, her elemanın uç kuvvetleri eleman rijitlik denklemi yardımı ile hesaplanır.

3.2. Yapı Sistemlerindeki Mesnetlerin Modifikasyonu ile Yeniden Analizi

Yapı sistemlerindeki mesnetlerin modifikasyonu ile yeniden analizinde, mesnetlerin gevşetilmesi kabulü yapılmaktadır. Örneğin, ankastre mesnetler, mafsallı sabit mesnetlere dönüştürülebilir.

(8) numaralı denklemde orijinal sistemin rijitlik denklemi verilmişti. Yukarıdaki kabul ışığında, mesnetlerin modifikasyonu sonucu oluşan yeni sistemin rijitlik denklemi;

$$\begin{Bmatrix} \{P_u\} \\ \{P_c\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [K_{uu}] & [K_{ud}] \\ [K_{cu}] & [K_{cd}] \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \{D_u\} \\ \{D_c\} \end{Bmatrix} \quad (13)$$

olmaktadır. Burada;

$$\{P_u\} = \{P_o\} \text{ ve } [K_{uu}] = [K_o],$$

$\{D_c\}$: Mesnet modifikasyonu sonucunda serbest bırakılmış bilinmeyen deplasmanlar vektörü,

$\{P_c\}$: Mesnet modifikasyonu sonucunda serbest bırakılmış deplasmanların yük vektörü,

$[K_{cc}]$: Mesnet modifikasyonu sonucunda serbest bırakılmış deplasmanların rijitlik matrisi,

$\{D_u\}$: Mesnet modifikasyonu sonucunda yeni sistemin, $\{D_c\}$ vektörü dışında kalan deplasman vektörüdür.

(13) numaralı denklemde gerekli işlemler yapılır ise;

$$\{D_u\} = [K_o]^{-1} \cdot \left(\{P_o\} - [K_{ud}] \cdot \{D_c\} \right) \quad (14)$$

$$\{D_c\} = \left[[K_{cd}] - [K_{cu}] \cdot [K_o]^{-1} \cdot [K_{ud}] \right]^{-1} \cdot \left(\{P_c\} - [K_{cu}] \cdot [K_o]^{-1} \cdot \{P_o\} \right) \quad (15)$$

elde edilir.

Dikkat edilir ise, daha önce anlatılan düğümlerinden keserek altsistemlere ayırma metodu ile mesnetlerin modifikasyonu ile yeniden analizi aynı metodlardır. Yalnız dış düğümler diye tanımlanan düğümler yerine, mesnet gevşetmesinden dolayı ortaya çıkan deplasmanlar yer almaktadır.

İşlem Sırası

Yapı sistemlerindeki mesnetlerin modifikasyonu ile yeniden analizinde aşağıdaki adımlar izlenir.

Adım 1. Orijinal sistemin rijitlik matrisinin tersi alınır.

Adım 2. Mesnet modifikasyonu sonucunda ortaya çıkan $\{P_c\}$, $[K_{cc}]$, $[K_{cu}]$ ve $[K_{uc}]$ vektör ve matrisleri elde edilir.

Adım 3. Adım 1 ve Adım 2'de bulunan vektör ve matrisler ile orijinal sistemdeki $\{P_o\}$ vektörü (15) numaralı denklemde yerlerine konularak, $\{D_c\}$ vektörü hesap edilir. Bu vektör ve matrisler aynı şekilde (14) numaralı denklemde yerlerine konular ve çözümler ise $\{D_u\}$ vektörü bulunur.

Adım 4. Yeni sistemdeki bütün deplasmanlar bulunduğuna göre her elemanın uç kuvvetleri hesaplanır.

4. BİLGİSAYAR PROGRAMLARI

Bu çalışmada, daha önceki bölümlerde anlatılan temel formülasyon ve yöntemler kullanılarak, yapı sistemlerinin üç boyutlu analizini yapabilen iki adet bilgisayar programı hazırlanmıştır.

Hazırlanan ilk bilgisayar programı, yapı sistemlerinin düğümlerinden kesilerek altsistemlere ayırma metodu ile üç boyutlu statik analizini yapabilen bir bilgisayar programıdır (ALTSIS). Bu program, ikinci program ile yeniden analiz yapılabilmesi için analiz sırasında dokuz adet dosya hazırlamaktadır.

Hazırlanan ikinci bilgisayar programı (REDESIGN) ise, birinci bilgisayar programında elde edilen bilgileri kullanarak, yapı sistemlerinin tasarım değişikliği ile üç boyutlu yeniden statik analizini yapabilen bir bilgisayar programıdır.

Her iki bilgisayar programı da FORTRAN77^(R) dili kullanılarak yazılmıştır. Programlar girdi dosyası ile çalışmaktadır. Birinci program, kolaylık olması ve uzun dosya hazırlanıp zaman kaybı olmaması için çeşitli data türetme imkanlarına sahiptir. İkinci program için, fazla mesnet ve/veya eleman modifikasyonu yapılmayacağı düşünüldüğü için türetmeler konulmamıştır.

Girdi dosyalarının hazırlanmasında hata yapıldığı takdirde programların çalışması kesilmekte ve hatanın ne olduğu kullanıcıya bildirilmektedir. Düğüm noktalarının kodlamasını programlar kendi içerisinde yapmaktadır. Ayrıca birinci program, elemanların üzerindeki üniform yayılı yük ve tekil yükler dolayısı ile oluşacak ankastrelik uç reaksiyonlarını kendi içerisinde hesaplamaktadır.

5. ÖRNEK PROBLEMLER

5.1. Örnek 1

Şekil 3'de verilen sistemin kirişlerinin üzerinde 1.5 t/m üniform yayılı yük bulunmakta ve şekilde görülen geometriye ve yüklenme şekline sahiptir.

Kirşilerin özellikleri,

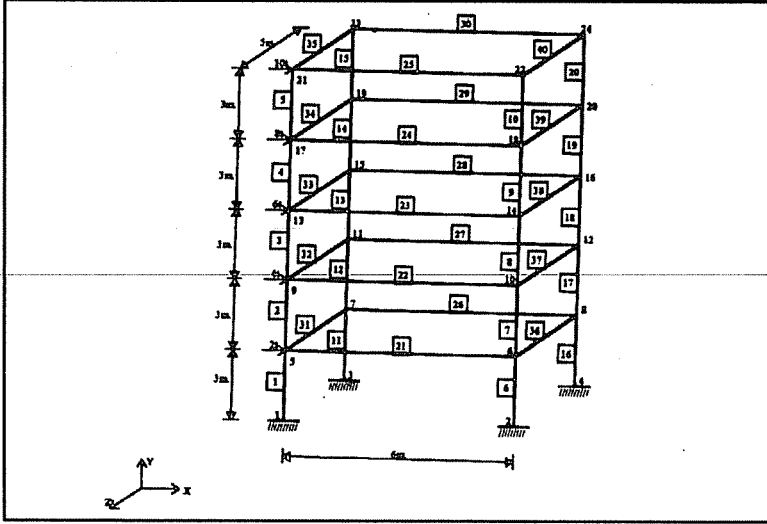
$$A=0.18 \text{ m}^2 \quad J=0.0037692 \text{ m}^4 \quad I_{33}=0.0054 \text{ m}^4 \quad I_{22}=0.00135 \text{ m}^4$$

kolonların özellikleri ise,

$$A=0.16 \text{ m}^2 \quad J=0.0036096 \text{ m}^4 \quad I_{33}=I_{22}=0.002133 \text{ m}^4 \text{ olarak verilmiştir.}$$

Bütün elemanlar aynı malzemeden yapılmış olup,

$$E=2.1E7 \text{ t/m}^2 \quad G=8076923.077 \text{ t/m}^2 \text{ olarak verilmiştir.}$$

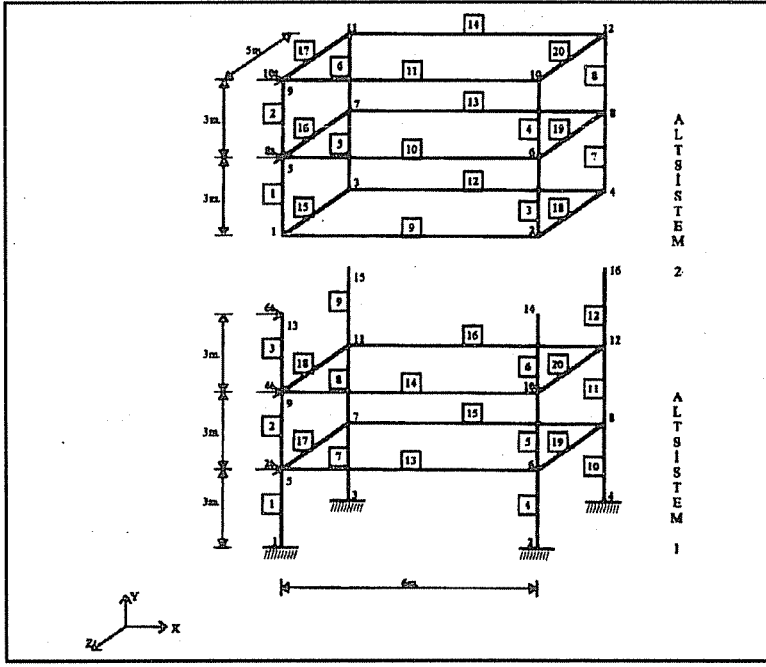


Şekil 3. 1 numaralı örnek sistem

Şekil 4'de altsistemlere bölünmüş sistem görülmektedir. SAP80^(R) (8) ve ALTSIS programları ile analizi yapılan sistemin bazı düğüm noktalarının deplasmanları Tablo 1'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. Örnek 1'e ait bazı deplasmanların karşılaştırılması

Düğüm No	U(X) (m)		U(Y) (m)	
	ALTSIS	SAP80 ^(R)	ALTSIS	SAP80 ^(R)
5	0.9243E-03	0.9243E-03	-.1678E-04	-.1678E-04
6	0.9237E-03	0.9237E-03	-.5688E-04	-.5688E-04
9	0.2182E-02	0.2182E-02	-.3171E-04	-.3171E-04
10	0.2179E-02	0.2179E-02	-.1009E-03	-.1009E-03
13	0.3309E-02	0.3309E-02	-.4477E-04	-.4477E-04
14	0.3304E-02	0.3304E-02	-.1320E-03	-.1320E-03
17	0.4175E-02	0.4175E-02	-.5500E-04	-.5500E-04



Şekil 4. Altsistemlere ayrılmış 1 numaralı örnek sistem

5.2. Örnek 2

Şekil 4'de görülen 1 numaralı altsistemdeki 13 ve 14 numaralı kiriş elemanlarında meydana gelen eğilme momentlerinin herhangi bir nedenden dolayı azaltılması istenmektedir. Bu sebepten dolayı 13 ve 14 numaralı kiriş elemanlarının kesit özellikleri değiştirilerek azaltma işlemi gerçekleştirilebilir. Bu örnekte REDESIGN programı kullanılarak, sistemin analizi yeniden yapılmıştır. Bu azaltma işlemi gerçekleştirmek için seçilen yeni kesit özellikleri aşağıda görüldüğü gibi seçilmiştir.

$$A=0.10 \text{ m}^2 \quad J=0.0010084 \text{ m}^4 \quad I_{33}=0.0020833 \text{ m}^4 \quad I_{22}=0.0003333 \text{ m}^4$$

Yapılan bu değişiklikler ile REDESIGN programı kullanılarak problem çözülmüştür. 13 ve 14 numaralı kiriş elemanlarının eski (Örnek 1'de elde edilen) ve yeni (Örnek 2'de elde edilen) uç kuvvetleri (eksenel kuvvet ile 1-2 düzleminde kesme kuvveti ve eğilme momenti) Tablo 2'de görülmektedir.

6. SONUÇLAR

Şekil 3'de görülen sistemin üç boyutlu statik analizi ALTSIS ve SAP80^(R) programları ile yapılmıştır. ALTSIS programı ile tüm sistem iki altsisteme ayrılarak analizi yapılmıştır. SAP80^(R) programıyla ise tüm sistem tek parça olarak analizi yapılmış olup, sonuçların karşılaştırılması Tablo 1'de görülmektedir. Tablodan da görüldüğü üzere her iki program ile elde edilen sonuçlar üst üste çakışmaktadır.

Tablo 2. 13 ve 14 numaralı elemanların bazı uç kuvvetlerinin karşılaştırılması

Eleman No		Eksenel Kuvvet (t)		1-2 Düzlemi			
				Kesme Kuvveti (t)		Moment (tm)	
		Örnek 1	Örnek 3	Örnek1	Örnek3	Örnek 1	Örnek 3
13	5	-0.42	-0.36	-4.59	-2.13	-23.72	-15.83
	6	-0.42	-0.36	-13.59	-11.13	-30.83	-23.98
14	9	-2.09	-2.17	-4.48	-2.12	-23.19	-15.68
	10	-2.09	-2.17	-13.48	-11.12	-30.67	-24.02

Buradan da ALTSIS programının, uzay çubuk elemanlarının oluşturduğu yapıların üç boyutlu statik analizinde güvenle kullanılabilceği sonucu ortaya çıkmaktadır.

2 numaralı örnekte, Örnek 1'de verilen sistemin 1 numaralı altsistemin 13 ve 14 numaralı elemanlarının kesit özellikleri değiştirilerek yeniden analizi REDESIGN programı ile yapılmıştır. Bu program kullanılarak tüm sistem tekrardan çözülmeyip, sadece yapılan değişikliklerin yer aldığı girdi dosyası ve ALTSIS programının oluşturduğu çıktı dosyaları kullanılarak yeniden analizi kolayca yapılmaktadır.

7. KAYNAKLAR

1. Clough,R.W., King,I.P. ve Wilson,E.L., *Structural Analysis of Multistory Buildings, Journal of Struc. Div., ASCE, Vol. 90, No. ST3, pp. 19-34, 1964.*
2. Ghali,A. ve Neville,A.M., *Structural Analysis, Bizim Büro Basımevi, Ankara, 1984.*
3. Dündar,C., Kırıl,E. ve Mengi,Y., *Yapı Mekaniğinde Bilgisayar Programları, Teknik Yayınevi, Ankara, 1986.*
4. Wilson,E.L., Dovey,H.H. ve Hollings,J.P., *Three Dimensional Analysis of Building Systems (Extended Version), Report to the National Science Foundation, Berkeley, California, 1975.*
5. Wilson,E.L., Dovey,H.H. ve Hollings,J.P., *SUPER-ETABS An Enhanced Version of the ETABS Program, Report to the National Science Foundation, Berkeley, California, 1985.*
6. Armenakas,A.E., *Modern Structural Analysis, McGraw-Hill, Inc., Singapore, 1991.*
7. TEZCAN, S., *Çubuk Sistemlerin Elektronik Hesap Makinaları ile Çözümü, Arı Kitabevi Matbaası, Ankara, 1970.*
8. Wilson,E.L. ve Habibullah,A., *SAP80-Structural Analysis Programs, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, 1984.*

A COMPARATIVE STUDY OF THE CONTACT PROBLEM FOR AN ELASTIC LAYER SUPPORTED BY TWO ELASTIC QUARTER PLANES

Orhan AKSOĞAN and Seren AKAVCI

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

Adib A. BECKER

University of Nottingham, Department of Mechanical Engineering / Nottingham

ABSTRACT : *This paper compares the results found by three different methods for the two-dimensional elasticity problem (plane strain and plane stress of an elastic layer which is supported by two elastic quarter planes. It will be assumed that the contact between the layer and the supports is frictionless and only compressive normal tractions can be transmitted along the contact area. This problem is obviously a receding contact problem in which the size of the contact area is finite and unknown. The problem described having been solved previously by Erdoğan and Ratwani (1) using integral transform and singular integral equation techniques, two other methods, namely the finite element and boundary element methods, have been used in the present study to solve the same problem. The results of the three methods have been found to agree perfectly.*

İKİ ELASTİK ÇEYREK DÜZLEM ÜZERİNDEKİ ELASTİK BİR TABAKANIN TEMAS PROBLEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

ÖZET : *Bu makale, iki çeyrek düzlem üzerindeki elastik bir tabakanın iki boyutlu elastisite probleminin (düzlemsel gerilme ve düzlemsel şekil değiştirme) üç değişik yöntemle bulunan sonuçlarını karşılaştırmaktadır. Tabaka ile çeyrek düzlemler arası*

* This work has been supported by NATO under Grant CRG.950184 and by the Çukurova University Research Fund under Grant ULS.MMF.95.E.1

temas sürtünmesiz kabul edilip temas bölgesinde yalnız normal basınç gerilmelerinin olduğu düşünülmektedir. Bu problem, görüldüğü gibi, temas bölgesinin sonlu ve bilinmeyen olduğu bir ayrılmalı temas problemidir. Tarif edilen problem Erdoğan ve Ratwani (1) tarafından daha önce integral dönüşüm ve tekil integral denklem teknikleri kullanılarak çözülmüş olduğundan, bu çalışmada aynı problem başka iki yöntemle, yani sonlu elemanlar ve sınır elemanları yöntemleriyle de çözülmüştür. Üç yöntemin sonuçlarının çok iyi uyum gösterdiği görülmüştür.

1. INTRODUCTION

During the last two decades a host of contact problems have been considered by many investigators using a variety of techniques. Among the more notable ones are the Mellin and Fourier transforms formulation used to reduce the mixed boundary value problem to a singular integral equation with the contact stress as the unknown function (1), the Mellin transform and the Green's function technique to analyze the problem (2) and the use of the Burgers vector for the dislocations along the contact region to obtain the singular integral equations of the first kind with Cauchy kernels (3).

In the foregoing studies the resulting singular integral equations are solved by a well known numerical method (4-6). This method comprises the use of Gauss-Chebyshev and Gauss-Jacobi quadrature formulas for the discretization of the systems of singular integral equations which arise from the formulation of a group of mixed boundary value problems in applied physics and engineering. This numerical method has been employed for solving a host of contact problems. Other numerical techniques like finite element and boundary element methods have later been used for research and commercial purposes for solving similar type of problems (7-8).

2. SOLUTION BY INTEGRAL TRANSFORM

Starting with the basic equations of elastostatics in polar coordinates for the quarter planes and in two dimensional cartesian coordinates for the elastic layer and applying the suitable integral transform in each case, the boundary value problem considered has been set in the transform domain. Then with the use of the corresponding inverse transforms, the final equation for the solution of the problem considered is found in the physical space in the form of a singular integral equation with the normal stress in the contact region as the unknown function.

For the elastic layer, with the boundary conditions;

$$\begin{aligned}\sigma_{1y}(x,0) &= -p_1(x), & \tau_{1xy}(x,0) &= 0 & (A < x < A + 2b) \\ \sigma_{1y}(x,-h) &= -p_2(x), & \tau_{2xy}(x,-h) &= 0 & (0 \leq x < a)\end{aligned}\quad (1)$$

the derivative of the displacement on the boundary is found as (1)

$$\frac{\partial}{\partial x} v_1(x,0) = \frac{1+\kappa_1}{4\pi\mu_1} \left\{ \int_A^{A+2b} \left[\frac{1}{t+x} - \frac{1}{t-x} + k_{21}(x,t) \right] p_1(t) dt - \int_0^a k_{22}(x,t) p_2(t) dt \right\} \quad (0 \leq x < \infty) \quad (2)$$

in which

$$k_{21}(x,t) = 2 \int_0^\infty \frac{(1 + 2\alpha h + 2\alpha^2 h^2 - e^{-2\alpha h}) e^{-2\alpha h}}{1 - 2e^{-2\alpha h} + e^{-4\alpha h} - 4\alpha^2 h^2 e^{-2\alpha h}} [\sin\alpha(x+t) - \sin\alpha(t-x)] d\alpha \quad (3)$$

$$k_{22}(x,t) = 2 \int_0^\infty \frac{(1 + \alpha h - e^{-2\alpha h} + \alpha h e^{-2\alpha h}) e^{-\alpha h}}{1 - 2e^{-2\alpha h} + e^{-4\alpha h} - 4\alpha^2 h^2 e^{-2\alpha h}} [\sin\alpha(x+t) - \sin\alpha(t-x)] d\alpha$$

where;

μ : shear modulus

ν : Poisson's ratio

$\kappa = 3-4\nu$ for plane strain and $(3-\nu)/(1+\nu)$ for plane stress.

For the quarter planes, the stress boundary conditions in polar coordinates are,

$$\begin{aligned} \sigma_{2\theta}(r,0) = g(r) \quad (0 < r < 2b), \quad \tau_{2r\theta}(r,0) = 0 \quad (0 < r < \infty) \\ \sigma_{2\theta}(r, \pi/2) = 0, \quad \tau_{2r\theta}(r, \pi/2) = 0 \quad (0 < r < \infty) \end{aligned} \quad (4)$$

and the displacement derivative on the boundary $\theta=0$ is given by

$$\frac{4\mu_2}{1+\kappa_2} \frac{\partial}{\partial r} u_{2\theta}(r,0) = -\frac{1}{\pi} \int_0^{2b} k(r,\tau) g(\tau) d\tau \quad (5)$$

where

$$k(r,\tau) = \frac{1}{r \log(\tau/r)} + \int_0^\infty \left(\frac{\sinh\pi y}{\cosh\pi y - 1 - 2y^2} - 1 \right) \frac{\sin[\log(\tau/r)y]}{r} dy - \frac{2}{r(1-4/\pi^2)} \quad (6)$$

For $r > 0$, $\tau > 0$, $k(r, \tau)$ has a Cauchy-type singularity which may be seen observing that

$$\frac{1}{r \log(\tau/r)} = \frac{1}{r \left(\frac{\tau}{r} - 1\right)} \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n+1} \left(\frac{\tau}{r} - 1\right)^n \right]^{-1} = \frac{1}{\tau - r} \left[1 + 0 \left(\frac{\tau}{r} - 1\right) \right] \quad (7)$$

Relating the polar and rectangular coordinates by

$$r = x - A \quad \tau = t - A \quad u_{2\theta}(r, 0) = v_2(x, 0) \quad (8)$$

the contact conditions can be given as

$$\frac{\partial}{\partial x} v_1(x, 0) = \frac{\partial}{\partial x} v_2(x, 0) \quad g(r) = -p_2(x) \quad (A < x < A+2b) \quad (9)$$

After some rearrangements and analytic work we obtain

$$\int_A^{A+2b} \left\{ \frac{1-\gamma}{1+\gamma} \left[\frac{1}{t+x} - \frac{1}{t-x} + k_{21}(x, t) \right] - k_1(x, t) \right\} p_2(t) dt = \frac{1-\gamma}{1+\gamma} \int_0^a k_{22}(x, t) p_1(t) dt \quad (A < x < A+2b) \quad (10)$$

where

$$k_1(x, t) = k(x - A, t - A) \quad (11)$$

$$\gamma = \frac{(1 + \kappa_2)\mu_1 - (1 + \kappa_1)\mu_2}{(1 + \kappa_2)\mu_1 + (1 + \kappa_1)\mu_2}$$

For Eq.(8) the number of side conditions depends on the number of separate sections of contact regions. The reason for this is because equilibrium of the elastic layer giving one side condition, every section between two regions of contact have to give a total of zero normal opening displacement, each of which is equivalent to an additional side condition. The singular integral equation with the respective side conditions have been solved by the numerical method given by Erdogan (4) and others (5-6).

In the numerical solution mentioned in the previous paragraph the power of the singularity at the corner of the quarter plane is found by a special equation but the power of the singularity at the receding contact points are all +0.5.

3. SOLUTION BY FINITE ELEMENT METHOD

The solution of the problem in hand is also found by means of a commercial finite element software called PAFEC. This software has originated from Nottingham University and has later been improved and developed extensively by a commercial firm by the name of the software (7). This software has a special way of handling

singularities at crack tips and corners of elastic regions. The midside nodes of isoparametric elements are brought to quarter points nearer to the nodes with square root singularity. This supplies the square root singularity at the pertinent nodes.

4. SOLUTION BY BOUNDARY ELEMENT METHOD

The problem considered in this paper has also been solved by employing the boundary element method. For this purpose a software program called BEACON, developed by the second author, has been employed. This program also handles the square root singularities by quarter point nodes. The program has a graphical part for drawing stress and displacement distributions and is written in FORTRAN77. It takes care of the determination of the length of contact region by a built-in loop which provides final solutions without any tension in the contact region or overlap ahead of the end of the contact region where receding or progressing takes place.

5. NUMERICAL RESULTS AND DISCUSSION

The entity of primary interest in the problem in hand being the stress distribution in the contact region, the comparison of the three methods of solution was carried out for this quantity. The two cases that are handled are picked up from reference (1). They are characterized by the geometry seen in Fig. 1, where $h=a=A$ and $\gamma = -0.98$ and $\gamma = -0.75$ in Figs. 2-3, respectively, where

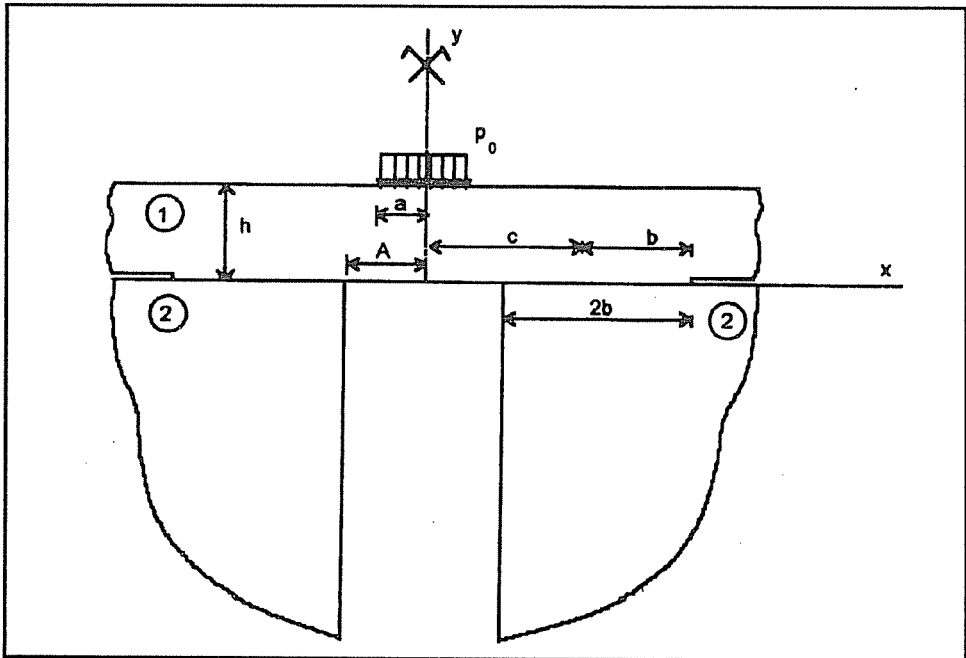


Fig. 1 The Setting of the Problem

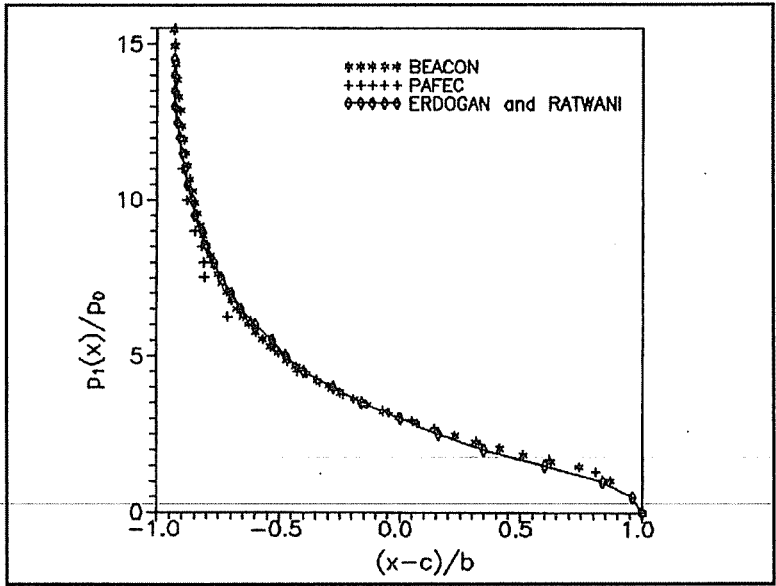


Fig. 2 Distribution of Contact Pressure for Uniformly Applied External Pressure p_0 ($h=a=A$, $\gamma = -0.98$)

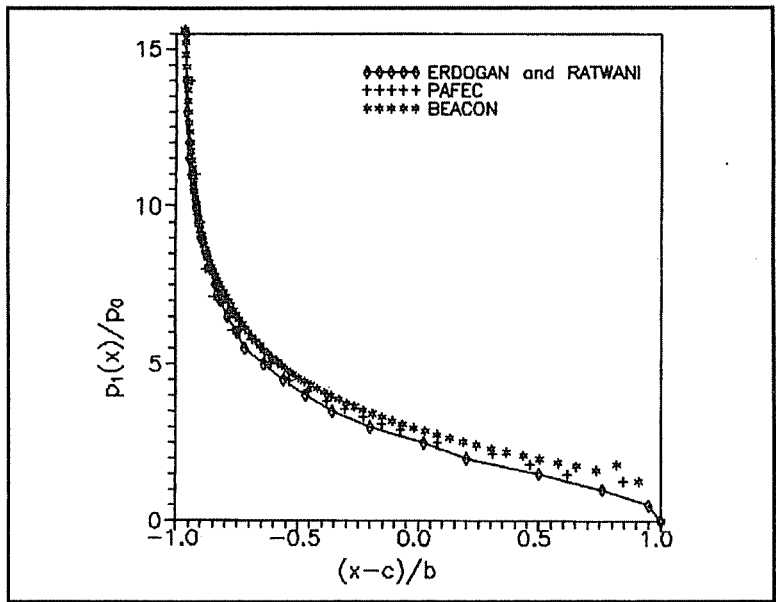


Fig. 3 Distribution of Contact Pressure for Uniformly Applied External Pressure p_0 ($h=a=A$, $\gamma = -0.98$)

$$\alpha = \frac{\mu_2(\kappa_1 + 1) - \mu_1(\kappa_2 + 1)}{\mu_2(\kappa_1 + 1) + \mu_1(\kappa_2 + 1)}$$

in which for plane strain

$$\kappa = 3 - 4\nu$$

and μ and ν are the shear modulus and Poisson's ratio, respectively.

As it can be seen from Figs. 2-3 the results found by the three different methods match perfectly. This same procedure is going to be used in a future work to compare similar results for crack-contact problems.

6. REFERENCES

1. Erdogan, F. and Ratwani, M., *The Contact Problem for an Elastic Layer Supported by Two Elastic Quarter Planes*, ASME J. Appl. Mech., Vol. 41, pp. 673-678, 1974.
2. Aksoğan, O., *Nonhomogeneous Nonsymmetrical Plane Problem with Several Griffith Cracks One or Two Partially Closed*, Int. J. Fracture, Vol. 12, pp. 223-230, 1976.
3. Comninou, M. and Schmueser, D., *The Interface Crack in a Combined Tension-Compression and Shear Field*, ASME J. Appl. Mech., Vol. 46, pp. 345-348, 1979.
4. Erdogan, F., *Approximate Solutions of Systems of Singular Integral Equations*, SIAM J. Appl. Math., Vol. 17, pp. 1041-1059, 1969.
5. Krenk, S., *On the Use of the Interpolation Polynomial for Solution of Singular Integral Equations*, Quart. Appl. Math., Vol. 32, pp. 479-484, 1975.
6. Aksoğan, O., *Numerical Solutions for a Class of Multi-Part Mixed Boundary Value Problems*, Int. J. Num. Meth. Engng., Vol. 12, pp. 1025-1030, 1978.
7. PAFEC 75 Data Preparation Manual, Pafec Ltd., Nottingham, 1978.
8. Becker, A.A., *A Boundary Element Computer Program for Practical Contact Problems*, Modern Practice in Stress and Vibrational Analysis, J. E. Mottershead, ed., Pergamon Press, Oxford, 1989.



**BAĞLANTILARI YARI RİJİT VE NONLİNEER DAVRANAN ÜÇ BOYUTLU
ÇERÇEVELERİN İNCELENMESİ****Hakan ERDEM ve Orhan AKSOĞAN**

Ç. Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

Konca HÜSEYİN

Doğu Akdeniz Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gazi Mağusa/ KKTC

ÖZET : Çerçeve analizi ve dizaynında mafsal yada rijit bağlantı kabulü yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ancak pratikte kullanılan bağlantı modellerinin, bu iki bağlantı tipi arasında değişen nonlineer davranış gösterdikleri deneysel çalışmalar ile görülmüştür. Bu nedenle bağlantı davranışının etkisini hesaplarda gözönüne almak gerekmektedir. Bu çalışmada, çubukları uçlarında asal eksenleri doğrultusunda sonsuz küçük uzunlukta dönel yaylara sahip, üç boyutlu çerçevelerin birinci mertbe analizi yapılacaktır.

**ON THE ANALYSIS OF THREE DIMENSIONAL FRAMES WITH FLEXIBLE
NONLINEAR CONNECTIONS**

ABSTRACT : In the analysis and design of frames the assumptions of pin and rigid connections are widely used. However, it has been observed by means of experimental studies that, connection models used in practice exhibit a nonlinear behavior which varies between these two extreme connection types. For this reason the effect of connection behavior must be taken into consideration in computations. In this study, a first order analysis will be carried out for three dimensional frames which have members with rotational end springs of negligible lengths in the directions of their principal axes.

1. GİRİŞ

Genellikle yapı analizlerinde bağlantıların mafsallı veya rijit oldukları kabul edilmektedir. Ancak bağlantıların rijitlikleri, kullanılan bağlantı tipine ve bağlantı malzemesinin özelliklerine göre değişmektedir. Bağlantıların $M-\theta_r$ ilişkisi incelendiğinde nonlinear davrandıkları görülmektedir. Bu nonlinear davranışın sebebi çelik yapılarda bağlantılardaki yerel burkulmalar, prefabrik yapılarda ise ezilmelerle beton kesitinin azalmasıdır. Bu nonlinear davranıştan dolayı bağlantıların rijitlikleri de sabit bir değer olmamakta ve bağlantıya gelen momentin artmasıyla değişmektedir.

Rijitliklerin her aşamada değişmesi, sisteme etki eden kuvvetler altında düğümlerin yaptığı deplasmanları da etkilemektedir. Bu nedenle, bağlantıların rijitliklerinin etkisinin hesaplarda gözönüne alınması hesapların doğruluğu bakımından gerekli olmaktadır.

Monforton ve Wu (1), yarı rijit bağlantılı üç boyutlu çerçevelerin analizini, bağlantı etkilerini düzeltmek için düzeltme matrislerini kullanarak, yapmışlardır. Yazarlar bağlantıların rijitliklerini boyutsuz rijitlik faktörleri ile tanımlamışlardır. Livesley (2), yarı rijit bağlantılı üç boyutlu çerçevelerin rijitlik matrislerinin hesaplanması için denge matrisini önermiştir. Chen ve Lui (4), çelik çerçevelerin davranışı üzerinde düğüm esnekliğinin etkisini araştırmışlardır. Shi ve Atluri (5), nonlinear esnek bağlantılı üç boyutlu çerçevelerin statik ve dinamik davranışını incelemişlerdir. Yazarlar bağlantı davranışını Ramberg-Osgood fonksiyonunu kullanarak tanımlamışlardır. Almusallam ve Richard (6), şekil değiştirme yumuşaması gösteren bağlantılara sahip düzlemsel çelik çerçeveleri incelemişlerdir. Erdem ve Aksoğan (7), uçlarında rijit bölgeler bulunan nonlinear yarı-rijit bağlı düzlemsel çerçeveleri incelemişlerdir.

Burada Erdem ve Aksoğan (4)'ün daha önce düzlemsel çerçeveler için yaptıkları analiz, uçlarında üç dönme ve üç ötelenme bulunan, toplam on iki deplasmana sahip, çubuklarının uçlarında nonlinear davranan dönel yaylar bulunan üç boyutlu çerçeveler için yapılacaktır.

2. YARI RİJİT BAĞLANTI MODELLERİ

Literatürde bağlantılar dönel yaylar kullanılarak modellenmekte ve bağlantı rijitlikleri de bağlantıya etkiyen moment ve bağlı dönme arasındaki ilişkiden elde edilmektedir. Deneysel olarak elde edilen bu değerleri analitik ifadelerle dönüştüren çeşitli yöntemler mevcuttur. İşlemlerde kolaylık sağlamasından dolayı çoğunlukla lineer modeller kullanılmaktadır. Ancak, daha karışık olup üssel modelleri veya polinomları kullanan diğer modeller de mevcuttur.

Deneysel araştırmalar, bağlantı rijitliklerinin belirli bir değere kadar yaklaşık olarak lineer değiştiklerini, daha sonra ise nonlinear bir yumuşama veya pekleşme yapabildiklerini göstermiştir. Bu çalışmada bağlantı davranışını modellemek için Dört Parametrelili Richard Modeli kullanılacaktır. Richard Modeli genel amaçlı bir

modeldir. Bu model ile bağlantı davranışları mafsallı, parçalı lineer, rijitlik pekleşmesi veya yumuşaması yapan nonlinear veya rijit olarak tanımlanabilmektedir. Almusallam ve Richard (3) tarafından verilen bu model $M-\theta_r$ ilişkisini aşağıdaki bağıntı ile tanımlamaktadır:

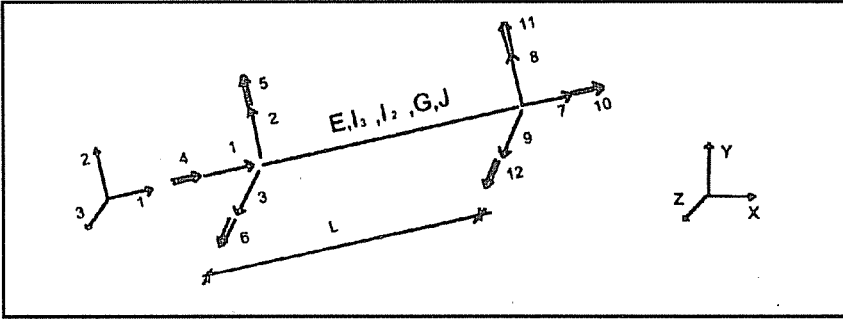
$$M = \frac{(K_o - K_p)\theta_r}{\left[1 + \left|\frac{(K_o - K_p)\theta_r}{M_o}\right|^N\right]^{1/N}} + K_p\theta_r \quad (1)$$

Burada M bağlantı momenti, θ_r bağıl dönme, K_o ilk rijitlik, K_p plastik rijitlik, M_o referans momenti ve N ise şekil parametresidir.

Yukarıdaki ifadenin θ_r ye göre türevinin alınması ile bağlantının rijitliği olan K elde edilebilmektedir. Bağlantılar, 1-2 ve 1-3 asal düzlemlerinde elastik çubukların uçlarında, sonsuz küçük uzunlukta dönel yaylar olarak modellenmektedir.

3. ANALİZ METODU

Bu çalışmada, rijitlik matrisi metodu kullanılmaktadır. Bu konu hakkında Coates, Coutie ve Kong (2) ve Livesley (1) tarafından bilgi verilmektedir. Üç boyutlu çerçevelerin analizi yapılacağından, her bir çubuk ucunda üç ötelenme ve üç dönme bulunmaktadır. Ötelenmeler asal eksen doğrultularında, dönmeler ise asal eksenler etrafında sağ el kuralına uyacak şekilde pozitif yönleri ile Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Pozitif işaret kabulü

Uçlarında asal eksenler doğrultusunda dönel yaylara sahip olan elastik çubukların rijitlik matrisi, her bir deplasman doğrultusunda birim deplasman uygulanıp, sınır şartları kullanılarak, moment-eğrilik bağıntısıyla elde edilmiştir.

Şekil 1'de gösterilen notasyona göre eleman uç kuvvetleri ve eleman uç deplasmanları arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi yazılabilir :

$$\begin{Bmatrix} P_i \\ P_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{ii} & k_{ij} \\ k_{ji} & k_{jj} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_i \\ d_j \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} f_i \\ f_j \end{Bmatrix} \quad (2)$$

Bu ifade kısaca, $\{p\}=[k]\{d\}+\{f\}$ şeklinde de yazılabilir. Burada, $\{p\}$ eleman uç kuvvetleri vektörü, $[k]$ eleman rijitlik matrisi, $\{d\}$ eleman uç deplasmanları vektörü ve $\{f\}$ ise ankastrelik uç kuvvetleri vektörüdür.

$[k]$ eleman rijitlik matrisi aşağıda açık olarak yazılmıştır.

$$k_{ij} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_z}{L^3} \frac{U_{XY1}}{D_{XY}} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} \frac{U_{XY2}}{D_{XY}} \\ 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} \frac{U_{XZ1}}{D_{XZ}} & 0 & \frac{-6EI_y}{L^2} \frac{U_{XZ2}}{D_{XZ}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-6EI_y}{L^2} \frac{U_{XZ2}}{D_{XZ}} & 0 & \frac{4EI_y}{L} \frac{U_{XZ3}}{D_{XZ}} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} \frac{U_{XY2}}{D_{XY}} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} \frac{U_{XY3}}{D_{XY}} \end{bmatrix} \quad (3a)$$

$$k_{ij} = \begin{bmatrix} \frac{-EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-12EI_z}{L^3} \frac{U_{XY1}}{D_{XY}} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} \frac{U_{XY4}}{D_{XY}} \\ 0 & 0 & \frac{-12EI_y}{L^3} \frac{U_{XZ1}}{D_{XZ}} & 0 & \frac{-6EI_y}{L^2} \frac{U_{XZ4}}{D_{XZ}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} \frac{U_{XZ2}}{D_{XZ}} & 0 & \frac{2EI_y}{L} \frac{U_{XZ5}}{D_{XZ}} & 0 \\ 0 & \frac{-6EI_z}{L^2} \frac{U_{XY2}}{D_{XY}} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} \frac{U_{XY5}}{D_{XY}} \end{bmatrix} \quad (3b)$$

$$k_{ij} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_z}{L^3} \frac{U_{XY1}}{D_{XY}} & 0 & 0 & 0 & \frac{-6EI_z}{L^2} \frac{U_{XY4}}{D_{XY}} \\ 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} \frac{U_{XZ1}}{D_{XZ}} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} \frac{U_{XZ4}}{D_{XZ}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} \frac{U_{XZ4}}{D_{XZ}} & 0 & \frac{4EI_y}{L} \frac{U_{XZ6}}{D_{XZ}} & 0 \\ 0 & \frac{-6EI_z}{L^2} \frac{U_{XY4}}{D_{XY}} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} \frac{U_{XY6}}{D_{XY}} \end{bmatrix} \quad (3c)$$

$$k_{ji} = k_{ij}^T \quad (3d)$$

Eleman rijitlik matrisindeki kısaltmalar ise aşağıda gösterilmektedir.

$$\begin{aligned} U_{xy1} &= k_1 + k_2 + 4k_1k_2 & U_{xz1} &= k_3 + k_4 + 4k_3k_4 \\ U_{xy2} &= 2k_1(1+2k_2) & U_{xz2} &= 2k_3(1+2k_4) \\ U_{xy3} &= k_1(3+4k_2) & U_{xz3} &= k_3(3+4k_4) \\ U_{xy4} &= 2k_2(1+2k_1) & U_{xz4} &= 2k_4(1+2k_3) \\ U_{xy5} &= 4k_1k_2 & U_{xz5} &= 4k_3k_4 \\ U_{xy6} &= k_2(3+4k_1) & U_{xz6} &= k_4(3+4k_3) \\ D_{xy} &= 3+4k_1+4k_2+4k_1k_2 & D_{xz} &= 3+4k_3+4k_4+4k_3k_4 \end{aligned} \quad (4)$$

$$k_1 = \frac{K_1 L}{4EI_Z} \quad k_2 = \frac{K_2 L}{4EI_Z} \quad k_3 = \frac{K_3 L}{4EI_Y} \quad k_4 = \frac{K_4 L}{4EI_Y}$$

Buradaki k_1 ve k_2 1-2 asal düzleminde, k_3 ve k_4 ise 1-3 asal düzleminde, çubuğun i ve j uçlarındaki dönel yaylara ait boyutsuz yay katsayılarıdır. K_1 , K_2 , K_3 ve K_4 ise (1) ifadesinin türevi olarak tanımlanabilir.

Uçlarında dönel yaylar bulunan elastik çubuğa ait $\{f\}$ ankastrelik uç kuvvetleri, heriki asal düzlem için de, tekil yük, üniform yük, doğrusal yayılı yük, üçgen yük ve simetrik trapez yük durumları için moment-eğrilik ilişkisi kullanılarak elde edilmiştir. Yer darlığı nedeniyle sadece tekil ve üniform yüke ait ankastrelik uç kuvvetleri Ek'te verilmiştir.

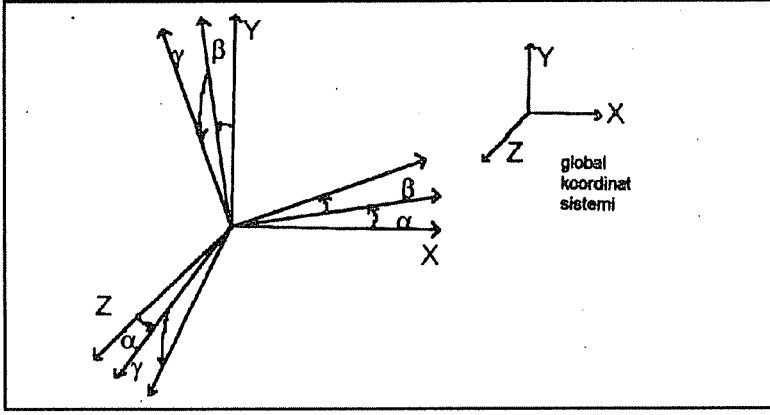
Yerel koordinatlardaki çubuklara ait eleman rijitlik matrisleri, $[k']=[T]^T[k][T]$ ile transformasyonları yapılarak global koordinatlarda yazılacaktır. Kodlama tekniği yardımı ile sistem rijitlik matrisi $[K]$ elde edilecektir. Aynı şekilde $\{f\}$, $\{f'\}=[T]^T\{f\}$ transformasyonu ile global koordinatlara çevrilerek düğüme etkiyen dış yüklere, ters işaretli olarak eklenecek ve $[P]$ sistem yük vektörü elde edilecektir. Daha sonra global koordinatlarda,

$$\{P\}=[K]\{D\} \quad (5)$$

denklemini $\{D\}$ için çözülecektir.

Global koordinatlarda düğümlere ait deplasmanlar bulunduktan sonra $\{d\}=[T]\{d'\}$ transformasyonu ile eleman koordinatlarına çevrilip, eleman uç kuvvetleri (2) ifadesi ile elde edilecektir.

Transformasyonda kullanılan $[T]$ transformasyon matrisi aşağıda açıklanmaktadır. Şekil 2'de başlangıçta global koordinat sistemiyle aynı olan yerel koordinat sisteminin yapabileceği yer değiştirmeler gösterilmektedir.



Şekil 2. Transformasyon esnasındaki dönme açılarının gösterimi

Şekil 2'deki, α Y eksenine, β Z eksenine ve ise γ X eksenine etrafındaki dönmelere ait açılardır. Üç dönmenin birarada bulunması halinde transformasyon matrisi,

$$[T] = \begin{bmatrix} [t] & [0] & [0] & [0] \\ [0] & [t] & [0] & [0] \\ [0] & [0] & [t] & [0] \\ [0] & [0] & [0] & [t] \end{bmatrix} \quad (6a)$$

olup burada

$$[t] = \begin{bmatrix} \cos\beta\cos\alpha & \sin\beta & -\cos\beta\sin\alpha \\ -\cos\gamma\sin\beta\cos\alpha + \sin\alpha\sin\gamma & \cos\beta\cos\gamma & \cos\gamma\sin\beta\sin\alpha + \sin\gamma\cos\alpha \\ \sin\gamma\sin\beta\cos\alpha + \sin\alpha\cos\gamma & -\sin\gamma\cos\beta & -\sin\gamma\sin\beta\sin\alpha + \cos\gamma\cos\alpha \end{bmatrix} \quad (6b)$$

$$\cos\alpha = \frac{L_X}{\sqrt{L_X^2 + L_Z^2}} \quad \cos\beta = \frac{\sqrt{L_X^2 + L_Z^2}}{L} \quad L_X = X_j - X_i$$

$$\sin\alpha = \frac{-L_Z}{\sqrt{L_X^2 + L_Z^2}} \quad \sin\beta = \frac{L_Y}{L} \quad L_Y = Y_j - Y_i \quad (6c)$$

$$L = \sqrt{L_X^2 + L_Y^2 + L_Z^2} \quad L_Z = Z_j - Z_i$$

tanımları geçerlidir.

4. PROGRAMLAMA

Üç boyutlu yarı rijit bağlı çerçevelerin analizi için FORTRAN77 dilinde bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Veri dosyası belli bir düzende yazılıp önceden hazırlanmaktadır. Program çalıştığında veri dosyasının ismini istemekte ve buradan okuduğu bilgilerle türetmeleri ve hesaplamaları yapmaktadır. Veri dosyasıyla yapının genel özellikleri, geometrisi, bağlantılarına ait özellikleri, fiziksel özellikleri ve yükleriyle ilgili bilgiler girilmektedir.

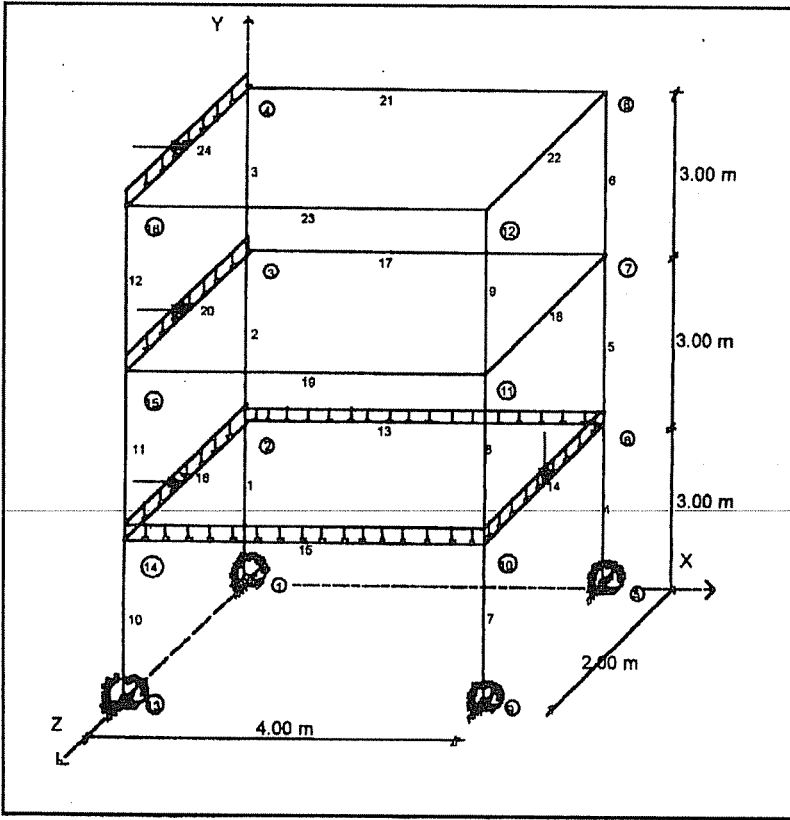
Bağlantıların nonlineer davranışı adım adım yükleme ile gerçekleştirilmektedir. Bağlantı rijitliği moment-dönme eğrisinin tanjantı ile elde edilip hatalar bir döngü içerisinde düzeltilmektedir. Programda, başlangıçta 1, 2, 3 yerel koordinat eksenlerinin, X, Y, Z global eksenleri ile sırasıyla aynı yönde oldukları, genel bir durumda ise 2 yönünün düşey izdüşümünün Y nin pozitif yönünde olduğu kabulü yapılmıştır. 3 yönü, 2 yönü tespit edildikten sonra sağ el kuralı ile elde edilebilmektedir. 3 yönü X-Z düzlemine paralel ise $\gamma=0$ olmakta eğer değilse veri dosyasında γ verilerek transformasyonda kullanılmaktadır.

5. SAYISAL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Öncelikle Erdem ve Aksoğan (7) tarafından çözülen nonlineer davranış gösteren bağlantılara sahip düzlemsel çerçeve örneği, üç boyutlu analiz için hazırlanmış olan program ile çözülmüş, sonuçların aynı çıktığı görülmüştür. Yer darlığı nedeniyle bu örneğe ait şekil ve çözüm sonuçları verilmemiştir.

Ayrıca, uygulama olarak, üç katlı, tek açıklıklı, üniform ve tekil ara yüklü başka bir örnek çözülmüştür (Şekil 3). Bu problem SAP90 paket programı ile de 1, 5, 9 ve 13 düğümleri X ve Z eksenleri doğrultusunda $K=1000$ tm/rad sabit dönel rijitliğe sahip mesnetler şeklinde tanımlanarak çözülmüştür. Aynı örnek hazırlanan program ile 1, 4, 7 ve 10 elemanlarının mesnet uçlarındaki asal düzlemlerinde $K=1000$ tm/rad sabit dönel rijitliğe sahip yayların olması durumu için çözülmüş ve sonuçların aynı olduğu görülmüştür. Tablo 1'de deplasmanlar ve Tablo 2'de ise çubuklara ait eleman uç kuvvetleri verilmiştir. Yapılan analizde, SAP90 paket programında ara bağlantılarda yay uygulanamayıp yalnız mesnetlerde uygulanabildiğinden ancak bu şekilde bir karşılaştırma yapılabilmektedir.

Seçilen bağlantı tipine göre bağlantı rijitliklerinin değişmesi, deplasmanları ve buna bağlı olarak da uç kuvvetlerini değiştirmektedir. Bu özelliği açıklayabilmek amacı ile aynı sistemin 13-16-12-9 çerçevesinin değişik bağlantı davranışları için çözümleri yapılmış ve moment dağılımları aynı şekil üzerinde çizilerek sonuçların ne kadar farklı olduğu gösterilmiştir (Şekil 4). Buradan da anlaşılmaktadır ki hesaplarda, bağlantı davranışının uygun seçilmesi hesapların doğruluğu için gerekli olmaktadır.



Kolonlar $A=0.69 \text{ m}^2$, $J=0.00467 \text{ m}^4$, $I_z=0.980 \text{ m}^4$, $I_y=0.0451 \text{ m}^4$

Kirişler $A=0.61 \text{ m}^2$, $J=0.00364 \text{ m}^4$, $I_z=0.759 \text{ m}^4$, $I_y=0.0364 \text{ m}^4$

$E=2100000 \text{ t/m}^2$, $G=807692 \text{ t/m}^2$

Üniform Yayılı Yükler $=2.5 \text{ t/m}$, Tekil Ara Yükler $=3.5 \text{ t}$ (çubukların orta noktasında)

Şekil 3. Üç boyutlu örneğin kodlaması, eleman özellikleri ve yüklemesi

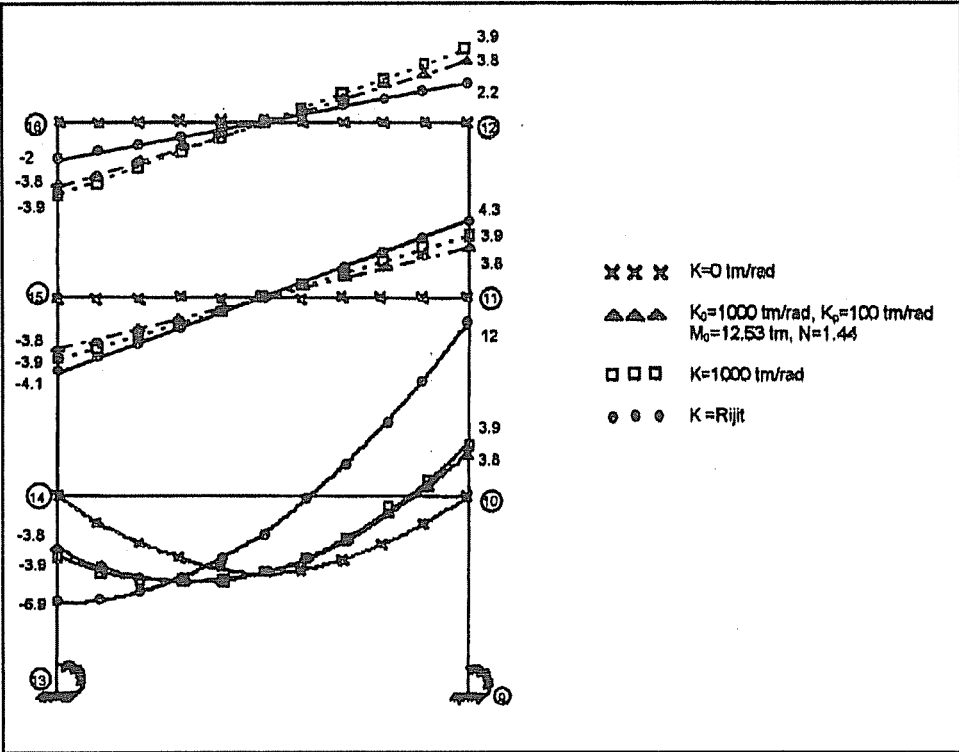
Tablo 1. Üç boyutlu örnekteki düğümlere ait deplasmanlar

DISPLACEMENTS OF JOINTS

JOINT NO	X	Y	Z	θ_x	θ_y	θ_z
1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2	0.439E-04	-0.959E-05	0.696E-07	0.447E-06	0.608E-05	-0.114E-04

**BAĞLANTILARI YARI RİJİT VE NONLİNEER DAVRANAN
ÜÇ BOYUTLU ÇERÇEVELERİN İNCELENMESİ**

3	0.755E-04	-0.134E-04	0.101E-06	0.422E-06	0.613E-05	-0.877E-05
4	0.101E-03	-0.165E-04	0.144E-06	0.470E-06	0.614E-05	-0.764E-05
5	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6	0.415E-04	-0.354E-04	-0.119E-06	0.942E-06	-0.147E-05	-0.945E-05
7	0.716E-04	-0.420E-04	-0.587E-07	-0.314E-07	-0.150E-05	-0.901E-05
8	0.980E-04	-0.441E-04	-0.102E-06	-0.217E-09	-0.149E-05	-0.792E-05
9	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
10	0.415E-04	-0.354E-04	0.119E-06	-0.942E-06	0.147E-05	-0.945E-05
11	0.716E-04	-0.420E-04	0.587E-07	0.314E-07	0.150E-05	-0.901E-05
12	0.980E-04	-0.441E-04	0.102E-06	0.217E-09	0.149E-05	-0.792E-05
13	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
14	0.439E-04	-0.959E-05	-0.696E-07	-0.447E-06	-0.608E-05	-0.114E-04
15	0.755E-04	-0.134E-04	-0.101E-06	-0.422E-06	-0.613E-05	-0.877E-05
16	0.101E-03	-0.165E-04	-0.144E-06	-0.470E-06	-0.614E-05	-0.764E-05



Şekil 4. 13-16-12-9 çerçevesinin değişik bağlantı davranışları için moment diyagramı

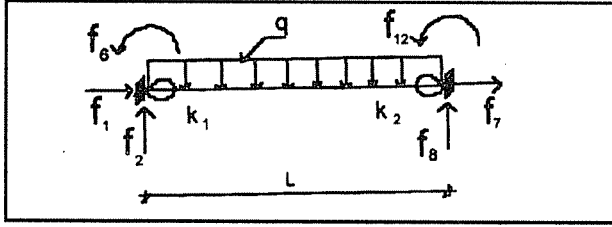
Tablo 2. Üç boyutlu örnekte eleman uç kuvvetleri

FRAME ELEMENT END FORCES

ELE. NO	JOINT NO	DIS. I	AXIAL FORCE	12 SHEAR FORCE	13 SHEAR FORCE	SHEAR FORCE	TOR. MOM.	13 MOMENT	12 MOMENT
1	1	0	0.463E+01	0.225E+01	0.135E-01	-0.764E-02	-0.187E-03	0.163E-01	
	2	3.0	-0.463E+01	-0.225E+01	-0.135E-01	0.764E-02	-0.402E-01	0.673E+01	
2	2	0	0.185E+01	0.128E+01	0.536E-01	-0.644E-04	-0.811E-01	0.143E+00	
	3	3.0	-0.185E+01	-0.128E+01	-0.536E-01	0.644E-04	-0.796E-01	0.370E+01	
3	3	0	0.146E+01	0.794E+00	0.546E-01	-0.166E-04	-0.803E-01	0.415E+00	
	4	3.0	-0.146E+01	-0.794E+00	-0.546E-01	0.166E-04	-0.833E-01	0.197E+01	
4	5	0	0.171E+02	0.300E+01	0.313E-01	0.185E-02	-0.527E-03	0.160E-01	
	6	3.0	-0.171E+02	-0.300E+01	-0.313E-01	-0.185E-02	-0.933E-01	0.899E+01	
5	6	0	0.315E+01	0.222E+01	0.549E-01	0.375E-04	-0.113E+00	0.302E+01	
	7	3.0	-0.315E+01	-0.222E+01	-0.549E-01	-0.375E-04	-0.517E-01	0.363E+01	
6	7	0	0.104E+01	0.956E+00	-0.195E-03	-0.155E-04	0.128E-02	0.682E+00	
	8	3.0	-0.104E+01	-0.956E+00	0.195E-03	0.155E-04	-0.692E-03	0.219E+01	
7	9	0	0.171E+02	0.300E+01	-0.313E-01	-0.185E-02	0.527E-03	0.160E-01	
	10	3.0	-0.171E+02	-0.300E+01	0.313E-01	0.185E-02	0.933E-01	0.899E+01	
8	10	0	0.315E+01	0.222E+01	-0.549E-01	-0.375E-04	0.113E+00	0.302E+01	
	11	3.0	-0.315E+01	-0.222E+01	0.549E-01	0.375E-04	0.517E-01	0.363E+01	
9	11	0	0.104E+01	0.956E+00	0.195E-03	0.155E-04	-0.128E-02	0.682E+00	
	12	3.0	-0.104E+01	-0.956E+00	-0.195E-03	-0.155E-04	0.692E-03	0.219E+01	
10	13	0	0.463E+01	0.225E+01	-0.135E-01	0.764E-02	0.187E-03	0.163E-01	
	14	3.0	-0.463E+01	-0.225E+01	0.135E-01	-0.764E-02	0.402E-01	0.673E+01	
11	14	0	0.185E+01	0.128E+01	-0.536E-01	0.644E-04	0.811E-01	0.143E+00	
	15	3.0	-0.185E+01	-0.128E+01	0.536E-01	-0.644E-04	0.796E-01	0.370E+01	

*BAĞLANTILARI YARI RİJİT VE NONLINEER DAVRANAN
ÜÇ BOYUTLU ÇERÇEVELERİN İNCELENMESİ*

12	15	0	0.146E+01	0.794E+00	-.546E-01	0.166E-04	0.803E-01	0.415E+00
	16	3.0	-.146E+01	-.794E+00	0.546E-01	-.166E-04	0.833E-01	0.197E+01
13	2	0	0.784E+00	0.279E+00	-.129E+00	-.364E-03	0.403E+00	-.687E+01
	6	4.0	-.784E+00	0.972E+01	0.129E+00	0.364E-03	0.114E+00	-.120E+02
14	6	0	-.153E+00	0.425E+01	-.130E-14	0.801E-16	-.113E+00	0.207E+00
	10	2.0	0.153E+00	0.425E+01	0.130E-14	-.801E-16	0.113E+00	-.207E+00
15	10	0	0.784E+00	0.972E+01	0.129E+00	0.364E-03	-.114E+00	0.120E+02
	14	4.0	-.784E+00	0.279E+00	-.129E+00	-.364E-03	-.403E+00	0.687E+01
16	2	0	0.892E-01	0.250E+01	0.175E+01	0.789E-16	-.410E+00	0.121E+00
	14	2.0	-.892E-01	0.250E+01	0.175E+01	-.789E-16	0.410E+00	-.121E+00
17	3	0	0.126E+01	-.211E+01	-.130E+00	0.333E-03	0.406E+00	-.412E+01
	7	4.0	-.126E+01	0.211E+01	0.130E+00	-.333E-03	0.115E+00	-.431E+01
18	7	0	-.752E-01	0.551E-13	0.419E-14	0.452E-16	-.115E+00	0.501E-01
	11	2.0	0.752E-01	-.551E-13	-.419E-14	-.452E-16	0.115E+00	-.501E-01
19	11	0	0.126E+01	0.211E+01	0.130E+00	-.333E-03	-.115E+00	0.431E+01
	15	4.0	-.126E+01	-.211E+01	-.130E+00	0.333E-03	-.406E+00	0.412E+01
20	3	0	0.129E+00	0.250E+01	0.175E+01	0.629E-16	-.407E+00	0.160E+00
	15	2.0	-.129E+00	0.250E+01	0.175E+01	-.629E-16	0.407E+00	-.160E+00
21	4	0	0.956E+00	-.104E+01	-.130E+00	0.346E-03	0.406E+00	-.197E+01
	8	4.0	-.956E+00	0.104E+01	0.130E+00	-.346E-03	0.114E+00	-.219E+01
22	8	0	-.130E+00	-.313E-13	0.600E-14	0.393E-16	-.114E+00	0.346E-03
	12	2.0	0.130E+00	0.313E-13	-.600E-14	-.393E-16	0.114E+00	-.346E-03
23	12	0	0.956E+00	0.104E+01	0.130E+00	-.346E-03	-.114E+00	0.219E+01
	16	4.0	-.956E+00	-.104E+01	-.130E+00	0.346E-03	-.406E+00	0.197E+01
24	4	0	0.184E+00	0.250E+01	0.175E+01	0.517E-16	-.406E+00	0.837E-01
	16	2.0	-.184E+00	0.250E+01	0.175E+01	-.517E-16	0.406E+00	-.837E-01

EK .- ANKASTRELİK UÇ KUVVETLERİ**Ek 1. Üniform Yayılı Yük Durumu****Şekil Ek1. Üniform Yayılı Yük İşaret Kabulü**

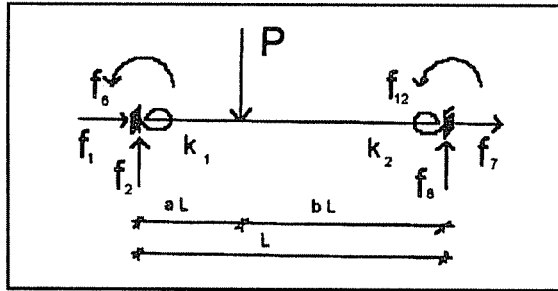
$$f_1 = f_7 = 0$$

$$f_6 = \frac{qL^2 k_1 (3 + 2k_2)}{6(3 + 4k_1 + 4k_2 + 4k_1 k_2)}$$

$$f_{12} = \frac{-qL^2 k_2 (3 + 2k_1)}{6(3 + 4k_1 + 4k_2 + 4k_1 k_2)}$$

$$f_2 = \frac{qL}{2} + \frac{f_6 + f_{12}}{L}$$

$$f_8 = qL - f_2$$

Ek 2. Tekil Ara Yük Durumu**Şekil Ek 2. Tekil Ara Yük İşaret Kabulü**

$$f_1 = f_7 = 0$$

$$f_6 = \frac{2ak_1(a^3 + a^2b - 3a^2L - 3abL + 2a^2k_2L + 3aL^2 + 3bL^2 - 4ak_2L^2 - L^3 + 2k_2L^3)P}{L^2(3a + 3b + 6ak_1 + 6bk_1 - 2k_1L + 4k_2L + 4k_1k_2L)}$$

$$f_{12} = \frac{2ak_2(a^3 + a^2b + 4a^3k_1 + 4a^2bk_1 - 8a^2k_1L - 6abk_1L - 3a^2L - 3bL^2 + 4ak_1L^2 + 2L^3)P}{L^2(3a + 3b + 6ak_1 + 6bk_1 - 2k_1L + 4k_2L + 4k_1k_2L)}$$

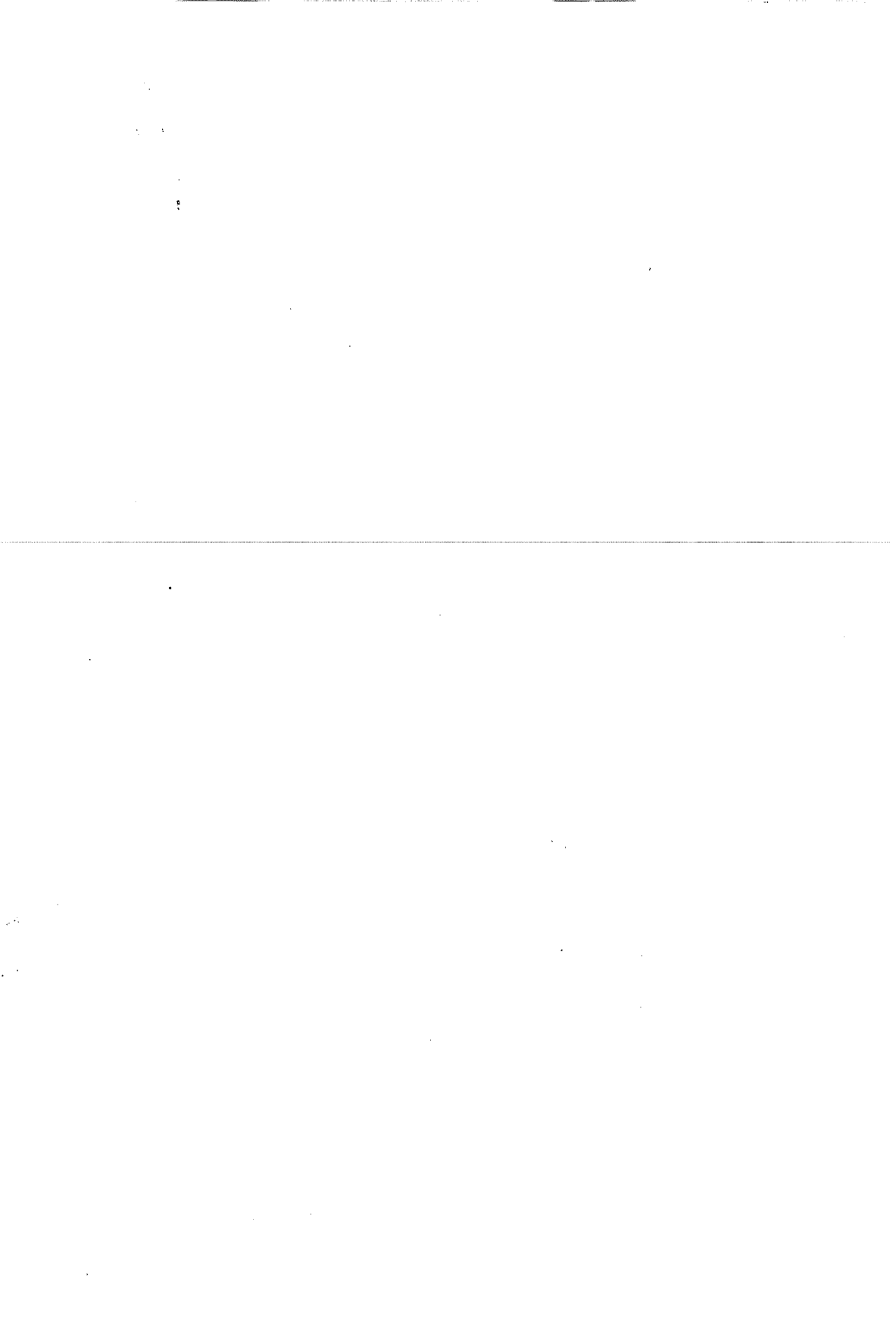
$$f_2 = \frac{Pb}{L} + \frac{f_6 + f_{12}}{L}$$

$$f_8 = P - f_2$$

Ek 1 ve Ek 2'de 1-2 düzlemine ait ankastrelik uç kuvvetleri verilmiştir. 1-3 düzlemine ait ankastrelik uç kuvvetleri olan f_5 ve f_{11} , sırasıyla f_6 ve f_{12} 'nin ters işaretlisi alınarak, f_3 ve f_9 ise bunların f_2 ve f_8 denge denklemlerinde yerlerine yazılmalarıyla elde edilir. Yay katsayıları k_1 ve k_2 'nin yerlerine ise bütün denklemlerde sırasıyla k_3 ve k_4 değerleri kullanılmalıdır.

6. KAYNAKLAR

1. Monforton, G.R. and Wu, T.S., *Matrix Analysis of Semi - Rigidly Connected Frames*, *Journal of the Structural Division, ASCE*, 13-41, ST6, 1963.
2. Livesley, R.K., *Matrix Methods of Structural Analysis*, Pergamon Press, Inc., New York, N.Y., 1964.
3. Coates, R.C., Coutie, M.G. and Kong, F.K., *Structural Analysis*, Nelson, Great Britain, 1981.
4. Chen, W.F. and Lui, E.M., *Effects of Joint Flexibility on the Behavior of Steel Frames*, *Computers and Structures*, 719-732, 26, 1987.
5. Shi, G. and Atluri, S.N., *Static and Dynamic Analysis of Space Frames with Nonlinear Flexible Connections*, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 2635-2650, 28, 1989.
6. Almusallam, T. H. and Richard, R.M., *Steel Frame Analysis with Flexible Joints Exhibiting a Strain-Softening Behavior*, *Computers and Structures*, 55-65, 46, 1993.
7. Erdem, H. and Aksoğan, O., *The Analysis of Frames Consisting of Members Connected to Their Rigid End Sections by Nonlinear Rotational Springs*, *Ç.U. J.Fac.Eng.Arch.*, 33-46, 9, 1994.



İKİ BOYUTLU POTANSİYEL AKIMLARIN TEORİK VE DENEYSEL ANALİZİ

M.Salih KIRKGÖZ ve M.Sami AKÖZ
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

ÖZET : *Kapak arkası ve savak gibi iki boyutlu akımlarda sürtünmeler ihmal edilebilecek boyutlarda olmasından dolayı potansiyel akım yaklaşımı ile çözüm yapılabilmektedir. Potansiyel akımların analizinde Laplace denkleminin kullanılması basit ve hızlı sonuç elde etmek için daha elverişlidir. Bu çalışmada Laplace denkleminin çözümünde sonlu farklar ve sonlu elemanlar sayısal yöntemleri ele alınmış ve bu yöntemlere dayalı bilgisayar programları geliştirilmiştir. Laboratuvarında "Muline" ile kapak arkası akımı için hız ölçümleri yapılmış ve sayısal yöntemlerden elde edilen bulgularla karşılaştırılmıştır. Ayrıca deneysel ve sayısal yöntemlerden elde edilen bulgular ANSYS paket programı ile karşılaştırılmıştır.*

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF TWO DIMENSIONAL POTENTIAL FLOWS

ABSTRACT : *Because the friction effect is negligible in two dimensional flows like sluiceway flow and spillway flow the solution using the potential flow approach is possible. Laplace equation produces more efficient and faster results in the analysis of potential flows. In this study, finite difference and finite element methods are used for the solution of Laplace equation, and based on these methods computer programs are developed. In the laboratory, velocities are measured behind a sluiceway flow using a "Flowmeter", and the experimental data are compared with the results obtained from the numerical methods. In addition, ANSYS package program is used to compare the results of experiments and the present computer programs.*

1. GİRİŞ

Akışkanların hareketini idare eden denklemler viskozite ve türbülans ifadeleri içerdiğinden bazı basit akım problemleri dışında analitik çözümleri genellikle zordur. Ancak akımın potansiyel olduğu kabulü yapılarak çözümler büyük ölçüde kolaylaşır. Pratikte, hız gradyanının küçük olduğu bölgelerde çevrinti ihmal edilebilecek kadar küçük olacağından bu yaklaşım doğru olabilmektedir.

Potansiyel akımlarda Laplace diferansiyel denkleminin çözümü kolay ve hızlı sonuç elde etme bakımından çok elverişlidir. Laplace diferansiyel denkleminin çözümünde, zor olan analitik çözümden ziyade yaklaşık çözümlere başvurulmaktadır. Bu amaçla en çok kullanılan sayısal yöntemler olarak "Sonlu Farklar" ve "Sonlu Elemanlar" yöntemleri söylenebilir. Bu sayısal yöntemlerle "Hız Potansiyel Fonksiyonu" veya "Akım Fonksiyonu" nun problem bölgesinde noktasal değerleri hesaplanmakta, akımın diğer parametreleri bunlar yardımıyla elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada, Laplace diferansiyel denkleminin sayısal çözümü için sonlu farklar ve sonlu elemanlar yöntemine dayalı iki ayrı bilgisayar programı geliştirilmiş ve buna ilave olarak da ANSYS paket programı kullanılmıştır. Laboratuvar kanalında gerçekleştirilen iki boyutlu kapak arkası akımda "Muline" ile yapılan hız ölçümleri ile aynı akım için sayısal modellerden elde edilen akım hızları karşılaştırılmıştır.

2. POTANSİYEL AKIM İÇİN LAPLACE DENLEMİ

Çevrinti vektörünün sıfır olduğu akımlar potansiyel akımlardır. Yani (x,y) düzlemindeki iki boyutlu bir akım için bu ifade

$$2\omega = \vec{\nabla} \times \vec{V} = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \vec{k} = 0 \quad (1)$$

şeklinde yazılabilir. Gerçek bir akışkan akımında katı sınırlarının yakınındaki sınır tabakasının dışında hız gradyanının küçük olduğu bölgelerde akışkanın ideal olduğu kabulü yapılabilir (1).

Akım fonksiyonu sıkışmayan çevrintili ve çevrintisiz akımlarda akım çizgilerinin geometrisini ifade eden bir fonksiyondur. İki boyutlu düzenli bir akımda akım fonksiyonu $\Psi(x,y)$ ise akım hız bileşenleri akım fonksiyonundan aşağıdaki gibi türetilir.

$$u = \frac{\partial \Psi}{\partial y}, \quad v = -\frac{\partial \Psi}{\partial x} \quad (2)$$

(2) ifadeleri çevrintisiz bir akım için yazılan (1) denkleminde kullanılırsa

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} = \nabla^2 \Psi = 0 \quad (3)$$

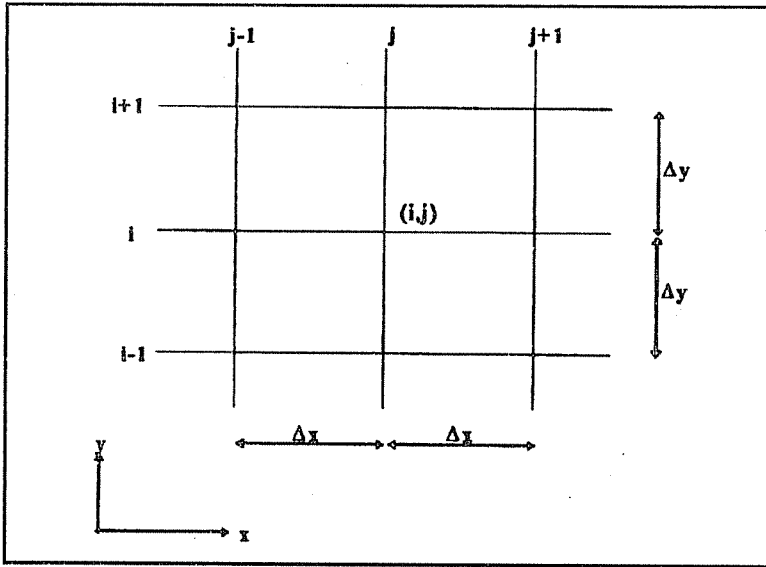
denklemi elde edilir (2). Laplace diferansiyel denklemi olarak bilinen (3) ifadesinin akım fonksiyonu $\Psi(x,y)$ için çözümü belirli sınır şartları altında yapılması gerekmektedir. Laplace denkleminin çözümü basit sınır geometri akımlar için analitik olarak yapılabilmesine karşın düzensiz geometri sınır şartları için ancak sayısal çözümünün yapılması mümkündür.

3. LAPLACE DENKLEMİNİN SAYISAL ÇÖZÜMÜ

Bu Bölümde (3) ifadesi ile verilen Laplace diferansiyel denkleminin sayısal çözümü için "Sonlu Farklar" ve "Sonlu Elemanlar" yöntemleri hakkında kısa bilgiler verilecektir.

3.1. Sonlu Farklar Yöntemi

İki boyutlu bir akım alanında $\nabla^2\Psi=0$ denkleminin sonlu farklar çözümü için teşkil edilen ağ sistemi Şekil.1'de görülmektedir.



Şekil 1. Sonlu Farklar Ağı

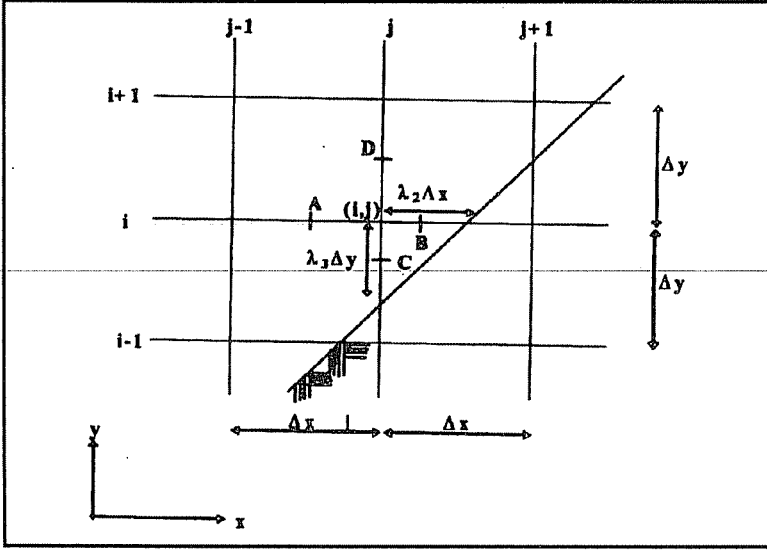
Laplace denklemi ikinci mertebeden türevlerin Taylor serisi yardımıyla yazılmasıyla aşağıdaki gibi elde edilir (3,4):

$$\nabla^2\Psi = \frac{\Psi_{i,j+1} - 2\Psi_{i,j} + \Psi_{i,j-1}}{\Delta x^2} + \frac{\Psi_{i+1,j} - 2\Psi_{i,j} + \Psi_{i-1,j}}{\Delta y^2} = 0 \quad (4)$$

Şekil.1'de görülen sonlu farklar ağındaki (i,j) noktası için yazılan (4) denklemi, sınır şartları verilmiş akım alanı içerisinde oluşturulan ağıdaki her bir nokta için benzer

şekilde yazılarak cebrik denklem takımı oluşturulur. Bu cebrik denklem takımında düğüm değerleri bilinen noktaların Ψ değerleri yerine yazılıp denklem takımının çözülmesi ile problem bölgesindeki her bir nokta için bilinmeyen Ψ değerleri elde edilmiş olur.

Şekil.2'de görüldüğü gibi akım sınırının düğüm noktasına düşmemesi durumundaki bir (i,j) noktası için (4) denklemi aşağıdaki gibi olacaktır.



Şekil 2. Sınırın Düğüme Düşmemesi Durumu İçin Sonlu Farklar Ağı

$$\nabla^2 \Psi = \frac{\Psi_{ij+1} - \Psi_{ij}}{\lambda_2 \Delta x} - \frac{\Psi_{ij} - \Psi_{ij-1}}{\Delta x} + \frac{\Psi_{i+1,j} - \Psi_{ij}}{\Delta y} - \frac{\Psi_{ij} - \Psi_{i,j}}{\lambda_3 \Delta y} = 0 \quad (5)$$

$$\Delta x \left(\frac{1}{2} + \frac{\lambda_2}{2} \right) + \Delta y \left(\frac{1}{2} + \frac{\lambda_3}{2} \right)$$

2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yönteminde olayı idare eden denklemin integral formuna geçiş için varyasyon yöntemi yada ağırlıklı artıklar yöntemi kullanılır. Varyasyon yönteminde fonksiyonelin ayrıklaştırılmasıyla sonuca gidilirken ağırlıklı artıklar yönteminde ise kısmi integrasyon uygulanarak diferansiyel denklem integral forma sokulur ve ağırlıklı fonksiyonunu seçmek için Galerkin yöntemi kullanılır.

Fonksiyonelin Ayrıklaştırılması-Ritz Yöntemi

Laplace diferansiyel denkleminin fonksiyoneli

$$I = \iint \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial \Psi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Psi}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy \quad (6)$$

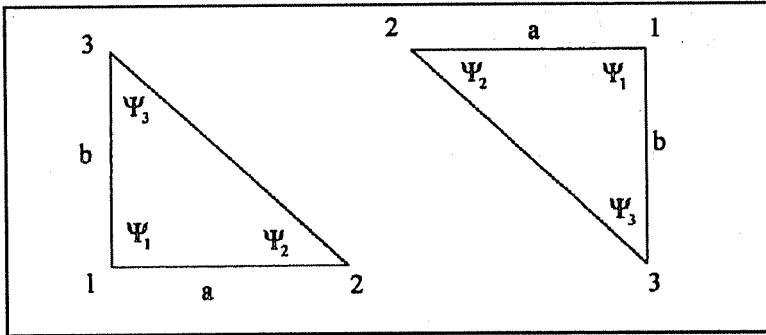
şeklinde (6). Burada amaç I integralini bilinmeyen noktalarda minimum yapacak Ψ fonksiyonlarının bulunmasıdır. Sınır şartlarını sağlayan ara kesitlerde sürekli olan Ψ için parametrik yaklaşım yapılır.

$$\Psi(x,y) = P_1 C_1 + P_2 C_2 + P_3 C_3 \quad (7)$$

burada $P = \langle 1, x, y \rangle$ baz polinomları ve C_1, C_2, C_3 parametrelerdir. Sistemin dengede olabilmesi için potansiyel enerjideki değişme oranı sıfır olmalı ve aynı zamanda sistem dengede ise potansiyel enerji minimum olmalıdır. $\delta \Pi = 0$ ise potansiyel enerjideki değişim sıfır demektir. Potansiyel enerjideki değişme oranı sıfır demek $\Pi(C_1, C_2, C_3, \dots, C_n)$ nin parametrelere göre türevlerinin sıfır olması demektir. Yani

$$\frac{\partial \Pi}{\partial C_1} = \frac{\partial \Pi}{\partial C_2} = \frac{\partial \Pi}{\partial C_3} = \dots = \frac{\partial \Pi}{\partial C_n} = 0 \quad (8)$$

(8) bağıntısı yardımıyla parametre sayısı kadar cebrik denklem takımı ortaya çıkar ve bunun çözümünden de parametreler, dolayısıyla aranılan büyüklükler bulunur (5).



Şekil 3. Eleman Seçimi

Şekil.3'de görüldüğü gibi üçgen eleman seçilmesi durumunda yaklaşım fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$\Psi(x,y) = \Psi_1 + \frac{\Psi_2 - \Psi_1}{a} x + \frac{\Psi_3 - \Psi_1}{b} y \quad (9)$$

Burada Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 düğüm değerleridir ve türevleri aşağıdaki gibi yazılır.

$$\frac{\partial \Psi}{\partial x} = \frac{\Psi_2 - \Psi_1}{a}, \quad \frac{\partial \Psi}{\partial y} = \frac{\Psi_3 - \Psi_1}{b} \quad (10)$$

(10) ifadesindeki değerler (6) denkleminde yazılırsa bir üçgen elemandan I integraline gelen katkı

$$I^e = \frac{1}{4} ab \left[\left(\frac{\Psi_2 - \Psi_1}{a} \right)^2 + \left(\frac{\Psi_3 - \Psi_1}{b} \right)^2 \right] \quad (11)$$

şeklinde bulunur. Burada " e " eleman numarasıdır ve problemin fonksiyoneli

$$I = \sum_{i=1}^{n_{\text{eleman}}} I^e \quad (12)$$

şeklinde dir. Bilinmeyen noktalarda I yı minimize eden Ψ değerleri I'nın türevlerinden elde edilerek cebrik denklem takımı oluşturulur. Bu denklem takımının verilen sınır şartları altında sayısal çözümü yapılarak herbir düğüm için Ψ , yani birim genişlikten geçen debi değerleri elde edilir.

Ağırlıklı Artıklar Yöntemi

Ağırlıklı artıklar yöntemine göre Laplace denkleminin integral formu aşağıdaki gibidir.

$$W = \int_A \varphi \left(\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} \right) dA = 0 \quad (13)$$

Bu denkleme kısmi integrasyon uygulandığında

$$W = \int_A \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \frac{\partial \Psi}{\partial x} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \frac{\partial \Psi}{\partial y} \right) dA - \oint_s \varphi \frac{\partial \Psi}{\partial n} ds = 0 \quad (14)$$

denklemini bulunur. Ağırlık fonksiyonunun seçiminde Galerkin yöntemi kullanılırsa yani $\varphi = \delta \Psi$ seçerek (14) denklemini

$$W = \int_A \left(\frac{\partial \delta \Psi}{\partial x} \frac{\partial \Psi}{\partial x} + \frac{\partial \delta \Psi}{\partial y} \frac{\partial \Psi}{\partial y} \right) dA - \oint_s \delta \Psi \frac{\partial \Psi}{\partial n} ds = 0 \quad (15)$$

haline gelir (6). Sonlu eleman seçiminde değişik tipde elemanlar seçilerek gerçek uzaydan referans uzayına geçilir. Çalışmalarda lineer üçgen ve dörtgen elemanlar kullanılmıştır. Burada lineer üçgen bir eleman seçimini göz önüne alarak Ψ için eleman

üzerindeki düğümsel yaklaşım:

$$\Psi(x,y) = \langle N(x,y) \rangle \{ \Psi_d \} \quad (16)$$

ve referans elemanı üzerindeki yaklaşım ise

$$\Psi(\zeta,\eta) = \langle N(\zeta,\eta) \rangle \{ \Psi_d \} \quad (17)$$

şeklindedir. $\Psi_d = \langle \Psi_i, \Psi_j, \Psi_k \rangle$ düğüm değerleridir. Transformasyon gereğince gerçek eleman ile referans elemanı arasındaki bağıntı aşağıdaki gibidir.

$$x(\zeta,\eta) = \langle N_1x_1 + N_2x_2 + N_3x_3 \rangle = \langle N(\zeta,\eta) \rangle \{ x_d \} \quad (18)$$

$$y(\zeta,\eta) = \langle N_1y_1 + N_2y_2 + N_3y_3 \rangle = \langle N(\zeta,\eta) \rangle \{ y_d \} \quad (19)$$

burada $\langle N \rangle$ şekil fonksiyonları olup aşağıdaki gibidir (4).

$$\langle N \rangle = \left\langle \begin{array}{ccc} 1-\zeta-\eta & \zeta & \eta \\ N_1 & N_2 & N_3 \end{array} \right\rangle \quad (20)$$

Burada ζ ve η referans uzayındaki koordinatları göstermektedir. Eleman integral formunu yani (15) denklemini matris formunda yazalım.

$$W^e = \int_A e \left\langle \frac{\partial \delta \Psi}{\partial x}, \frac{\partial \delta \Psi}{\partial y} \right\rangle \left\{ \begin{array}{c} \frac{\partial \Psi}{\partial x} \\ \frac{\partial \Psi}{\partial y} \end{array} \right\} dA - \oint \delta \Psi \frac{\partial \Psi}{\partial n} ds = 0 \quad (21)$$

(21) denklemindeki değerler aşağıdaki gibi yazılır.

$$\delta \Psi = \langle N \rangle \{ \delta \Psi_d \} = \langle \delta \Psi_d \rangle \{ N \} \quad (22.a)$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial x} = \Psi_{,x} = \langle N_{,x} \rangle \{ \Psi_d \} \quad , \quad \frac{\partial \Psi}{\partial y} = \Psi_{,y} = \langle N_{,y} \rangle \{ \Psi_d \} \quad (22.b)$$

$$\left\{ \begin{array}{c} \Psi_{,x} \\ \Psi_{,y} \end{array} \right\} = \underbrace{\left[\begin{array}{c} \langle N_{,x} \rangle \\ \langle N_{,y} \rangle \end{array} \right]}_{[B]} \{ \Psi_d \} = [B] \{ \Psi_d \} \quad (22.c)$$

$$\delta \left\{ \begin{array}{c} \Psi_{,x} \\ \Psi_{,y} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} \delta \Psi_{,x} \\ \delta \Psi_{,y} \end{array} \right\} = [B] \{ \delta \Psi_d \} \quad (22.d)$$

(22) ifadelerini (21) denkleminde yazılmasıyla eleman integral form

$$W^e = \langle \delta \Psi_d \rangle \left(\int_A [B]^T [D] [B] dA \right) \{ \Psi_d \} - \langle \delta \Psi_d \rangle \oint \{ N \} \frac{\partial \Psi}{\partial n} ds \quad (23)$$

şeklinde elde edilir. Burada [D] 2x2 boyutlu birim matrisdir. Buna göre

$$\int_A [B]^T [D] [B] dA = [k] \quad (24)$$

$$\oint \{ N \} \frac{\partial \Psi}{\partial n} ds = \{ q \} \quad (25)$$

tarifleri yapılırsa (24) denklemi aşağıdaki şekle dönüşür.

$$W^e = \langle \delta \Psi_d \rangle \left([k] \{ \Psi_d \} - \{ q \} \right) = 0 \quad (26)$$

Burada [k] ve {q} sırasıyla eleman rijitlik matrisi ve eleman yük vektörüdür. Kodlama tekniği yardımıyla sistem için [K] ve {Q} matrisi elde edilir ve

$$W^e = \langle \delta \Psi_d \rangle \left([K] \{ \Psi_d \} - \{ Q \} \right) = 0 \quad (27)$$

şeklinde yazılır. Varyasyonlar keyfi olduğundan (27) denkleminin sağlanabilmesi için parantez içinin sıfır olması gerekmektedir. Bu durumda

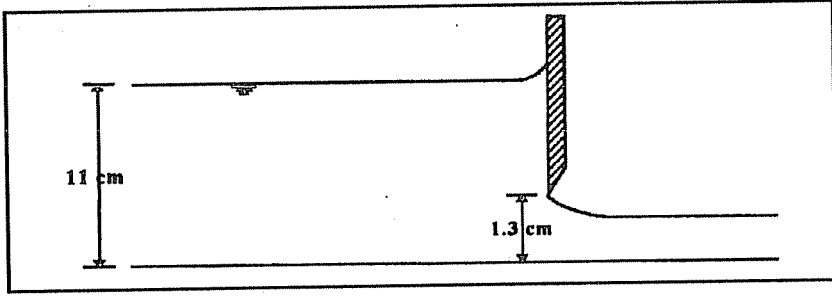
$$[K] \{ \Psi_d \} - \{ Q \} = 0 \quad (28)$$

şeklinde sistem denklem takımı elde edilir. Yukarıdaki cebrik denklem takımının verilen sınır şartları altında sayısal çözümünün yapılmasıyla herbir düğüm noktası için birim genişlikten geçen debi değerleri elde edilir.

4. DENEY DÜZENİ VE YÖNTEMİ

Deneyler İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında genişliği ve yüksekliği 20 cm olan cam duvarlı bir açık kanalda yapılmıştır. Sayısal çözümden elde edilecek bulgularla karşılaştırmak üzere Şekil.4'de görüldüğü gibi kapak arkası akımı için deney yapılmıştır.

Akım debisinin bulunması için 35x35 cm kesitli debi ölçme tankı kullanılmıştır. Hacimsal olarak yapılan debi ölçme işlemi 10 kez tekrarlanmış ve deney debisi birim genişlik için $q = 127.05 \text{ cm}^3/\text{s}/\text{cm}$ bulunmuştur.

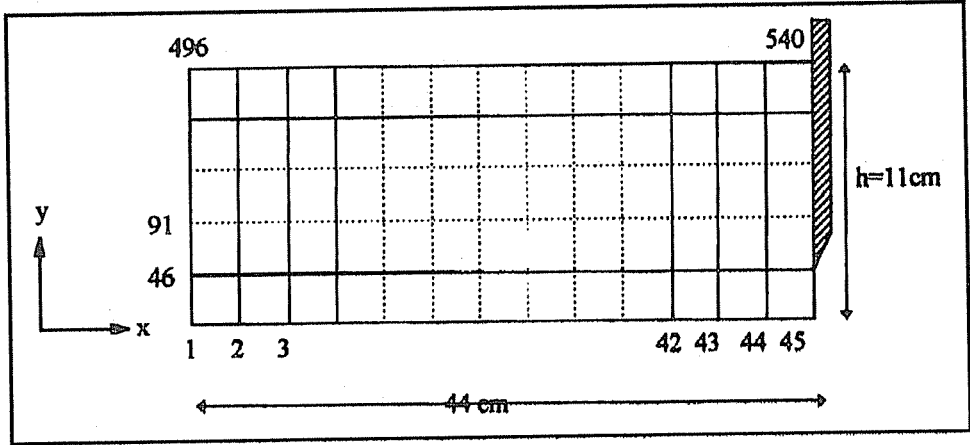


Şekil 4. Deney Yapılan Kapak Arkası Akımı

Akımda hız ölçümleri "Mini Muline" ile yapılmıştır. Her ölçüm noktasında hız vektörünün yatay ve düşey bileşenleri ölçülmüştür. Akım alanındaki noktasal hız ölçümleri kapağın 44 cm menbasından başlanarak yatay ve düşeyde 1 cm aralıklarla yapılmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil.5'de deneysel hız ölçümlerin yapıldığı noktalar görülmektedir. Aynı noktalarda sayısal yöntemler kullanılarak akım hızları hesaplanmıştır.



Şekil 5. Hız Ölçüm Noktaları

Sayısal çözümler için sonlu farklar ve sonlu elemanlara yönelik bilgisayar programları geliştirilmiştir. Bunlara ilave olarak sonlu elemanlar yöntemine dayalı ANSYS paket programının sayısal bulguları ile de bir karşılaştırma yapılmıştır.

Sonlu farklar yönteminde çözüm noktasal olarak yapılmaktadır ve iki nokta arasında çözümün lineer değiştiği kabul edilmektedir. Sonlu elemanlar yönteminde ise çözüm, eleman düğümlerinde bulunmakta ve eleman üzerinde çözümün değişimi kabul edilen

şekil fonksiyonuna uygun olduğu kabulü yapılmaktadır. Karışık geometriye sahip sistemler için sonlu farklar yönteminin zorluğu göze çarparken böyle durumlarda sonlu elemanlar yöntemi sorun yaratmamaktadır.

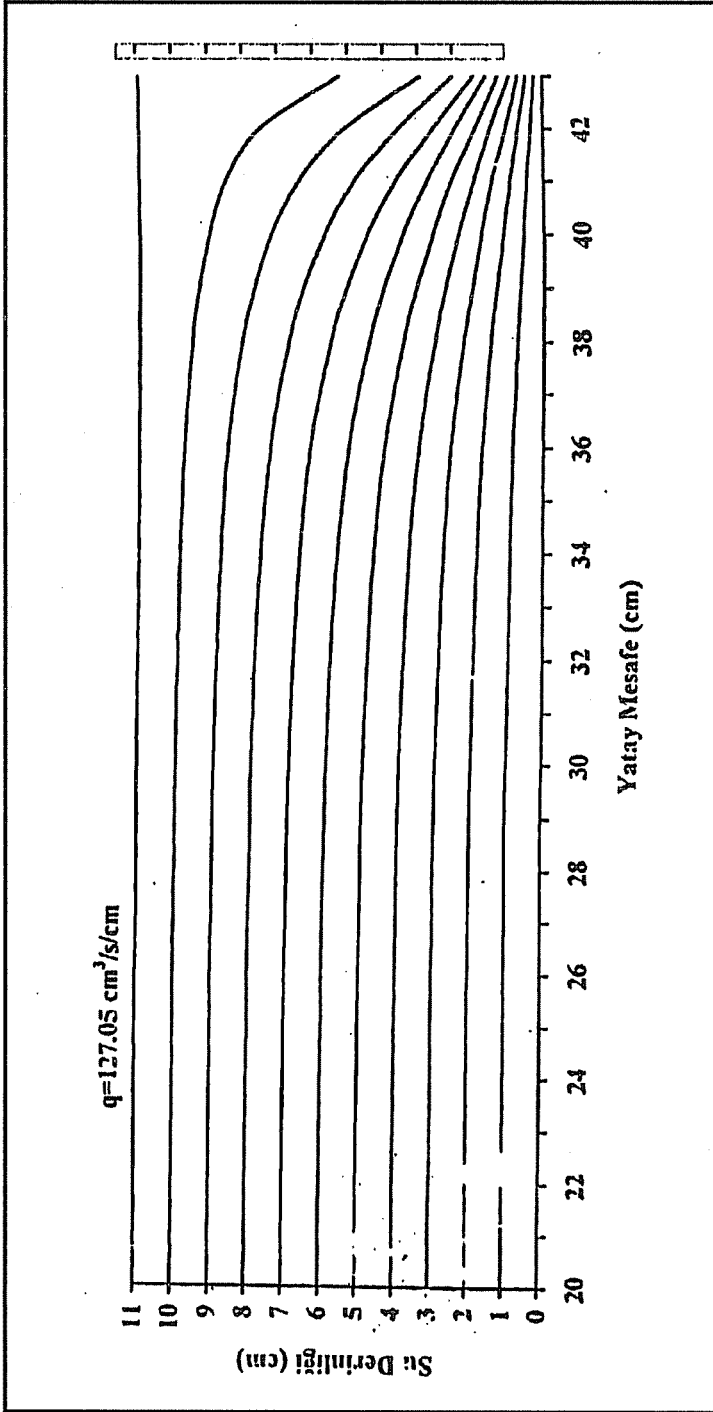
Sayısal yöntemlerle hesaplanan akım fonksiyonu Ψ değerlerinin daha önce verilmiş olan (2) denklemde yerine konmasıyla akım hızları bulunmuştur. Kapak arkası akımı için Şekil.5'de görülen 540 düğümlü akım bölgesine göre elde edilen sayısal ve deneysel bulgulardan bazı düğüm noktası değerleri Çizelge.1'de gösterilmiştir. Çizelgede u ve v ölçüm noktasındaki yatay ve düşey hız bileşenlerini göstermektedir. Çizelge.1'deki sayısal bulgulardan görüleceği üzere akımın yatay ve düşey hız bileşenleri sonlu farklar ve sonlu elemanlar yöntemlerine göre birbirlerine çok yakın değerler çıkmaktadır. Deney okumalarından elde edilen sonuçların da sayısal yöntemlerden elde edilen bulgulara büyük ölçüde yaklaştığı görülmektedir. Aynı çizelge üzerinde ANSYS paket programı ile elde edilen sayısal bulgular da verilmiş olup, elde edilen değerlerin diğer programlarla elde edilen bulgulara son derece yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 1. Kapak Arkası Akımı İçin Deneysel ve Sayısal Akım Hızları

Düğüm No	Deney Okumaları		Sonlu Farklar		Sonlu Elemanlar		ANSYS	
	u(cm/s)	v(cm/s)	u(cm/s)	v(cm/s)	u(cm/s)	v(cm/s)	u(cm/s)	v(cm/s)
46	11.680	0.000	11.550	0.000	11.550	0.000	11.550	0.003
68	11.680	0.000	11.558	0.012	11.592	0.013	11.605	0.001
87	23.340	7.200	24.174	6.468	24.928	7.358	24.637	6.501
89	38.160	28.640	42.485	31.922	43.337	30.644	42.849	31.655
129	16.980	2.420	15.106	2.919	15.207	3.097	15.383	3.013
177	18.040	10.090	16.084	11.708	15.498	11.601	16.252	11.697
179	10.090	25.460	11.957	23.206	10.959	22.910	11.964	22.654
223	9.560	13.800	10.376	14.184	10.023	13.871	10.350	13.923
357	7.200	5.900	6.366	5.860	6.356	5.806	6.176	5.742
404	2.420	4.600	2.025	5.167	2.047	5.195	1.913	4.873
495	0.000	2.420	0.000	1.665	0.000	1.676	0.004	1.548
496	11.150	0.000	11.550	0.000	11.550	0.000	11.550	0.000
531	9.030	0.000	9.976	0.000	9.943	0.000	9.780	0.000
536	6.560	0.000	6.047	0.000	6.052	0.000	5.771	0.000

Kapak arkası akımı için sayısal bulgulardan elde edilen akım çizgilerinin geometrisi Şekil.6'da verilmiştir. Bu akım çizgileri $q=11.55 \text{ cm}^3/\text{s}/\text{cm}$ debi aralıkları ile çizilmiştir.

Sonlu farklar, sonlu elemanlar ve ANSYS programlarından elde edilen değerler birbirlerine çok yakın olduğundan sözkonusu sayısal bulgulardan elde edilen akım çizgileri Şekil.6'da aynı çizgilerle temsil edilmektedir. Şekilde, akım çizgileri kapaktan



Şekil 6. Kapak Arkası Akımı İçin Sayısal Bulgulardan Elde Edilen Akım Çizgileri

24 cm uzaklık içindeki akım bölgesinde gösterilmiştir. Görüldüğü gibi elde edilen iki boyutlu akımın kapaktan itibaren h su derinliği olmak üzere yaklaşık 2h kadar uzaklıkta iki boyutlu akımın başladığı ve ağ sisteminin buradan itibaren seçilmesinin uygun olacağı anlaşılmaktadır.

Elde edilen deneysel ve sayısal bulgulardan iki boyutlu bir kapak arkası akımının çözümünde kullanılan sayısal yöntemlerin oldukça başarılı olduğu ve bu tür katı sınır etkilerinden fazla etkilenmeyen iki boyutlu akımların hesabında deneysel çalışmalar yerine sayısal yöntemlerin başarılı bir şekilde kullanılabilceği görülmektedir.

6. SONUÇ

Bu çalışmada kapak veya savak arkası akımlar gibi iki boyutlu akımlarda akım fonksiyonu, akım çizgilerini ve buna bağlı olarak akım hızlarının teorik olarak hesaplanmasında sonlu farklar ve sonlu elemanlar yöntemleri için programlar geliştirilmiş ve uygulamalar yapılmıştır. Deneysel ölçümler ve sayısal hesaplar 20 x 20 cm kesit alanlı bir laboratuvar kanalı üzerinde yapılmıştır. Kapak arkası akımı için kanalda yatay ve düşey hız okumaları yapılmıştır. Sayısal yöntemlerden elde edilen hızların birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Diğer taraftan sayısal bulgulardan elde edilen yatay ve düşey hız bileşenlerinin deneysel bulgular ile büyük ölçüde uyumlu olduğu da görülmüştür. Elde edilen sayısal bulgulardan, hesap bölgesinin akım derinliğinin yaklaşık 2 katı kadar savak menbasından başlatılmasının yeterli olabileceği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmadaki örnekte ANSYS paket programından elde edilen bulgular, bu programın iki boyutlu potansiyel akımlar için başarılı bir şekilde kullanılabilceğini göstermiştir.

Bu çalışmada elde edilen bulgulara göre kapak veya savak gibi su yapılarının arkasında oluşan iki boyutlu akımların analizinde, sürtünmelerin ihmal edilebilecek boyutlarda olmasından dolayı potansiyel akım yaklaşımı ile sayısal yöntemlerin kullanılmasının pratik amaçlar için kolaylıklar getireceği sonucuna varılmıştır.

7. KAYNAKLAR

1. Sümer,A., Ünsal,Y., Beyazıt, M., *Hidrolik. Birsen Yayınevi, İstanbul, 1983.*
2. Kırkgöz, M.S., Ardiçhoğlu, M., Selek, Z., *Fluid Mechanics. Çukurova University, Faculty of Eng. & Archi., Pub.No:27, Adana, 1994.*
3. Fenner,R.T., *Computing for Engineers. The Macmillan Press Ltd. London, 1974.*
4. Shames, I.H., *Mechanics of Fluids. McGraw-Hill Book Co., 1982.*
5. Reddy,J.N., *An Introduction to the Finite Element Method. McGraw-Hill Inc., 1984.*
6. Dhatt,G., Touzot,G., *The Finite Element Method Displayed. Wiley -Interscience Pub., New York.*

BARAJ İŞLETME POLİTİKASI VE REZERVUAR HACMİ'NİN BELİRLENMESİNDE İHTİMAL KISITLI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YÖNTEMİNİN KULLANILMASI

Recep YURTAL ve Fatih ÜNEŞ

Ç. Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

ÖZET : Barajların depolama hacimleri; yapının ekonomisi, işletme politikaları ve kazanılacak net faydayla doğrudan ilişkili olması nedeni ile büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada rezervuar işletmesi ve tasarımında, Doğrusal Karar Kuralı yardımı ile şans Kısıtlı Doğrusal programlama yönteminin literatürlerdeki iki geliştirilmiş öneriminden yararlanılmış ve Doğrusal Karar Kuralı'nın yeni önerimini kullanan genel amaçlı TURBO PASCAL dilinde bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu program Aşağı Seyhan Havzasındaki mevcut ve Planlanan altı baraja uygulanmış, sonuçlar literatürde önerilen diğer çözüm yöntemlerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

CHANCE-CONSTRAINED LINEAR PROGRAMMING METHOD FOR DETERMINATION OF OPERATION POLICY AND STORAGE CAPACITY OF RESERVOIRS

ABSTRACT : The storage capacity of a reservoir is a very important peculiarity of it as it directly affects 1. the overall economy of the structure, 2. the operation policies, and 3. the net benefits to be obtained.

In this study, a computer program was developed in TURBO PASCAL programming language using chance constrained Linear programming with the Linear Decision Rule. The program was applied to six reservoirs in the lower Seyhan Basin with the historical and the generated flows and the storage capacities and the operation policies, were determined. The results obtained were compared to some other recognized methods.

1. GİRİŞ

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en önemli kaynak olarak bilinen, Hidrolik Potansiyel yönünden oldukça şanslı durumdadır. Bu Hidrolik Potansiyel dünya Potansiyel'inin yaklaşık %1'i civarındadır (1). Ülkemiz nüfus ve sanayisinin gelişimi günden güne hızla büyüyen ülkeler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Bunlarla doğru orantılı olarak enerji ve su ihtiyacımız günden güne artmakta ve yeni enerji kaynaklarına, yeni rezervuarlarla birlikte mevcut hidrolik enerji kaynakları en verimli şekilde değerlendirilmek mecburiyetindedir. Bunun için de baraj işletme politikalarının ve hacimlerinin en iyi şekilde belirlenmesi gerekir.

Baraj işletme politikalarının belirlenmesinde ilk olarak Birikmiş Hacimler Yöntemi adı altında rezervuar hacim ve işletme politikasını belirleyen Ripple metodu olarak adlandırılan grafik metod bilinmektedir. Daha sonra bulunan, Davranış Metodu olarak adlandırılan Behaviour metoduda sık uygulanan metodlardandır.

Baraj hacmi ve işletme politikalarının belirlenmesinde matematiksel programlama yöntemleri yaklaşık olarak son 25 yıldır uygulanmaktadır. Bu yöntem ilk olarak ReVelle tarafından tanımlaması yapılan Doğrusal yöntemdir ve rezervuar düzenlenmesinde kullanılır (2). 1969'dan bugüne kadar değişik uygulamaları ve modifikasyonları yapılan Doğrusal karar kuralı (LDR)'de bugüne kadar yapılan bu çalışmaların ve sonuçlarından yararlanılarak ilerletilip geliştirilerek düzenlendi.

Bu çalışmada rezervuar hacmi ve en uygun işletme politikalarının belirlenmesi için şans Kısıtlı Doğrusal Programlama yönteminin kullanılması ve bu yöntem için genel amaçlı bir bilgisayar programı geliştirilerek, diğer yöntemlerle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması yapılmıştır.

2. YÖNTEM

Doğrusal Karar Kuralının rezervuarlara uygulanması, Revelle tarafından ilk olarak 1969'da uygulanmış (2), modifiye edilmiş yeni formu ile de 1975'de önerilmiştir (3). Burada yöntemin amaç ve kısıt fonksiyonlarının türetilmesi ile ilgili olarak özet bilgiler verilecek ve Doğrusal Karar Kuralını Orjinal önerim ve Yeni önerimi olarak iki kısımda inceleyeceğiz. Fonksiyonların türetilmesi ile ilgili bilgiler özellikle (2, 3) kaynaklarından bulunabilir.

2.1. Orijinal Önerim (İlk LDR)

Yöntemi rezervuarlara uygulamadan önce, sağlıklı ve uzun süreli tarihi akım

donelerinin elde edilmiş olması gerekir. Bu verilere dayanarak; herhangi bir zaman periyodunda rezervuardan çekilen su miktarı için Doğrusal Karar Kuralı (LDR) (2);

$$R_t = U S_{t-1} + V X_{t-1} - b_i \quad (1)$$

Burada U ve V , $0 \leq U, V \leq 1$ arasında değere sahip iki parametredir. Burada; R_t t zaman periyodunda barajdan çekilecek akım, X_t t zaman periyodunda rezervuara giren akım, S_{i-1} i-1 zaman periyodunun sonunda baraj hacmi, b_i i ayı boyunca karar parametresi, i ise zaman periyodudur. Burada, $i=1,2,3,\dots,12$ ' dir.

İşlemi basitleştirmek için bütün t aylarında $U=1$ ve $V=0$ alalım, bu durumda yöntem aldığımız şartlara göre bu şekli alır.

$$R_t = S_{t-1} - b_i \quad (2)$$

Rezervuar işletmesi için süreklilik denklemi;

$$S_t = S_{t-1} + X_t - R_t \quad (3)$$

şeklindedir. Süreklilik veya kütle dengesi prensibinden yola çıkarak; (2) ve (3) denklemlerinden;

$$S_t = b_i + X_t \quad (4)$$

ve bir önceki ayın başlangıcında;

$$S_{t-1} = b_{i-1} + X_{t-1} \quad (5)$$

(3), (4) ve (5) denklemlerinden;

$$R_t = b_{i-1} - b_i + X_{t-1} \quad (6)$$

Doğrusal Karar Kuralı (LDR) için aşağıdaki kısıtlar tanımlanabilir:

T ayı boyunca diğer amaçlar ve nehir düzenlemeleri için minimum salıverme istenirse, mansapta ihtiyaç duyulabilecek minimum su kısıtı $R_t \geq Q_t$ olmalıdır. Genellikle R_t bir önceki şartlardaki Q_t 'dir. Buna göre (6) denkleminde hareketle *minimum su kısıtı*,

$$b_i \leq b_{i-1} + X_{t-1} - Q_t \quad (7)$$

X_t baraj gölüne t zaman periyodunda giren akımdır. Gelecekte gelebilecek akımların belirsizliğinden dolayı kısıtlardaki X_t değerlerini gelecekte gelmesi muhtemel akımlar olarak belirli bir olasılıkla ifade etmek uygun olacaktır. α_j barajın işletme amaçlarına bağlı aşılıma ihtimali olarak kabul edilirse; $P_r \{X_t \leq X_i\} = \alpha_j$ olmalıdır. Zaman periyodu olarak aylık zaman birimi kullanılır ve N yıllık akımların her bir ayına uygun

ihtimal dağılım fonksiyonunun uygulanması ile aylık aşılmama ihtimali giren akım değerleri elde edilir ve minimum su kısıtı tekrar oluşturulursa;

$$(1.KISIT) \quad b_i \leq b_{i-1} + X_{t-1}^{(\alpha_1)} - Q_t \quad (8)$$

α_1 için uygun değer 0.05'dir, ama uygun görülen seçilen aralığın rezervuar ile istenen amaçlara bağlı olması gerekir.

Rezervuar işletmesinde olması gereken diğer ortak bir gereklilikte, bütün zaman aralıklarında rezervuardaki su hacminin rekreasyon amacı ile belirli bir S_{min} hacminden daima daha büyük olması istenilir.

(4) denklemden yola çıkarak S_{min} (minimum depo hacmi) bütün t ayları için b_i 'den büyük olmaması gerektiğini buluruz. Böylelikle *minimum hacim kısıtı*;

$$(2.KISIT) \quad b_i \geq S_{min} - X_i^{(\alpha_2)} \quad (9)$$

Herhangi bir i ayında giren akımlar X_i değerinden daha küçükse, rezervuar boş olacağı için (8) eşitsizliği aşağıdaki şekilde yazılabilir. Burada $\alpha_3 < \alpha_2$ dir.

$$(3.KISIT) \quad b_i \geq -X_i^{(\alpha_3)} \quad (10)$$

Eğer baraj taşkın amaçlı kullanılacaksa, bu durumda rezervuara gelebilecek akıma depolama hacmine ve rezervuarın tam kapasitesine göre izin verilir. Bunun anlamı:

$$C - S_t \geq F_t \quad (11)$$

Burada C maksimum rezervuar kapasitesidir.

(11) denkleminde S_t 'nin değerini, (4) denklemden yerine yazarsak;

$$C \geq b_i + X_t - F_t \quad \text{olur ve ;}$$

$$C \geq b_i + X_i^{(\alpha_4)} + F_i \quad (12)$$

Görüldüğü gibi F_i taşkın depolama hacimlerini de göz önüne alarak C rezervuar kapasitesi seçebiliriz. Bununla birlikte savaklama kısıtı; yani savaklanacak taşkın debisi miktarı:

$$(4.KISIT) \quad C \geq b_i + X_i^{(\alpha_5)} \quad (13)$$

Ayrıca sürekliliğin sağlanması için;

$$\sum_{i=1}^{12} Q_i \leq \sum_{i=1}^{12} X_i^{(\alpha_i)} \quad \text{olmalıdır.}$$

Burada Q_i , i zaman periyodunda mansaptaki minimum su ihtiyacıdır. Tüm kısıtlar için aşılmama ihtimalleri ise; $\alpha_3 < \alpha_2$; $\alpha_5 < \alpha_4$ olmalıdır. İşletme amaçlarına bağlı olarak seçilebilecek olan α_i değerleri sırasıyla, 0.05, 0.01, 0.95, 0.99 alınabilir.

2.2. Yeni Önerimi (İkinci Önerimi, Modifiye Edilerek Geliştirilmiş LDR)

Yöntemde, taşkın hacmi, minimum hacim ve minimum verim kısıtlarını sağlayan en küçük depolama hacmi aranır. Herhangi bir zaman periyodunda barajdan çekilecek akım için Doğrusal Karar Kuralı (LDR);

$$X_i = S_{i-1} + b_i \quad (14)$$

Burada; X_i i zaman periyodunda barajdan çekilecek akım, S_{i-1} $i-1$ zaman periyodunun sonunda baraj hacmi, b_i i ayı için karar parametresi, i ise aylık zaman periyodudur.

($i=1,2,\dots,12$). Genelleştirilmiş LDR (3);

$$X_i = S_{i-1} - \alpha_i R_i + \beta_i R_{i-1} + \gamma_i R_{i-2} + \dots + b_i \quad (15)$$

$$S_{i-1} = (1 - \alpha_{i-1}) R_{i-1} + \beta_{i-2} R_{i-2} + \gamma_{i-3} R_{i-3} + \dots - b_{i-1} \quad (16)$$

değerler yerlerine yazıldığında, böylece yeni kural aşağıdaki gibi olur;

$$X_i = \alpha_i R_i + (1 - \alpha_{i-1} - \beta_{i-1}) R_{i-1} + (\beta_{i-2} - \gamma_{i-2}) R_{i-2} + \dots - b_{i-1} + b_i \quad (17)$$

R_i , i zaman periyodunda baraj aks yerindeki nehir akımı, α_i , β_i , ve γ_i belirlenecek sabit katsayılar, b_i ise karar sabitleridir. Denklem hacim ve çekilecek akım cinsinden tekrar oluşturulursa,

$$S_i = J_i - b_i \quad (18)$$

$$X_i = K_i - b_{i-1} + b_i \quad (19)$$

olur. Burada;

$$J_i = (1 - \alpha_i) R_i + \beta_{i-1} R_{i-1} + \gamma_{i-2} R_{i-2} + \dots \quad (20)$$

$$K_i = \alpha_i R_i + (1 - \alpha_{i-1} - \beta_{i-1}) R_{i-1} + (\beta_{i-2} - \gamma_{i-2}) R_{i-2} + \dots \quad (21)$$

bütün i ler için $\alpha_i = 0$, $\beta_i = 0$, $\gamma_i = 0$, ... olursa $J_i = R_i$ ve $K_i = R_{i-1}$ olur.

Burada K_i ve J_i rasgele değişkenlerdir. R_i gibi diğer rasgele değişkenlerin lineer birleşimini tanımlar. j_i ve k_i , K_i ve J_i 'nin birikimli dağılım fonksiyonunun tersini gösterir. Aylık ortalama giren akıma bağlı olarak R_i bulunur, bu bulunan R_i değerleri yukarıdaki formüllerde yerine konularak j_i , $j_i^{(1-\alpha_2)}$ ve $k_i^{(1-\alpha_3)}$ değerleri bulunur.

Doğrusal yöntemde; Taşkın hacmi kısıtı, Minimum hacim ve Minimum çekim kısıtı olmak üzere üç ayrı ihtimal kısıtı vardır;

$$P[C - S_i \geq F_i] \geq \alpha_1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (22)$$

$$P[S_i \geq S_m] \geq \alpha_2 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (23)$$

$$P[X_i \geq q_i] \geq \alpha_3 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (24)$$

Burada C maksimum hacim, F_i i periyodundaki taşkın hacmi, S_m minimum depolama hacmi, q_i ise i periyodundaki verimdir. (18) ve (19) denklemleri kısıtlarda yerine konular ve düzenlenirse;

Taşkın hacmi kısıtı;

$$C + b_i \geq j_i^{\alpha_1} + F_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (25)$$

Minimum depolama hacmi kısıtı;

$$b_i \leq j_i^{(1-\alpha_2)} - S_m \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (26)$$

Minimum çekim kısıtı;

$$b_i - b_{i-1} \geq q_i k_i^{(1-\alpha_3)} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (27)$$

$$b_1 - b_n \geq q_1 k_1^{(1-\alpha_3)} \quad i = 1 \quad \text{olur.}$$

Amaç fonksiyonu;

$$\text{Min } C \quad (28)$$

Çözüm için süreklilik koşulu olarak;

$$\sum_{i=1}^n q_i \leq \sum_{i=1}^n k_i^{(1-\alpha_3)} \quad (29)$$

Problemin çözümü için tüm i ler için j_i ve k_i değerlerinin belirlenmesi gerekir. Bu değerlerin belirlenebilmesi için de β_i değerlerinin tayin edilmesi gereklidir. $\alpha_i = 0$ kabul edilirse;

$$J_i = R_i + \beta_{i-1} R_{i-1} \quad (30)$$

$$K_i = (1 - \beta_{i-1})R_{i-1} + \beta_{i-2} R_{i-2} \quad (31)$$

$$\sigma_j^2 = \text{Var}(R_j) \text{ ve } \sigma_{j,k}^2 = \text{Cov}(R_j, R_k) \text{ ise;}$$

$$2\beta_i \sigma_i^2 - \beta_{i-1} \sigma_{i,i-1}^2 - \beta_{i+1} \sigma_{i+1,i}^2 = \sigma_i^2 - \sigma_{i+1,i}^2 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (32)$$

(32) nolu denklem takımının çözümü ile β_i ler belirlenir.

Yöntemde amaç; barajdan alınacak suya (verim) ve kısıtlara göre barajın depolama hacmini (C) minimize etmek, buna bağlı olarak aylık (b_i) karar parametrelerini belirlemektir. Belirlenen (b_i) parametreleri yardımı ile işletme politikalarının, doğrusal karar kuralına göre bulunması gayet kolaydır. (3) de problemin çözümü için iterasyonlarla karar parametrelerini ve hacmi belirleyen doğrudan çözüm yöntemi önerilmiştir.

3. GELİŞTİRİLEN BİLGİSAYAR PROGRAMI

Önerimin bilgisayar programı yapılırken hangi işlem sırasının takip edildiğinin anlaşılması ve bu yöntemi kullananlara kolaylık sağlamak amacıyla, yapılan işlemler adım adım açıklanmıştır. Tarihsel bir kayıt olmadan bu adımlar yapılamaz. Adımlar Turbo Pascal dilinde bir programla uygulanmış ve Seyhan nehri üzerindeki yapılan 2 ve yapılması düşünülen 4 barajda uygulanmıştır. Belirlenen kısıtlar ile doğrusal yöntemin yeni formunun uygulanmasını adım adım şu şekilde özetleyebiliriz.

Adım-1 Geçmişten günümüze kadar düzenli olarak tutulan, yıllara göre aylık data dosyalarının düzenlenerek toplanmasıdır. Verilerin doğruluğu sonucun doğruluğuna en önemli etkidir.

Adım-2 Yıllara göre aylık değerlerin ortalamasını bularak, bu aylık ortalamaların sırasıyla; Varyansı, Kovaryansı, Standart Sapması ve Çarpıklık Katsayısı belirlenmelidir.

Adım-3 Uygulamada kolaylık sağlamak için, Rezervuarın %90 güvenilirlikte çalışması istenmektedir $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \dots = \%90$.

Adım-4 Bulduğumuz varyans ve kovaryans değerlerini aşağıdaki (33) denklemde yerine koyarak 12 adet denklem elde edilir, denklemlerden β_i değerleri aylara göre bulunur (3).

$$2\beta_i^2 \sigma_i^2 - \beta_i \sigma_{i,i-1}^2 - \beta_{i+1} \sigma_{i+1,i}^2 = \sigma_i^2 - \sigma_{i+1,i}^2 \quad (33)$$

Adım-5 İhtimale bağlı gama dağılım katsayısı K_p 'nin istenen emniyet yüzdesinde aylık değerleri hesaplanır.

Adım-6 İstenilen a emniyet yüzdesine göre bulunan, K_p katsayılarına bağlı olarak R_i aylık giren akım değerleri, (34) formülünden aylara göre bulunur.

$$R_i = \bar{X}_i + K_{pi} S_{si} \quad (34)$$

R_i = i zaman periyodunda barajdan giren akım ortalaması, \bar{X}_i = i ayında baraj aks yerindeki nehir akımı,

S_{si} = akımların aylara göre standart sapması.

Adım-7 Bulduğumuz aylık giren akım ve β değerlerinden yararlanılarak J_i ve K_i aylık karşılaştırma akımlarını istediğimiz α emniyet yüzdesi ile (35), (36) formüllerine göre hesaplayabiliriz.

$$J_i = R_i + \beta_{i-1} R_{i-1} \quad (35)$$

$$K_i = (1 - \beta_{i-1}) R_{i-1} + \beta_{i-2} R_{i-2} \quad (36)$$

Adım-8 Yapılan program çalıştırıldığında sonuç çözümsüz ise aldığımız (q_i) minimum boşaltım değerini, aşağıdaki (37) denklemlerle kontrol ediyoruz. Bu denklem sağlanmıyorsa q_i değerini küçültürük veya k_i değerlerini büyütürük bu denklem sağlanmalıdır.

$$\sum_{i=1}^{12} q_i \leq \sum_{i=1}^{12} k_i^{(1-\alpha)} \quad (37)$$

Eğer (q_i) değerleri data dosyasından girilmemişse veya bilinmiyorsa, aşağıdaki denklemden değerleri direk olarak alınır.

$$12q = \sum_{i=1}^{12} k_i^{0.10} \quad q_i = q = \text{sabit (bütün periyodlar için)}$$

Adım-9 Minimum depolama hacmi ve boş hacim barajlarda planlama aşamasında bilinir. Bundan önceki adımlarla aşağıda yazılan formüldeki değerler hesaplanarak yerine konulduğunda, aynı ay için iki tane b_i değeri bulunur. b_i değerleri hesaplanırken (38) denklemden ilk b_i değerleri bulunur, bu değerler ve sonraki bulunacak değerler (39) denkleminde yerine konulup, (5.8) denklemindeki şart esas alınarak iterasyon yapılır. b_i değerleri her ay için eşit değere varıncaya kadar iterasyon devam eder.

İterasyonun sonuçsuz çıkması durumunda, adım 8'deki şartın kontrol edilmesi gerekir.
(3).

$$b_i \leq J_i^{(1-c_2)} - S_m \quad (38)$$

$$b_i \leq b_{i+1} - q_{i+1} + k_{i+1}^{(1-c_3)} \quad (39)$$

$$b_i = \min (b_{i+1} - q_{i+1} + k_{i+1}^{(1-c_3)}, J_i^{(1-c_2)} - S_m) \quad i=1,2,\dots,n \quad (40)$$

Adım-10 Aylara göre bulunan b_i karar parametreleri aşağıdaki denklemde yerine konularak her ay için C_i depolama hacimleri (41) denkleminde belirlenir.

$$C = \max (J_i^{\alpha_1} + V_i - b_i) \quad (41)$$

Oniki aylık C_i depolama hacmi içinden maksimum değerde olanı barajın depolama hacmi olarak alınır.

$$C = \max_{i=1,2,\dots,n} (J_i^{\alpha_1} + V_i - b_i) \quad (42)$$

Yukarıda anlatılan adımlarla Doğrusal Karar Kuralıyla barajların aylık (b_i) karar parametresini ve aylık (C_i) baraj depolama hacimleri bulunur ve bu değerlere göre baraj işletme politikası belirlenir.

4. UYGULAMA VE ARAŞTIRMA BULGULARI

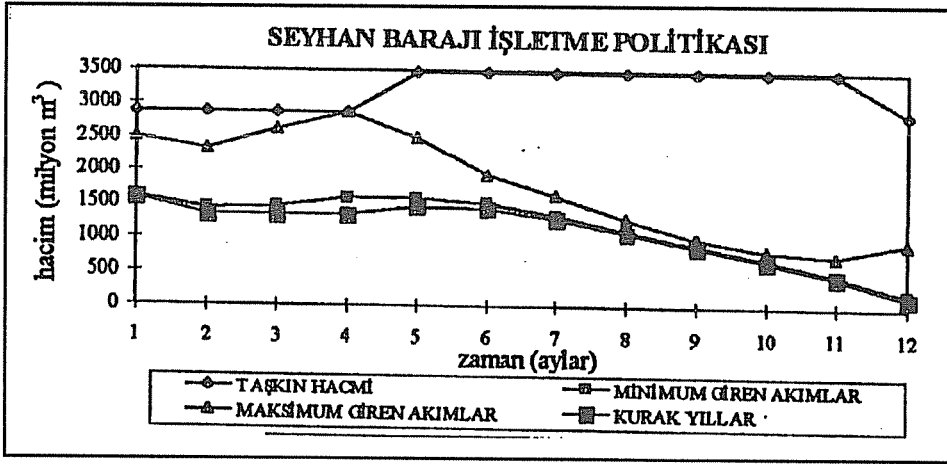
Geliştirilen program Aşağı Seyhan havzasında bulunan Göktaş, Köprü, Menge, Yedigöze, Çatalan ve Seyhan barajlarına uygulanmıştır. Uygulama için belirli akım gözlem istasyonlarının tarihi akımları HEC 4 paket programı (12 nolu referans) yardımı ile uzatılmış ve baraj aks yerlerine taşınmıştır. Yöntemin ilk ve son önerimleri her baraja aynı verimlerde uygulanarak karşılaştırma yapılmıştır (Tablo 1). Yapılan TURBO PASCAL Programına, tarihi ve yirmi yıllık türetilen akımlardan data dosyası hazırlanarak program çalıştırılmış ve her baraj için işletme eğrileri elde edilmiştir, bu çalışmanın sonucuna örnek olarak, altı barajdan sadece Seyhan barajının grafik değerlerinin tümü (şekil 1., şekil 2., şekil 3.)'de ve altı baraja ait Turbo Pascal programı çıktıklarına göre (C) depolama hacim değerleri (Tablo2)'de verilmiştir. Yine yöntemin diğer yöntem sonuçları ile karşılaştırılması için yapılan daha önceki bir program çalışmasından yararlanarak (4) Ripple (Birikmiş Hacimler) ve Behaviour (Davranış) yöntemleri için geliştirilmiş program yardımıyla aynı barajların depolama kapasiteleri aynı verimler ve riskler kullanılarak belirlenmiştir (Tablo3).

Tablo 1. Aşağı Seyhan Havzasındaki 6 Baraja Ait, Orijinal LDR ve Yeni LDR ile Bulunan Hacim Değerleri.

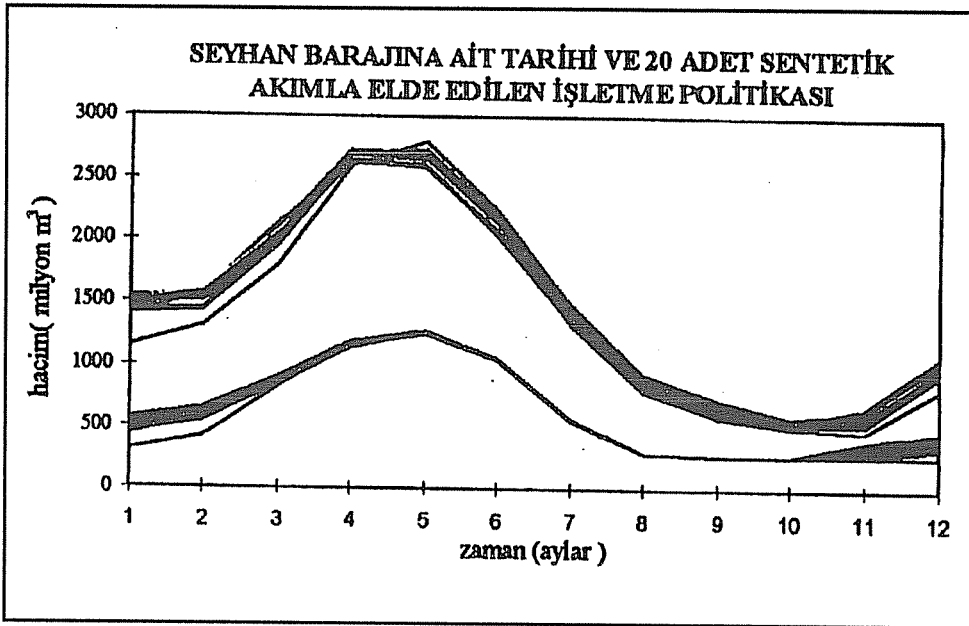
	VERİM	LDR (YENİ)	LDR (ORJİNAL)
BARAJ	(%)	(10 m ³)	(10 m ³)
ÇATALAN	60	3083.12	928.4
SEYHAN	55	2838.15	620.7
YEDİGÖZE	90	1670.6	412.2
KÖPRÜ	90	687.87	163.9
MENGE	90	868.07	132.4
GÖKTAŞ	90	622.69	162.4

Tablo 2. Aşağı Seyhan Havzasındaki altı baraja ait gerçek ve sentetik akımlarla oluşturulan data dosyalarının Turbo Pascal dilinde yazılmış Doğrusal Programlama Bilgisayar Programıyla Bulunan Rezervuar Hacim Değerleri.

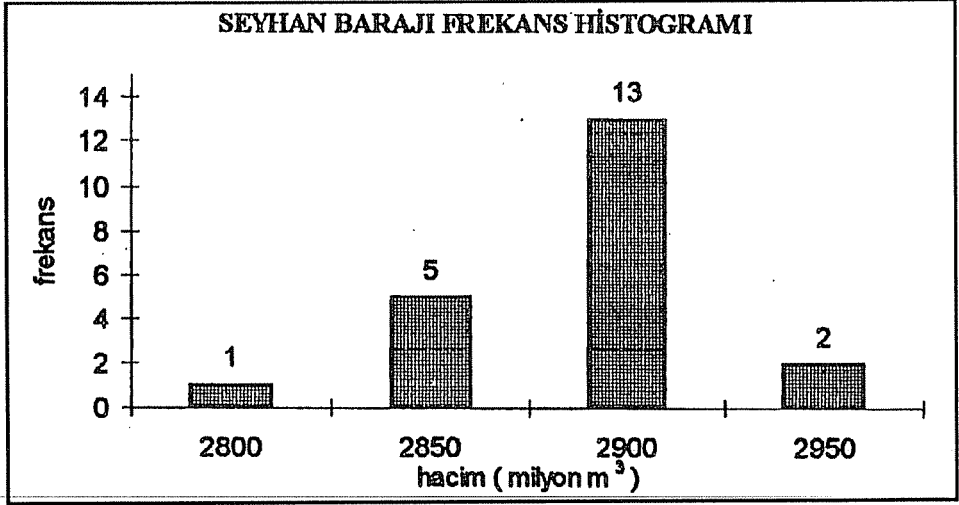
ALTI BARAJA AİT BELİRLENEN (C) DEPOLAMA HACİMLERİ						
AKIMLAR	ÇATALAN	SEYHAN	YEDİGÖZE	KÖPRÜ	MENGE	GÖKTAŞ
GERÇEK	3083.12	2838.15	1670.66	868.07	687.87	622.69
G1	3138.9	2916.13	1754.36	904.34	716.45	638.53
G2	3114.1	2886.39	1716.86	876.81	693.99	638.04
G3	3109.75	2813.95	1811.86	911.61	723.11	662.05
G4	3148.01	2934.52	1728.63	903.44	713.29	618.07
G5	3092.96	2869.4	1702.97	883.5	698.89	642.69
G6	3118.7	2914	1814.3	923.1	723.9	659.02
G7	3141.12	2916.07	1718.67	898.83	708.82	628.8
G8	3135.78	2950.25	1721.82	901.12	712.5	635.25
G9	3120.43	2895.65	1751.75	910.2	717.38	647
G10	3114.01	2869.02	1714.22	873.55	693.47	631.25
G11	3094.84	2861.04	1673.46	858.53	682.82	607.48
G12	3103.19	2890.3	1725.57	887.29	703.02	641.02
G13	3095.61	2854.63	1703.43	892.98	706.31	633.39
G14	3099.73	2886.65	1731.84	895.87	706.24	636.23
G15	3134.49	2888.45	1747.16	903.92	721.79	639.65
G16	3144.06	2892.7	1704.48	892.56	704.03	622.51
G17	3131.26	2918.04	1742.03	890.65	707.25	647.5
G18	3106.88	2900.15	1772.09	913.28	717.45	640.61
G19	3107.25	2903.36	1764.02	900.36	710.63	642.04
G20	3150.50	2918.7	1749.33	909.58	718.48	637.09



Şekil 1. Doğrusal Karar Kuralının İlk Öneriminin, %75 Verim Alınması Kabulüyle Bulunan Seyhan Barajı İşletme Politikası.



Şekil 2. Turbo Pascal Programıyla Bulunan Hacim Değerlerine Göre Aşağı Seyhan Havzasındaki Seyhan Barajına Ait İşletme Eğrileri.



Şekil 3. Seyhan Barajına Ait (C) Değerlerinin Frekans Histogramı.

Tablo 3. Aşağı Seyhan Havzasındaki 6 Baraja Ait LDR, Ripple, Behaviour ile Bulunan Hacimler ve Planlanmış ve İnşa Edilmiş Barajların Orjinal Hacimleri.

BARAJ	VERİM (%)	LDR (YENİ) (10 ⁶ m ³)	RIPPLE (10 ⁶ m ³)	BEHAVIOUR		
				%1 RİSK (10 ⁶ m ³)	%2 RİSK (10 ⁶ m ³)	%5 RİSK (10 ⁶ m ³)
ÇATALAN	60	3083.12	736.9	1046.6	1017.3	921.8
SEYHAN	55	2838.15	774.1	806.9	712.3	615.8
YEDİGÖZE	90	1670.6	5280.3	4353.1	3362.8	2541.3
KÖPRÜ	90	687.87	3157	2653.1	2004	1418
MENGE	90	868.07	2715.4	2245.9	1981	1193.4
GÖKTAŞ	90	622.69	1428.1	1177.3	1032.9	774.6

5. SONUÇ

Tablo 1. ve Tablo 3 incelendiğinde, Doğrusal Karar Kuralının Orjinal önerimi ve yeni önerimi ile hemen tüm barajlar için bulunan hacimler diğer yöntemlerden ve gerekenden fazla hacim verdiği çok belirgin olarak görülmektedir. Gerçekte olmamasına rağmen amaç ve kısıt fonksiyonları doğrusal kabul edildiğinden dolayı bu sonucun çıkması doğaldır. Özellikle, orjinal hacimlerle bulunan hacimler kıyaslandığında çok büyük değer farklılığı görülmektedir. Bu sebeple yöntem ilk planlama aşamasında kullanılabilir, uygulaması kolay bir yöntemdir.

6. KAYNAKLAR

1. DSİ., *Haritalı İstatistik Bülteni*, DSİ Genel Müdürlüğü Basımevi, ANKARA, 1992.
2. ReVelle, C., Joeres, E., Kirby, W., "The Linear Decision Rule in Reservoir Management and Design. 1, Development of the Stochastic Model", *Water Resources Research*, V. 5, No. 4, (767 - 777) , 1969.
3. ReVelle, C., Gundelach, J., "Linear Decision Rule in Reservoir Management and Design, 4. A Rule That Minimizes Output Variance", *Water Resources Research*, V. 11, No. 2, (197 - 203), 1975.
4. Yurtal, R., *Seyhan ve Ceyhan Havzalarında Mevcut ve Muhtemel Barajlar İçin Hacim Verim İlişkilerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü, ADANA, 1987.*



İSTİNAT DUVARLARININ BİLGİSAYAR İLE PROJELENDİRİLMESİ**S. Ercan EPSİLELİ***T.C.K. 5. Bölge Müdürlüğü, Mersin / Türkiye***M. Salih KIRKGÖZ ve Mustafa MAMAK***Ç.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye*

ÖZET : İstinat duvarları, özellikle dolgu ve şev eteklerinin tutulması; yarma şevlerinde erozyon ve kayma sonucu meydana gelebilecek oyulma çökme ve dökülmelerin önlenmesi amacıyla yol inşaatında sık kullanılan önemli bir yapı türüdür. İstinat duvarlarındaki stabilite analizlerinin hızlı ve güvenilir bir şekilde sonuçlandırılarak yapının güvenli olup olmadığının tesbit edilmesi gerekir. Bu çalışmada depremsiz ve depremliler durumlarda, istinat duvarlarının kayma, devrilme, taban basıncı ve göçmeye karşı güvenliklerini sağlayacak şekilde tasarımını gerçekleştiren bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

DESIGN OF RETAINING WALLS WITH THE AID OF COMPUTER

ABSTRACT : Retaining walls that are used especially to hold earth fillings and slopes; and to prevent carving, collapsing and falling stones resulting from the erosion and landslide of excavated cuts, are important structures which are very often used in highway constructions. The stability analyses of retaining walls should be made quickly and reliably to determine whether the wall is safe enough. In this study a computer program is developed to carry out the safety checks against sliding, overturning, bottom pressure and overall stability without and with earthquake action.

1. GİRİŞ

İstinat duvarları, inşaat mühendisliğinde çeşitli amaçlar, özellikle aralarındaki kot farkından dolayı yıkılma ve göçme ihtimali olan zeminlerde kuvvetler dengesini güvenilir bir seviyeye çıkararak, yıkılmaları önlemek için kullanılır. Geniş bir kullanım alanı bulunan istinat duvarları zemin yüzeyinde meydana gelen ani değişimleri düşeye yakın bir düzlemde gerçekleştirmeye ve zeminin doğal şev açısı ile yayılmasını önlemeye çalışır.

İstinat duvarları yol inşaatları, demiryolu inşaatları, çok katlı yapı inşaatları ve alt geçit inşaatlarında çok sık uygulanırlar. En büyük kullanım alanı ise yol inşaatlarıdır. Bu bakımdan karayolu inşaatlarında çalışan mühendislerin istinat duvarlarının hesabını ve yapım koşullarını yakından bilmeleri önemlidir. İstinat duvarları, çeşitli malzeme ve değişik geometrik şekillerde inşa edilebilirler : sabit kesitli, trapez kesitli, arkaya veya öne eğimli istinat duvarları gibi.

İstinat duvarları inşaa edildikten sonra arkası uygun bir şekilde doldurulur. Buna duvar arka dolgusu denir. Duvar önü tabirinden duvarın atmosferdeki yüzü anlaşılır. Duvarın ön taraftaki alt ucuna topuk denir.

İstinat duvarları malzeme bakımından ekonomik ve stabilite açısından güvenli olması gerekir. İstinat duvarlarının el ile tasarımı büyük ölçüde zaman kaybına sebep olmaktadır. Bilgisayar yardımıyla çok kısa sürede daha hassas, güvenilir ve ekonomik tasarımlar gerçekleştirmek mümkündür. Bu çalışmada, betonarme istinat duvarları için deprensiz ve depremlerle durumlarda ayrı ayrı olmak üzere boyutlandırma, kayma tahkiki, devrilme tahkiki, taban basıncı tahkiki ve toptan göçme tahkiki ile gerekli donatı miktarlarını hesaplayan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

2. İSTİNAT DUVARLARINA GELEN KUVVETLER

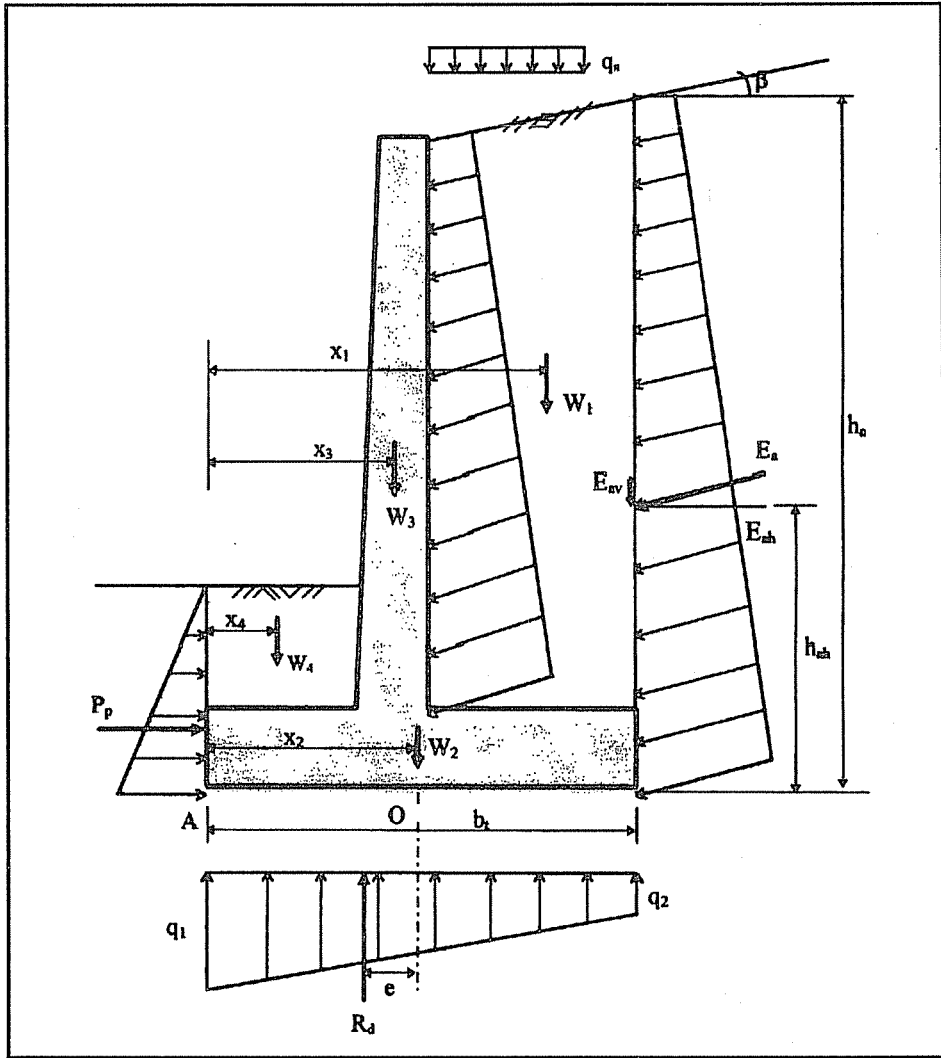
Bir istinat duvarına gelen kuvvetler ağırlık kuvvetleri ile toprak basınçları ve üniform yayılı zemin üstü yükünden (sürşarj) oluşan statik kuvvetler ile bu kuvvetlerin depremden doğan dinamik katkılarında meydana gelmektedir. Söz konusu kuvvetler betonarme istinat duvarı için Şekil.1'de gösterilmiştir. Aşağıda toprak basınçlarından gelen kuvvetlerin hesabı için kısa bir özet sunulmuştur.

2.1. Zemin İtkisi

Coulomb kama teorisine göre toprak dolgunun duvara verdiği aktif itki kohezyonsuz zeminler için aşağıdaki gibidir (1).

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma h^2 \frac{\lambda_a}{\cos(\delta - \alpha)} \quad (1)$$

Bu itkinin yatay bileşeni



Şekil 1. Konsol Tipi Betonarme İstinat Duvarına Gelen Kuvvetler

$$E_{ah} = \frac{1}{2} \gamma h^2 \lambda_a \quad (2)$$

şeklindedir. Burada

$$\lambda_a = \frac{\cos^2(\phi + \alpha)}{\cos^2 \alpha (1 + \eta_a)^{1/2}}$$

$$\eta_a = \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\alpha - \delta) \cos(\alpha + \beta)}$$

- δ : İstinat elemanı arka yüzünde sürtünme açısı,
 α : İstinat elemanı arka yüz eğimi,
 β : Zemin üst yüzey eğimi,
 ϕ : Zeminde sürtünme açısı,
 γ : Kama içindeki zeminin birim hacim ağırlığı, ve
 h : İstinat elemanı arkasındaki zemin yüksekliğidir.

İstinat elemanının hemen arkasında başlayan üniform yayılı yükten oluşacak ilave toprak itkisi aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir.

$$E_{aq} = \gamma h' h \lambda_a \quad (3)$$

Burada $h' = q_s / \gamma$, q_s yüküne eşdeğer bir dolgu yüksekliğini temsil etmektedir.

2.2. Pasif İtke

Kohezyonun ihmal edilmesi durumunda Coulomb kayma yüzeyini düzlem kabul ederek pasif itki E_p yi aşağıdaki gibi vermiştir.

$$E_p = \frac{1}{2} \gamma h^2 \frac{\lambda_p}{\cos(\delta - \alpha)} \quad (4)$$

Bu kuvvetin yatay bileşeni

$$E_{ph} = \frac{1}{2} \gamma h^2 \lambda_p \quad (5)$$

olarak yazılabilir. Burada

$$\lambda_p = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2 \alpha (1 + \eta_p)^{1/2}}$$

$$\eta_p = \frac{\sin(\phi - \delta) \sin(\phi + \beta)}{\cos(\alpha - \delta) \cos(\alpha + \beta)}$$

Kohezyonun etkisi aktif ve pasif yanal zemin basıncı dağılımlarına aşağıdaki sabit değerlerin eklenmesiyle gözönüne alınabilir:

$$\text{Aktif yanal basınca} \quad e_{ca} = -2 c \lambda_a^{1/2} \quad (6)$$

$$\text{Pasif yanal basınca } e_{cp} = 2 c \lambda_p^{1/2} \quad (7)$$

Burada c kohezyonu göstermektedir.

2.3. Depremden Doğan İlave Basınçlar

Deprem esnasında meydana gelen atalet kuvvetlerinin yatay olduğu kabul edilmektedir. Bu sebeple deprem esnasında, depresiz durumdaki yanal basınçların artması veya eksilmesi sözkonusudur.

Deprem esnasında dolgu yüzünden itibaren bir z derinliğinde oluşacak aktif ve pasif yanal toprak basınçları aşağıdaki ifadelerle verilmiştir (1).

$$e_{Da} = \gamma z \lambda_{Da} - 2 c \lambda_{Da}^{1/2} + q_s \lambda_{Da} \quad (8)$$

$$e_{Dp} = \gamma z \lambda_{Dp} + 2 c \lambda_{Dp}^{1/2} \quad (9)$$

Burada,

$$\lambda_{Da} = \frac{\cos^2(\phi - \theta_e + \alpha)}{\cos \theta_e \cos^2 \alpha \cos(\delta + \theta_e - \alpha) (1 + \eta_{Da})^{1/2}{}^2}$$

$$\lambda_{Dp} = \frac{\cos^2(\phi - \theta_e - \alpha)}{\cos \theta_e \cos^2 \alpha \cos(\delta + \theta_e - \alpha) (1 - \eta_{Dp})^{1/2}{}^2}$$

$$\eta_{Da} = \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta_e - \beta)}{\cos(\delta + \theta_e - \alpha) \cos(\alpha + \beta)}$$

$$\eta_{Dp} = \frac{\sin(\phi - \delta) \sin(\phi - \theta_e + \beta)}{\cos(\delta - \theta_e - \alpha) \cos(\alpha + \beta)}$$

olup, $\tan \theta_e = C_h$ deprem yükü katsayısıdır ve aşağıdaki gibidir.

$$C_h = C S I \quad (10)$$

(10) ifadesinde C deprem bölge katsayısı zemin cinsine göre 0.25-0.40 arasında, S zemin ivme katsayısı deprem derecesine göre 1.0-1.6 arasında değişmekte, I yapı önem katsayısı duvar üstü zemininde yapı bulunması durumunda 1.2 aksi halde 1.0 alınmaktadır.

Deprem kuvvetlerinin istinat duvarlarına etkisi hesaplanırken aktif itki bölgesinde E_{Da} ve bunun yatay bileşeni E_{Dah} bulunur. $E_{Dah} - E_{ah} = \Delta E_{Da}$ farkı istinat elemanının h

yüksekliği boyunca üçgensel olarak dağıtılır. Deprem kuvvetleri aktif basınç kuvvetlerini artırıcı yönde etkiler. Pasif itki bölgesinde de aynı yöntem geçerlidir. Ancak deprem kuvvetleri pasif itki kuvvetini azaltıcı yönde olduğundan hesaplara dahil edilmemesi daha uygundur. Konu ile ilgili geniş bilgi kaynak (2) de verilmiştir.

3. İSTİNAT DUVARLARINDA YAPILMASI GEREKLİ TAHKİKLER

3.1. Kayma Tahkiki

İstinat duvarının kaymaya karşı güvenli olabilmesi için aşağıdaki şartı sağlamalıdır:

$$\frac{\text{Kaymaya karşı kuvvetler toplamı}}{\text{Kaydırıcı kuvvetler toplamı}} \geq G_k \quad (11)$$

Burada G_k kayma güvenlik sayısı olup 1.5 ile 2.0 arasında değerler alır. Bu çalışmadaki hesaplarda kayma güvenlik sayısı depremsiz durum için 1.5, depremlili durumda 1.35 olarak alınmıştır.

3.2. Devrilme Tahkiki

Duvarın devrilmeye karşı güvenli olabilmesi için Şekil.1'de gösterilen A noktasına göre alınan momentlerin aşağıdaki şartı sağlaması gerekir.

$$\frac{\text{Karşı koyan momentler toplamı}}{\text{Devirici momentler toplamı}} \geq G_d \quad (12)$$

Burada G_d , devrilme güvenlik sayısı olup depremsiz durumda 2.0, depremlili durumda 1.25 alınmıştır.

3.3. Taban Basıncı Tahkiki

Temel altındaki maksimum ve minimum zemin gerilmeleri temel plağının rijit olduğu varsayımı ile birim genişlikli temel için aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$q = \frac{N}{b_t} \pm \frac{6M_o}{b_t^2} \quad (13)$$

(13) ifadesinde N düşey kuvvetlerin bileşkesi, M_o Şekil.1'deki O noktasına göre moment ve b_t temel genişliğini göstermektedir.

İstinat duvarının taban basıncı tahkikini sağlayabilmesi için depremsiz durumda:

$$q_{\text{mak}} \leq q_{\text{em}} \quad (14)$$

ve depremlili durumda

$$q_{\text{mak}} \leq 1.33 q_{\text{em}} \quad (15)$$

şartı sağlanmalıdır. q_{em} zemin emniyet gerilmesini göstermektedir. Her iki durumda da $q_{min} \geq 0$ olmalıdır.

3.4. Toptan Göçme Tahkiki

İstinat duvarı ile beraber bir zemin kütesinin alt zemin üzerinde kaymasıyla ortaya çıkan göçmedir. Bir yüzey boyunca kayma güvenliğinin oluşabilmesi için nihai kayma mukavemetinin, kaymanın başladığı andaki kayma mukavemetine oranının en azından belli bir güvenlik sayısına eşit olması beklenir, yani:

$$\frac{c' + (\sigma - u) \tan \phi'}{\tau} \quad (16)$$

Burada F_s toptan göçme güvenlik sayısı, c' efektif gerilmelere göre kohezyon, σ toplam gerilme, u boşluk basıncı ve ϕ' efektif gerilmelere göre kayma mukavemeti açısıdır.

Toptan göçme tahkiki için bu çalışmada Bishop dilim yöntemi kullanılmıştır (3). Bu yöntemle göre yapılan hesaplarda kritik kayma dairesinin bulunması için kabul edilen F_s güvenlik sayısı değerleri 1.1 ile 2.0 arasında değişebilmektedir. Bu çalışmada istinat duvarından toptan göçme tahkiki için kritik kayma dairesi ile topuktan geçen kayma dairesi karşılaştırılmıştır. Eğer kritik kayma dairesi topuğu içine almıyorsa yapının toptan göçmeye karşı güvenli olduğu anlaşılmaktadır.

4. BULGULAR

Bu çalışmada betonarme konsol tipi istinat duvarının tasarımı için fortran dilinde bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Programda takibedilen hesap yöntemi aşağıda kısaca özetlenmektedir.

Tasarımda ilk aşama boyutlandırma adıdır. Gövde üst kalınlığı için uygun bir minimum boyut seçildikten sonra gövde alt kalınlığı aktif toprak basıncı altında dengeli betonarme hesap esasına göre boyutlandırılmakta, çıkan kesit yüksekliği 5 veya 10 (yakın olan) santimetreye yuvarlatılmaktadır. Verilen diğer boyutlara göre 3. bölümde açıklanan tahkikler (toptan göçme hariç) yapılmakta ve herhangi birinin sağlanmaması halinde temel genişliği her defasında 0.1 m artırılmaktadır. Eğer temel genişliği kabul edilen bir maksimum değeri geçerse bu kez 0.1 m aralıklarla derinlik artımı yoluna gidilmekte ve tüm tahkikler sağlanıncaya kadar bu işleme devam edilmektedir.

Programda toptan göçme tahkikine geçmeden önce gövde ve temelin betonarme hesabı yapılmakta böylece beton ve çelik için gerilme tahkiki de yapılmış olmaktadır.

Bilgisayar programının akışı içinde son olarak konsol betonarme istinat duvarının toptan göçme tahkiki yapılmaktadır. Bu tahkik esnasında istinat yapısının bulunduğu zemin üzerinde duvarın üst ucundan başlamak üzere belirli yarıçaplarda teşkil edilen kayma daireleri için güvenlik sayıları hesaplanmakta ve kritik kayma dairesinin yeri bulunmaktadır. Kritik kayma dairesinin istinat duvarının topuğunu içine alması halinde

yapının toptan göçmeye maruz kaldığı sonucuna varılmaktadır.

İstinat duvarının projelendirilmesi için hazırlanan örnek bir veri dosyası ve programdan elde edilen hesap bulguları depresiz durum için aşağıda verilmiştir.

***** VERİLER *****

GÖVDE YÜKS.....= 6.500 M	GAMA1..... = 1.800 TON/M3
MAX.GÖ.YÜKS.....= 9.000 M	GAMA2..... = 1.650 TON/M3
ZEM.KOT FARKLI.= 6.000 M	KOHEZYON..... = 5.000 TON/M2
SU ŞEVİYESİ.....= .000 M	YAYILI YÜK.....= .500 TON/M2
GÖ.ÜST KAL.....= .250 M	PAS.İTKİ YÜZD.....= .000
GÖ. ÖN EĞİMİ.....= 100.000 %	KAYMA GÜV. SA.....= 1.500
GÖ.ARKA EĞİMİ..= .000 %	DEVR. GÜV. SA.....= 2.000
MİN.TEM.ORANI..= .400	ZEMİN EM. GER.....= 3.000 KG/CM2
MAX.TEM.ORANI.= .700	BETON EM. GER.....= 60.000 KG/CM2
TEM.KAL.ORANI..= .120	BE.KAY.EM.GER.....= 6.000 KG/CM2
TEM ÖN ORANI...= .700	DEMİR EM. GER.....=1400.000 KG/CM2
BETA.....= 15.000 D	GÖVDE PASPAYI= 3.000 CM
PHI1.....= 30.000 D	TEMEL PASPAYI= 5.000 CM
PHI2.....= 26.000 D	YÜKS.ARTIRIMI= .100 M
APHI2.....= 2.000 D	TEM.GEN.ARTIR.....= .100 M
AKPHI2.....= 2.000 D	TEMEL UÇ ORANI.....= 1.000
SURTA.....= .000 D	SURSARJ.....= .500
ALFA.....= .000 D	

***** HESAPLANAN DEĞERLER *****

GÖVDE ÜST KALINLIĞI	= .250 M
GÖVDE ALT KALINLIĞI	= .650 M
GÖVDE YÜKSEKLİĞİ.....	= 6.500 M
GÖVDE ÖN YÜZ EĞİMİ.....	= 6.154 %
TEMEL GENİŞLİĞİ	= 4.100 M
TEMEL ÖN GENİŞLİĞİ.....	= 1.035 M
TEMEL ARKA GENİŞLİĞİ.....	= 2.415 M
TEMEL KALINLIĞI	= .800 M
TEMEL ÖNÜ TOPRAK YÜKSEKLİĞİ.....	= 1.300 M
TEMEL ARKASI TOPRAK YÜKSEKLİĞİ....	= 7.947 M
TOPLAM SÜRTÜNME KUVVETİ.....	= 40.717 TON
TOPLAM YATAY KUVVET.....	= 18.103 TON
KAYMAYA KARŞI GÜVENLİK	= 2.249
KAYMA İTERASYON SAYISI.....	= 0

KARŞI KOYAN MOMENTLER TOPLAMI...	= 112.184 TM
DEVİRİCİ MOMENTLER TOPLAMI	= 50.071 TM
DEVİRİLMEMEYE KARŞI GÜVENLİK	= 2.241
DEVİRİLMEME İTERASYON SAYISI	= 13
EKSANTRİKLİK.....	= .682 M
MAKSİMUM EKSANTRİKLİK.....	= .683 M
EKSANTR. İTERASYON SAYISI.....	= 2
TEMEL ÖNÜ ZEMİN GERİLMESİ	= 22.130 T/M2
TEMEL ARKASI ZEMİN GERİLMESİ	= .020 T/M2
ZEMİN GERİLMESİ İTER. SAYISI.....	= 0
GÖVDEDE BETON GERİLMESİ	= 54.094 KG/CM2
GÖVDEDE DEMİR ALANI.....	= 43.952 CM2
GÖVDEDE KAYMA GERİLMESİ.....	= 2.732 KG/CM2
TEMELDE BETON GERİLMESİ.....	= 26.690 KG/CM2
TEMELDE DEMİR ALANI.....	= 15.899 CM2
TEMELDE KAYMA GERİLMESİ	= 2.883 KG/CM2

ŞEV KENAR SAYISI = 4 TABAKA SAYISI = 1
KENAR DOĞRULARININ UÇ KOORDİNATLARI

X1	Y1	X2	Y2
10.000	170.000	20.000	170.000
20.000	170.000	20.300	176.500
20.300	176.500	20.550	176.500
20.550	176.500	35.000	180.500

TABAKA UÇ KOORDİNATLARI

X1	Y1	X2	Y2
10.000	155.000	40.000	155.000

TABAKALARIN ÖZELLİKLERİ

PHI	COH	GAMMA	RU	
.262	.250	1.950	.000	
GS	XC	YC	R	RTOP
.830	20.050	176.508	6.699	7.428
GS	XC	YC	R	RTOP
.602	19.490	177.032	7.341	7.950
GS	XC	YC	R	RTOP
.965	19.230	177.530	8.160	8.447
GS	XC	YC	R	RTOP
1.062	19.270	178.003	8.627	8.920

YAPI TOPTAN GÖÇMEYE MARUZ KALMAMAKTADIR
KRİTİK KAYMA DAİRESİ TOPUĞU KAYDIRACAK
ŞEKİLDE TOPUĞU İÇİNE ALMAMAKTADIR

Aynı örneğin depremlili duruma göre hesaplanmasından elde edilen çıktılar aşağıdadır.

***** HESAPLANAN DEĞERLER *****

GÖVDE ÜST KALINLIĞI	=	.300 M
GÖVDE ALT KALINLIĞI	=	.550 M
GÖVDE YÜKSEKLİĞİ.....	=	6.500 M
GÖVDE ÖN YÜZ EĞİMİ.....	=	3.906 %
TEMEL GENİŞLİĞİ	=	5.960 M
TEMEL ÖN GENİŞLİĞİ.....	=	1.082 M
TEMEL ARKA GENİŞLİĞİ.....	=	4.328 M
TEMEL KALINLIĞI	=	.800 M
TEMEL ÖNÜ TOPRAK YÜKSEKLİĞİ.....	=	1.200 M
TEMEL ARKASI TOPRAK YÜKSEKLİĞİ ..	=	7.200 M
TOPLAM SÜRTÜNME KUVVETİ.....	=	30.518 TON
TOPLAM YATAY KUVVET.....	=	22.541 TON
KAYMAYA KARŞI GÜVENLİK	=	1.354
KAYMA İTERASYON SAYISI.....	=	34
KARŞI KOYAN MOMENTLER TOPLAMI ..	=	232.630 TM
DEVİRİCİ MOMENTLER TOPLAMI	=	68.186 TM
DEVİRİLMEME KARŞI GÜVENLİK	=	3.412
DEVİRİLME İTERASYON SAYISI	=	0
DEPREM BÖLGE DERECESESİ.....	=	2.000
EKSANTRİKLİK.....	=	.581M
MAKSİMUM EKSANTRİKLİK.....	=	.993 M
EKSANTR. İTERASYON SAYISI.....	=	0
TEMEL ÖNÜ ZEMİN GERİLMESİ	=	18.226 T/M2
TEMEL ARKASI ZEMİN GERİLMESİ	=	4.775 T/M2
ZEMİN GERİLMESİ İTER. SAYISI.....	=	0
GÖVDEDE BETON GERİLMESİ	=	125.388 KG/CM2
GÖVDEDE DEMİR ALANI.....	=	87.990 CM2
GÖVDEDE KAYMA GERİLMESİ.....	=	3.331KG/CM2
TEMELDE BETON GERİLMESİ.....	=	83.043 KG/CM2
TEMELDE DEMİR ALANI.....	=	67.033 CM2
TEMELDE KAYMA GERİLMESİ	=	6.434 KG/CM2

ŞEV KENAR SAYISI = 4 TABAKA SAYISI = 1

KENAR DOĞRULARININ UÇ KOORDİNATLARI

X1	Y1	X2	Y2
10.000	170.000	20.000	170.000
20.000	170.000	20.300	176.500
20.300	176.500	20.550	176.500
20.550	176.500	35.000	180.500

TABAKA UÇ KOORDİNATLARI

X1	Y1	X2	Y2
10.000	155.000	40.000	155.000

TABAKALARIN ÖZELLİKLERİ

PHI	COH	GAMMA	RU	
.262	.250	1.950	.000	
GS	XC	YC	R	RTOP
.830	20.050	176.508	6.699	7.428
GS	XC	YC	R	RTOP
.602	19.490	177.032	7.341	7.950
GS	XC	YC	R	RTOP
.965	19.230	177.530	8.160	8.447
GS	XC	YC	R	RTOP
1.062	19.270	178.003	8.627	8.920

YAPI TOPTAN GÖÇMEYE MARUZ KALMAMAKTADIR

KRİTİK KAYMA DAİRESİ TOPUĞU KAYDIRACAK

ŞEKİLDE TOPUĞU İÇİNE ALMAMAKTADIR

Bu iki çıktı dosyasından görüleceği gibi depremli durumda hesaplanan donatı miktarı depremsiz duruma göre önemli artışlar göstermektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada betonarme istinat duvarlarının projelendirilmesi için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Program yardımı ile yapı için gerekli olan kayma, devrilme, taban basıncı, malzeme gerilmeleri ve toptan göçme tahkikleri sistematik bir şekilde yapılmakta ve bu tahkikleri sağlayan tasarım için istinat duvarının boyutlandırılması yapılmaktadır.

Toptan göçme tahkikinde kritik kayma dairesinin duvar topuğunun içine düşmesi istenmektedir. Dışına düşmesi durumunda toptan göçmeye göre tasarımda yapılabilecek yeniden boyutlandırmada ekonomik olmayan tasarımların elde edilmesi mümkündür. Elde edilen hesap bulgularından, istinat duvarının tasarımında depremden doğacak ilave etkilerin gözönüne alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

6. KAYNAKLAR

1. Özden,K., Trupia,A., Eren,İ. ve Öztürk,T., *Betonarme İstinat Duvarları ve Perdeleri. Betonarme Yapılar Semineri III, İstanbul, 1992.*
2. Epsileli,S.E., *İstinat Duvarlarının Bilgisayar Yardımı ile Projelendirilmesi. Y. Lisans Tezi, Ç.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1996.*
3. Bishop,A.W., *The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slope. Geotechnique, 5 (1), 7-17, 1955.*

KIRILMA BÖLGESİNDE DALGA SINIR TABAKASININ İNCELENMESİ

M.Salih KIRKGÖZ, Fatima AL-SALEH ve M.Sami AKÖZ
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

ÖZET : 1/6 ve 1/12 eğimli pürüzsüz tabanlardaki periyodik dalgaların transformasyon bölgesinde Laser-Doppler anemometresi ile ölçülen yatay partikül hızları değerlendirilmiştir. Sınır tabakasında ölçülen hız profillerinin laminar teori ile kısmen uyumlu olduğu bulunmuştur. Sınır tabakası kalınlığı su derinliğinin 0.004 ile 0.03 katı arasında değişmektedir. Yerel sürtünme katsayısı ile Reynolds sayısı arasında iyi bir ilişkinin olduğu görülmüştür.

**INVESTIGATION OF WAVE BOUNDARY LAYER IN
THE BREAKING ZONE**

ABSTRACT : Horizontal particle velocities measured by a Laser-Doppler anemometer in the transformation zone of periodic waves on 1/6 and 1/12 sloping smooth beds are evaluated. The measured velocity profiles in the boundary layer are found partly in agreement with the laminar theory. The boundary layer thickness changes between 0.004 and 0.03 times the water depth. There is a good correlation between the local friction coefficient and the Reynolds number.

1. GİRİŞ

Deniz dalgaları eğimli bir taban üzerinde kıyıya doğru yaklaştığında bazı karakteristik özelliklerinde değişimler meydana gelir. Derin-su bölgesinde simetrik olan dalga profili eğimli bir tabanda belirli derinlik şartlarına ulaşıncaya simetrisini kaybetmeye başlar. Dalga profilindeki deformasyon ile birlikte dalganın kırılma süreci de başlamış olur. Sıçrayarak kırılan dalgaların kırılma süreci içinde dalga profilindeki asimetrik oluşumun meydana geldiği bölge "transformasyon" bölgesi olarak adlandırılır.

Transformasyon bölgesinde taban sürtünmelerinin etkisi büyük ölçüde hissedilir ve partikül hız dağılımında sınır tabakasının gelişimi gittikçe belirgin hale gelir. Dalga sınır tabakasının incelenmesi, sürtünme enerji kayıplarının hesaplanması ve sediment taşınımı problemlerinde önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında 1/6 ve 1/12 eğimli pürüzsüz bir tabanlar üzerinde kıyıya dik olarak yayılan periyodik dalgaların transformasyon bölgesinde sınır tabakası akımında Laser-Doppler anemometresi ile ölçülmüş olan düşey partikül hız dağılımları değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler dalga tepesi ve dalga çukuru altındaki düşeyler için yapılmıştır. Hız dağılımlarında katı sınırdan etkilenen sınır tabakasında sınır tabakası kalınlığının transformasyon bölgesinde derin-su dalga dikliği ile nasıl değiştiği incelenmiştir. Tabana çok yakın hız profillerinden kayma hızları hesaplanmış ve bu değerlerin kıydan uzaklık ile değişimi ve boyutsuz kayma hızının rölatif derinlik ile değişimi incelenmiştir. Bulunan kayma hızlarından yerel sürtünme katsayısı tayin edilmiş ve Reynolds sayısı ile değişimi incelenmiştir.

2. TEORİK ANALİZ

Sınır tabakasında akım hızlarının bulunması için iki boyutlu Navier-Stokes denkleminin yatay x doğrultusundaki bileşeni kullanılabilir.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

Burada, $u(x,z,t)$ yatay partikül hızı, $v(x,z,t)$ düşey partikül hızı, $p(x,z,t)$ basınç, ρ özgül kütle, ν kinematik viskozite ve z katı sınırdan düşey uzaklığı göstermektedir. (1) denklemini sınır tabakası akımında ν , $\partial u/\partial x$ ve $\partial^2 u/\partial z^2$ büyüklüklerinin ihmal edilmesi ile aşağıdaki gibi sadeleştirilebilir.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2)$$

Sınır tabakasının üst sınırında ideal akım varsayımı ile Euler hareket denklemini yazılabilir, yani $z=\delta$, $u=u_\delta$ için

$$\frac{\partial u_{\delta}}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (3)$$

(3) denklemi, (2) ifadesinde kullanılırsa

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial u_{\delta}}{\partial t} + v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (4)$$

Dalga sınır tabakasının üst sınırındaki serbest akım hızı

$$u_{\delta} = u_{\delta m} \cos \omega t \quad (5)$$

şeklinde tanımlanabilir. (5) ifadesinde $u_{\delta m}$ serbest akım hızının maksimum değeri ω dalga açısal frekansıdır. (5) ifadesi (4) denkleminde yerine yazılırsa sınır tabakası akımı için hareket denklemi aşağıdaki gibi elde edilir:

$$v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \frac{\partial u}{\partial t} = u_{\delta m} \omega \sin \omega t \quad (6)$$

(6) diferansiyel denkleminin $z=0$ için $u=0$ ve $z=\delta$ için $u=u_{\delta m}$ sınır şartları altında çözümü

$$u = u_{\delta m} \left[\cos \omega t - e^{-\beta z} \cos(\omega t - \beta z) \right] \quad (7)$$

şeklinde bulunur. Burada $\beta = (\omega / 2\nu)^{1/2}$.

Düzenli akımda sınır gerilmesi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (1).

$$\tau_0 = f_w \frac{1}{2} \rho u_{\delta}^2 \quad (8)$$

Burada f_w yerel sürtünme katsayısıdır. (8) denkleminde $u_* = \sqrt{\tau_0 / \rho}$ kayma hızı olarak tanımlanırsa yerel sürtünme katsayısı aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$f_w = 2 \left(\frac{u_*}{u_{\delta}} \right)^2 \quad (9)$$

3. DENEYSEL VERİLER

Bu çalışmada kullanılan deneysel veriler kısmen Kırkgöz (2) tarafından elde edilen veriler ve kısmen de aynı çalışma kapsamındaki yayınlanmış olan deney bulgularından alınmıştır.

Deneyler 12 m uzunluk ve 0.3x0.3 m kesitli bir laboratuvar kanalında yapılmıştır. Kanalın bir ucuna eğimleri 1/6 ve 1/12 olan eğik yüzeyler yerleştirilmiş ve kanalda

üretilen periyodik dalgaların bu yüzeyler üzerinde kırılması sağlanmıştır. Her taban eğimi için 3 farklı dalga şartlarında deney yapılmıştır. Deneylerde kullanılan dalga karakteristikleri Tablo.1'de verilmiştir. Bu tabloda T dalga periyodu, H_0 derin-su dalga yüksekliği, L_0 derin-su dalga boyu, H_1 ve L_1 kanalda ölçülen dalga yüksekliği ve dalga boyu ve H_0/L_0 derin-su dalga dikliğini göstermektedir. Kanaldaki durgun-su derinliği 1/6 eğimi için $d_1=0.24$ m ve 1/12 eğimi için $d_1=0.20$ m'dir.

Tablo 1. Dalga Karakteristikleri

Eğim	Test No	T (s)	H_0 (m)	L_0 (m)	H_1 (m)	L_1 (m)	H_0 / L_0
1/6	1	1.18	0.0283	2.174	0.0258	1.479	0.0129
	2	0.93	0.0407	1.350	0.0372	1.144	0.0301
	3	0.72	0.0476	0.809	0.0451	0.774	0.0588
1/12	1	1.70	0.0148	4.512	0.0154	2.267	0.0300
	2	1.27	0.0241	2.518	0.0230	1.618	0.0096
	3	0.69	0.0385	1.439	0.0352	1.164	0.0267

Laser-Doppler anemometresi ile dalga transformasyon bölgesinde partikül hız ölçümü yapılan kesitler Şekil.1'de görülmektedir. Ölçüm yapılan son kesit dalga kırılma noktasına büyük ölçüde yaklaşmaktadır. Ölçüm yapılan noktadaki yatay hız bileşeninin dalga tepesi ve çukurundaki partikül hızları sahil ve deniz yönünde olmak üzere u_{on} ve u_{off} şeklinde gösterilmiştir. Herbir düşeydeki hız ölçümleri tabandan itibaren 0.3 mm yüksekliğinden başlamak üzere sık aralıklarla gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

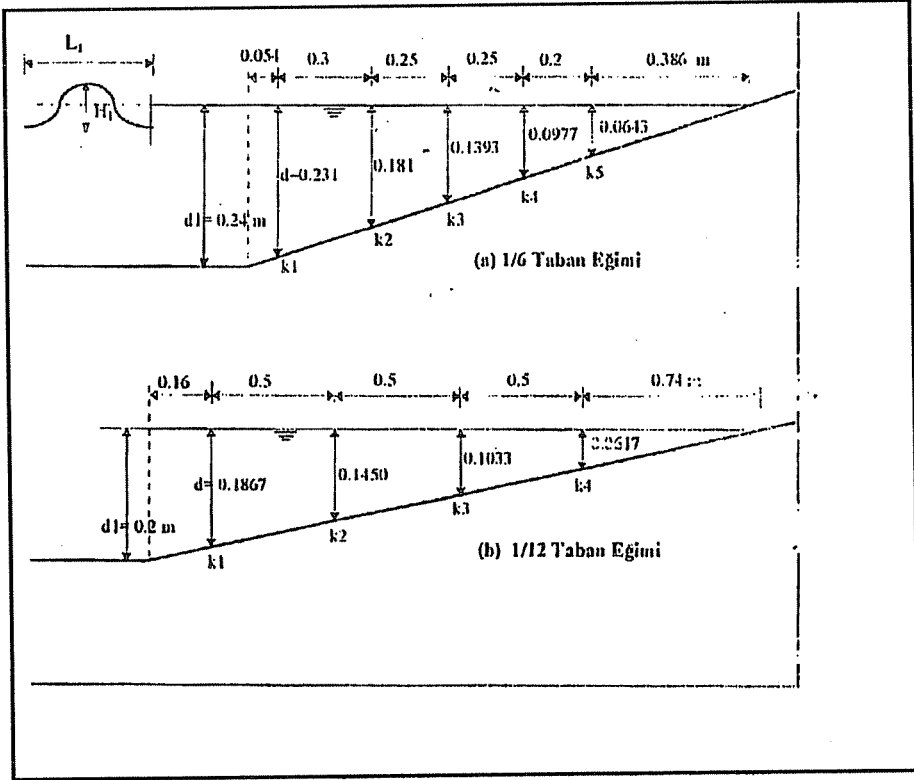
4.1. Dalga Sınır Tabakasında Hız Dağılımı

Dalga hareketindeki sınır tabakası, düzenli akıma benzer olarak katı sınır sürtünmelerinden etkilenen bölge olarak tanımlanabilir. Dalga sınır tabakasının kalınlığı olarak Şekil.2'de görüldüğü gibi serbest akım hızının (u_δ) başladığı δ mesafesi alınabileceği gibi tabandan itibaren maksimum hızın (u_η) olduğu η değerinin de kullanılması mümkündür.

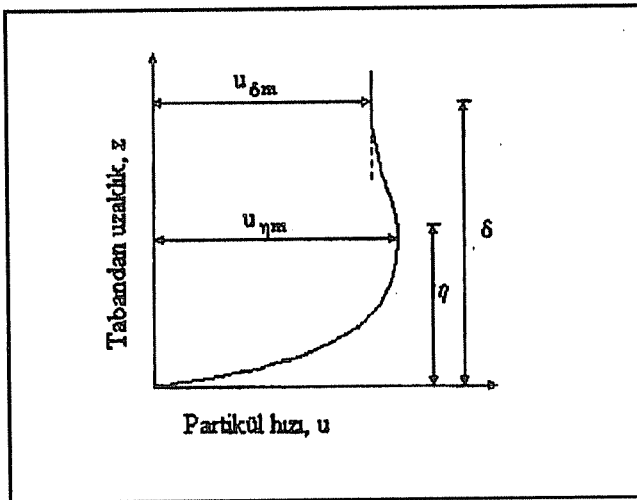
Şekil.2'de u_δ nın ve u_η nın dalga periyodu içindeki maksimum değerleri $u_{\delta m}$ ve $u_{\eta m}$ gösterilmiştir. δ kalınlığının kütle taşınımını da kapsayan bir bölgeyi içermesi ve ayrıca u_δ nın yerinin tesbitindeki güçlük nedeni ile bu çalışmada sınır tabakası kalınlığı olarak η mesafesinin seçilmesi uygun bulunmuştur.

Şekil.3'de 1/6 ve 1/12 eğimli tabanlardaki çeşitli kesitlerde ve 3 farklı dalga için katı sınıra yakın bölgelerde ölçülmüş yatay partikül hız bileşeninin düşey dağılımları

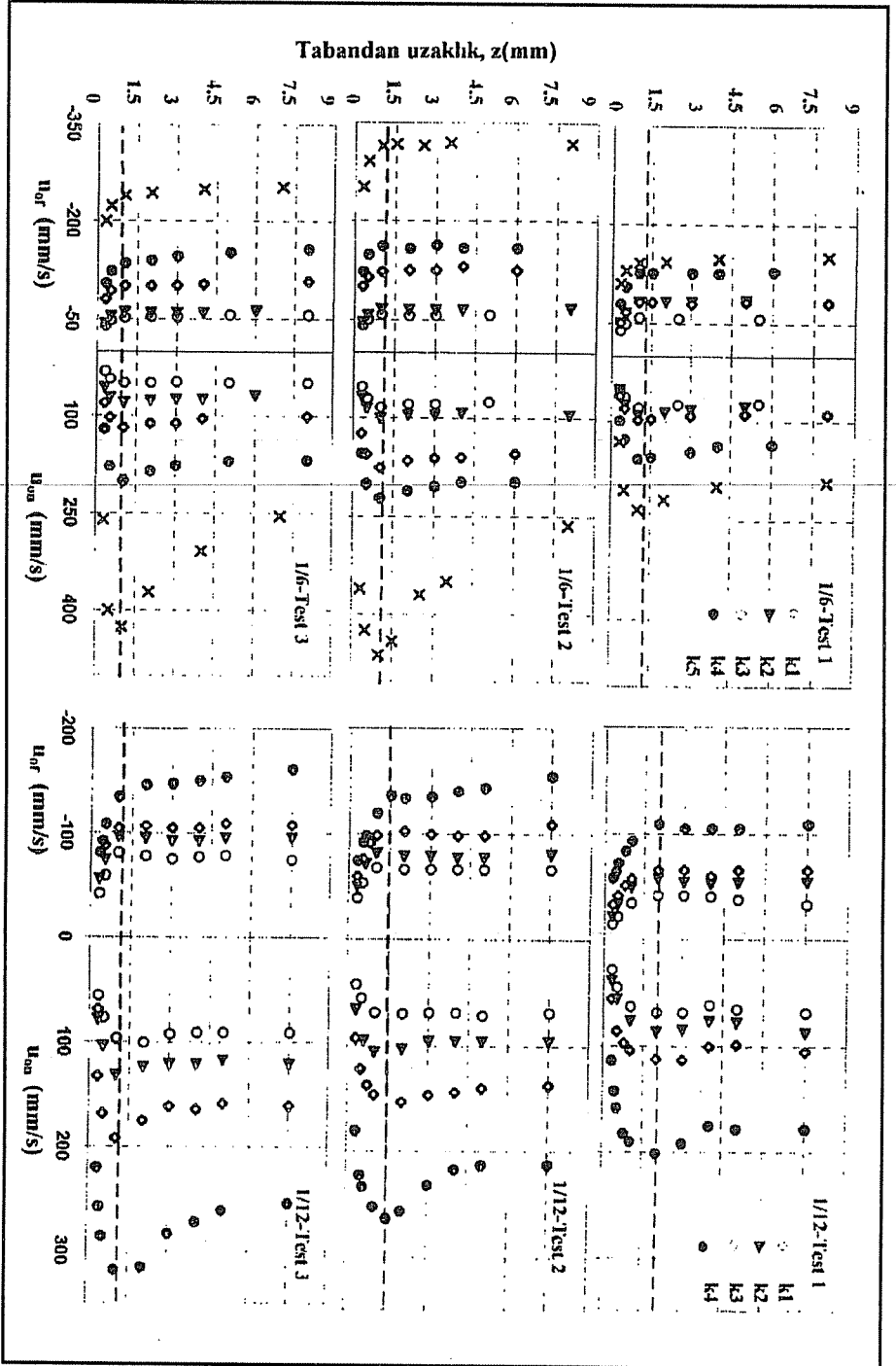
KIRILMA BÖLGESİNDE DALGA SINIR TABAKASININ İNCELENMESİ



Şekil 1. Hız Ölçümü Yapılan Kesitler



Şekil 2. Dalgada Sınır Tabakasının Tanımı



Şekil 3. Sınır Tabakasında Hız Dağılımları

verilmiştir. u_{on} değerleri dalga tepesi ve u_{of} değerleri dalga çukuruna ait düşeylerdeki hız profillerini temsil etmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi özellikle dalga tepesi altındaki dağılımlarda $u_{\eta m}$ değerleri $u_{\delta m}$ ye kıyasla kırılma noktasına yaklaştıkça ve H_0/L_0 ile birlikte büyük ölçüde artmaktadır. Dalga çukuru altındaki hız dağılımlarında $u_{\eta m}$ nin serbest akım hızına düzenli akım sınır tabakasındaki gibi daha yumuşak bir geçiş yaptığı görülmektedir. Şekil.3'deki hız profillerinde tepe ve çukur düşeyleri için $u_{\eta m}$ nin altındaki düşey yükseklikler sınır tabakası kalınlığı η olarak kabul edilmiştir. Görüldüğü gibi dalgada sınır tabakasının kalınlığı düzenli akımın aksine derinliğin küçük bir kısmını oluşturmaktadır (0.004d-0.03d). Şekil.3'de gözlenen diğer bir özellik sınır tabakası kalınlığının aynı dalga için transformasyon bölgesi boyunca sabit kalmasına karşın H_0/L_0 değerinin artması ile bir miktar azalma göstermesidir.

Şekil 4 de, Şekil.3'de verilen hız profilleri boyutsuz olarak gösterilmiştir. Bu şekilde yatay eksen $u/u_{\delta m}$ ve düşey eksen de βz olarak gösterilmiştir. Şekil.4'deki hız dağılımlarının üzerine ayrıca (7) ifadesi ile laminer çözümden elde edilen hız dağılımı modeli çizilmiştir. Şekil.4'deki hız profillerinde görüldüğü gibi teorik hız modeli deney bulguları ile dalga çukuru altında oldukça iyi sayılabilecek bir uyum sağlamakla birlikte tepesi altında kırılma noktasına doğru farklılıklar göstermektedir.

4.2. Dalga Sınır Tabakası Kalınlığı

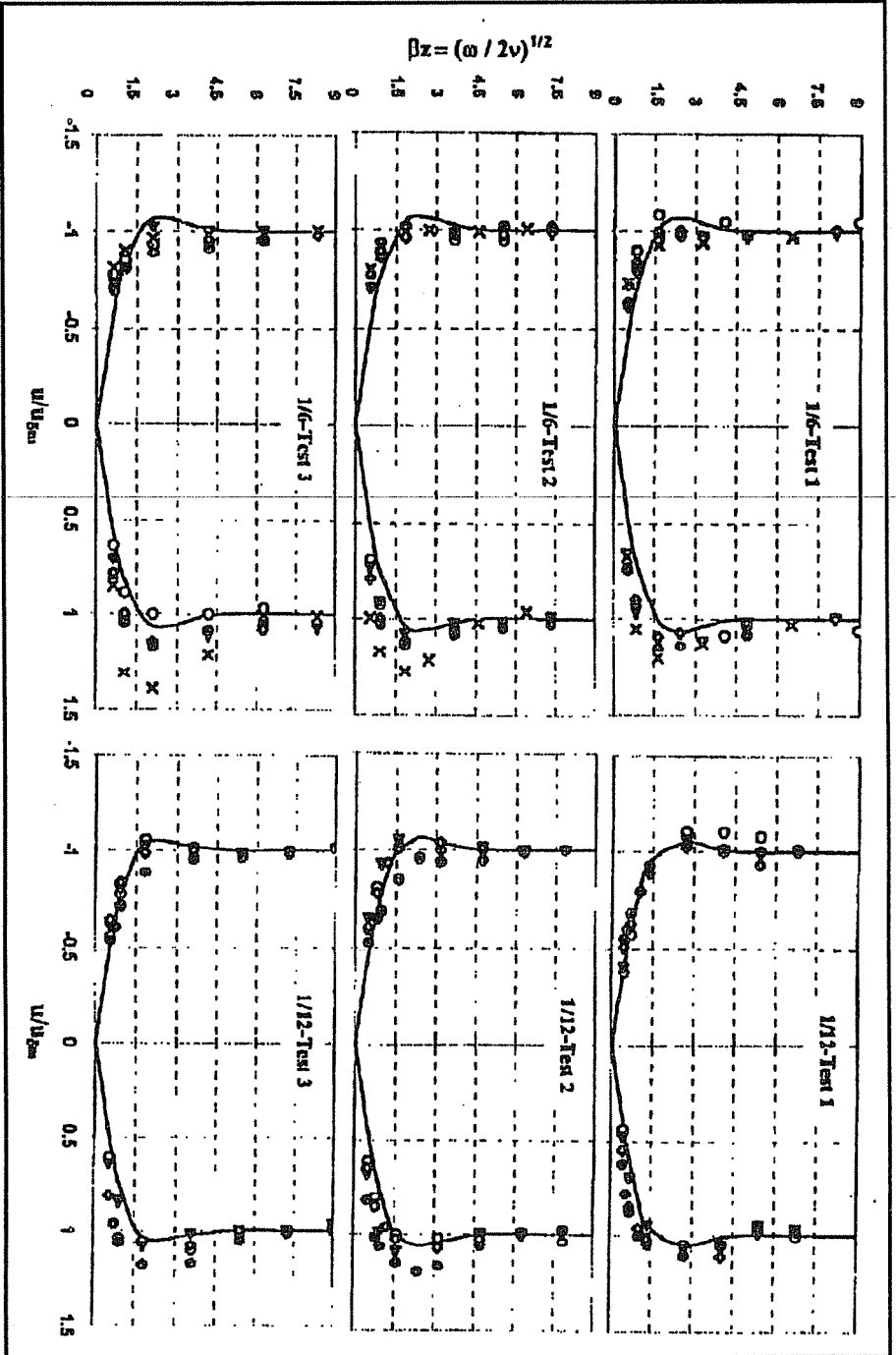
Şekil.3'deki akım hız profillerinden bulunan sınır tabakası kalınlıkları Tablo.2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Sınır Tabakası Kalınlıkları

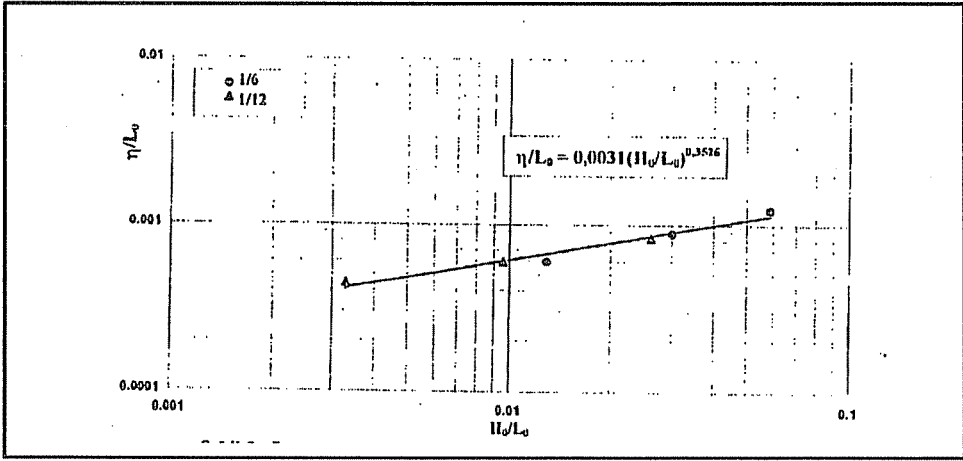
Taban Eğimi	Test No	H_0 / L_0	η (mm)	η / L_0
1/6	1	0.0129	1.3	0.000598
	2	0.0301	1.2	0.000889
	3	0.0588	1.0	0.001235
1/12	1	0.0030	2.0	0.000443
	2	0.0096	1.5	0.000596
	3	0.0262	1.2	0.000834

Şekil.5'de 1/6 ve 1/12 taban eğimleri için sınır tabakası kalınlığının derin-su dalga dikliği ile değişimi görülmektedir. Bu şekilden, mevcut deney şartları altındaki dalga sınır tabakası kalınlığının tesbiti için aşağıdaki ifade verilebilir.

$$\frac{\eta}{L_0} = 0.0031 \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{0.3526} \quad (10)$$



Şekil 4. Sınır Tabakasında β_z nin Fonksiyonu Olarak Hız Dağılımları



Şekil 5. Sınır Tabakası Kalınlığının Derin-Su Dalga Dikliği ile Değişimi

4.3. Taban Kayma Hızlarının Bulunması

Tabandaki kayma gerilmeleri ya doğrudan ölçülebilir (3,4), yada hız profillerinden yararlanılarak bulunabilir (5). Bu çalışmada dalga ile katı sınır arakesitindeki kayma hızlarını bulmak için katı sınırın hemen üstündeki doğrusal hız dağılımından faydalanılmıştır (2). Doğrusal dağılımda, bir z uzaklığındaki partikül hızının u olduğu düşünülerek Newton'un viskozite kanunu uygulanırsa kayma hızı için aşağıdaki ifade elde edilir.

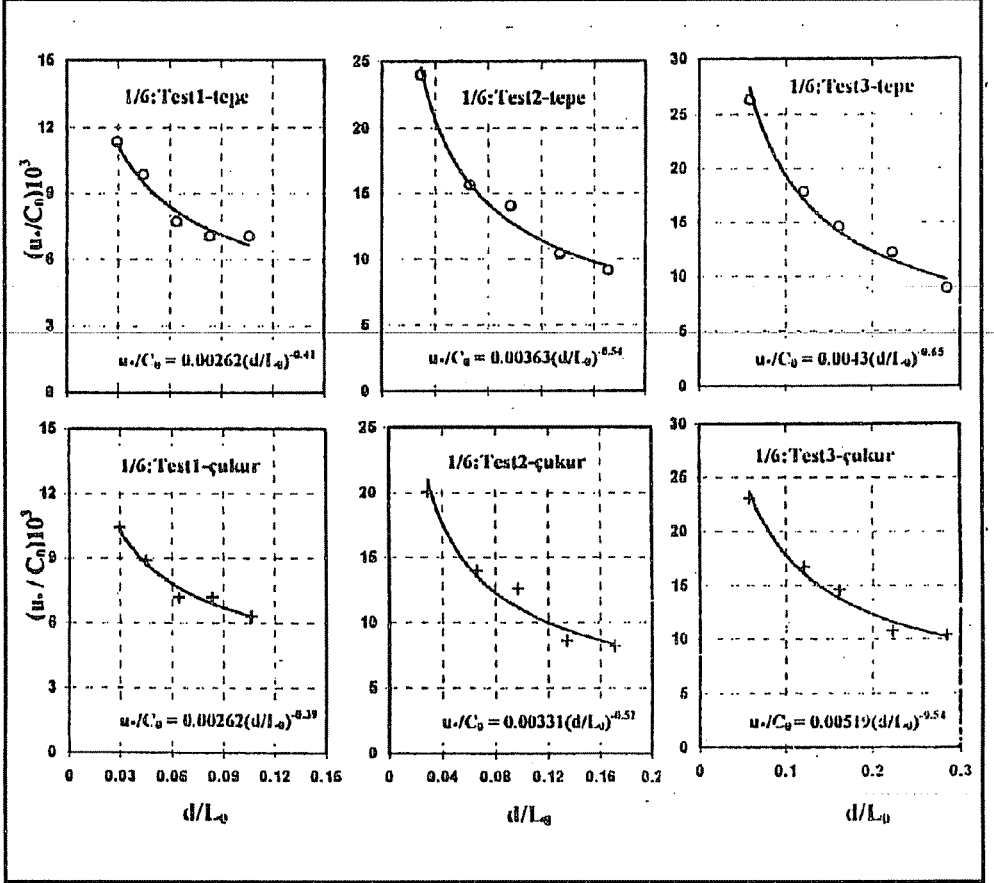
$$u_* = \sqrt{\nu u/z} \quad (11)$$

Bu çalışmada u_* 'ın hesabı için tabana en yakın ölçüm noktası olan $z = 0.3$ mm deki partikül hızı kullanılmıştır. (11) ifadesi ile hesaplanan kayma hızları Tablo.3'de verilmiştir.

Tablo 3. Kayma hızları (mm/s)

Taban Eğimi	Ölçüm Kesiti	Test 1		Test 2		Test 3	
		tepe	çukur	tepe	çukur	tepe	çukur
1/6	k1	12.97	11.60	13.23	11.89	10.05	11.60
	k2	12.97	13.23	15.13	12.44	13.73	12.03
	k3	14.21	13.23	20.43	18.35	16.41	16.41
	k4	18.16	16.41	22.77	20.35	20.10	18.80
	k5	20.92	19.24	34.81	29.13	29.59	25.95
1/12	k1	9.80	7.00	11.89	11.60	13.61	12.03
	k2	11.46	8.61	14.91	13.10	16.20	13.85
	k3	13.74	10.52	17.69	14.21	21.08	15.24
	k4	19.50	14.08	24.62	15.92	27.15	16.63

Tablo.3'deki kayma hızlarının derin-su dalga hızı C_0 ile boyutsuzlaştırılmış değerlerinin rölatif su derinliği d/L_0 ile değişimi 1/6 ve 1/12 eğimli tabanlardaki herbir dalga için ayrı ayrı Şekil.6 ve 7'de verilmiştir. Deney noktalarından geçen eğrilerin yaklaşık ifadeleri şekillerde görülmektedir.

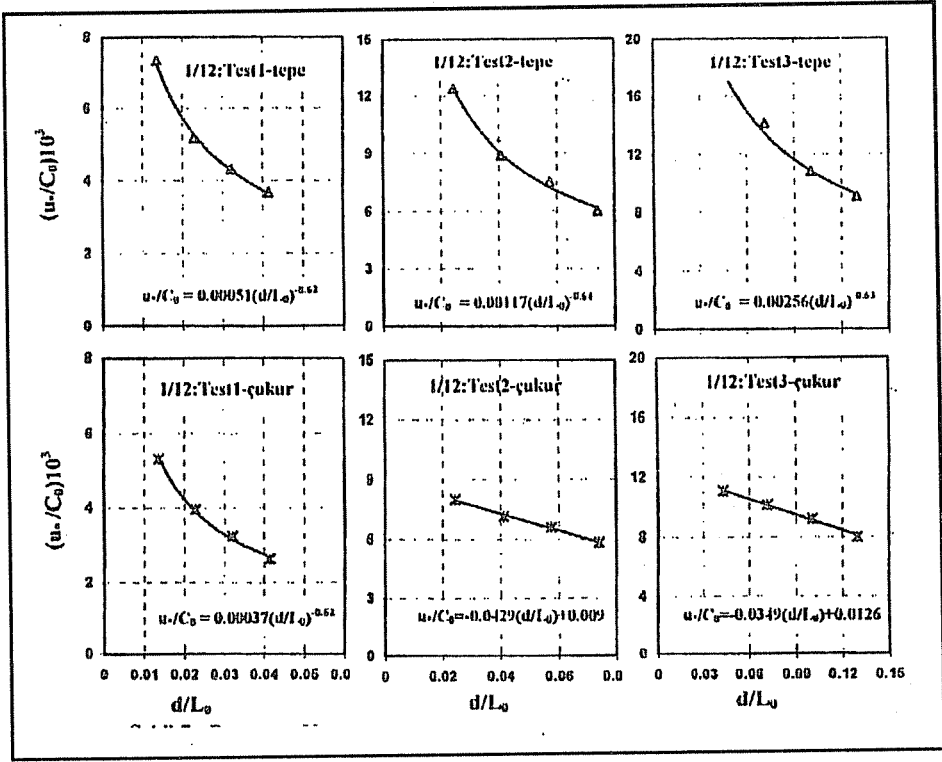


Şekil 6. Boyutsuz Kayma Hızının Rölütif Su Derinliği ile Değişimi, 1/6.

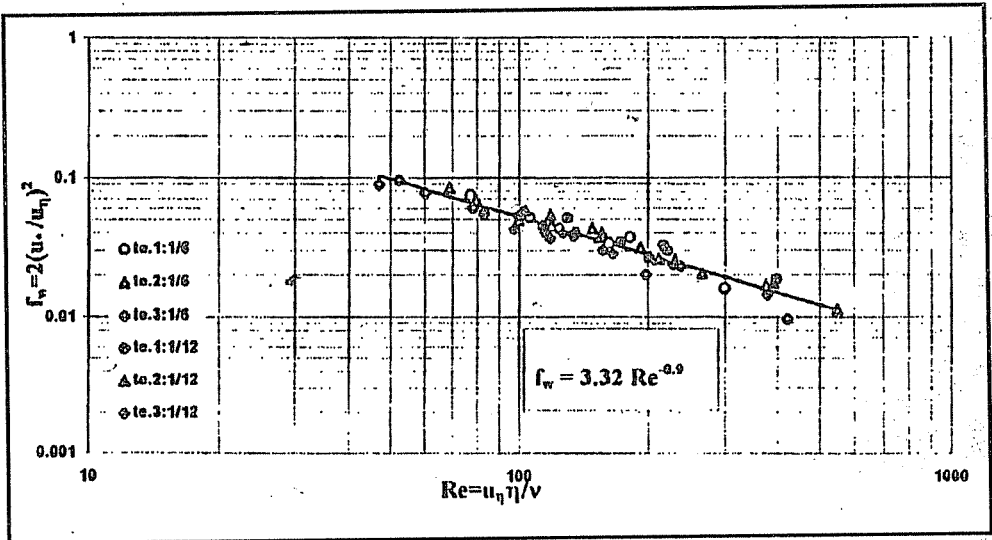
Şekil 6 ve 7'de kayma hızlarının kırılma noktasına doğru partikül hızlarının büyümesi ile birlikte hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Diğer taraftan boyutsuz kayma hızının dalga çukurunda dalga tepesine kıyasla daha düşük kaldığı ve taban eğimi ile arttığı anlaşılmaktadır.

4.4. Yerel Sürtünme Katsayısının Tayini

Dalga hareketinin katı sınırla olan sürtünmesinden doğan kayma gerilmelerinin hesabında kullanılan yerel sürtünme katsayısı (9) ifadesi ile verilmiştir. Yapılan



Şekil 7. Boyutsuz Kayma Hızının Rölatif Su Derinliği ile Değişimi, 1/12



Şekil 8. Sürtünme Katsayısının Reynolds Sayısı ile Değişimi.

deneysel itibariyle yerel sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ($R_e = u_\eta \eta / \nu$) ile değişimi Şekil.8'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi sürtünme katsayısı ile Reynolds sayısı arasında düzenli bir ilişki mevcuttur. Bu ilişki aşağıdaki gibi tanımlanabilir..

$$f_w = 3.32 R_e^{-0.9} \quad (12)$$

5. SONUÇLAR

Dalga transformasyon bölgesindeki sınır tabakasının çeşitli düzeylerinde yatay partikül hız bileşenleri laminer teori ile karşılaştırılmıştır. Deneysel bulgulardan sınır tabakasının kalınlığı, kayma hızları ve yerel sürtünme katsayısının değişimi incelenmiştir.

Dalga transformasyon bölgesindeki sınır tabakası kalınlığı belli bir dalga için yaklaşık sabit kalmakta fakat artan derin-su dalga dikliği ile birlikte bir miktar küçülmektedir. Mevcut deney şartlarında ölçülen sınır tabakası kalınlığı 0.004d ile 0.03d arasında değişmektedir. Kayma hızları, kırılma noktasına doğru partikül hızlarının büyümesi ile birlikte hızlı bir şekilde artmaktadır. Sınır tabakasındaki hız profillerine dayanarak hesaplanan yerel sürtünme katsayısı ile Reynolds sayısı arasında düzenli bir ilişkinin mevcut olduğu görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

1. Hinze, J.O., *Turbulence*. McGraw-Hill, New York, N.Y., 1975.
2. Kirkgöz, M.S., *An Experimental Investigation of Plunging Breaker Boundary Layers in the Transformation Zone*. *Coastal Eng.*, 13, 341-356, 1989.
3. Yalın, M.S. and Russel, R.C.H., *Shear Stresses Due to Long Waves*. *J. Hyd. Res.*, 4 (2), 55-98, 1966.
4. Kamphuis, J.W., *Friction Factor Under Oscillatory Waves*. *J. Waterways, Harbors and Coastal Eng. Div.*, ASCE, 101(2), 135-144, 1975.
5. Hino, M., Kashiwayanagi, M., Nakayama, A. and Harat, T., *Experiments on the Turbulence Statistics and the Structure of a Reciprocating Oscillatory Flow*. *J. Fluid Mech.*, 131, 363-400, 1983.

SU DAĞITIM ŞEBEKELERİNİN BİLGİSAYAR İLE PROJELENDİRİLMESİ

M.Salih KIRKGÖZ ve Mustafa MAMAK
Ç. Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

ÖZET : Su dağıtım şebekelerinin tasarımında "ölü nokta" yöntemi ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır. Su dağıtımı için oluşturulan boru ağlarında belirli hidrolik şartları sağlayan en ekonomik çözümlerin sağlanması arzu edilir. Boru birleşim noktalarını oluşturan düğüm noktalarının tasarımında da aynı kriterler gözönünde bulundurulur. Bu çalışmada su şebekelerinin projelendirilmesi için hidrolik hesapların yapılması ve düğüm noktası detaylarının teşkili ve çizimi için bilgisayar programları geliştirilmiştir.

DESIGN OF WATER DISTRIBUTION NETWORKS USING COMPUTER

ABSTRACT : In the design of the water distribution networks the "dead point" method is widely used in Turkey. In these networks the most economical solutions are required which at the same time satisfy certain hydraulic conditions. The same criteria also apply to the design of pipe junctions. In this study, computer programs are developed for the hydraulic computation of the networks and the drawing of the junction details.

1. GİRİŞ

Bir su getirme sistemi genel olarak su alma, iletim, depolama ve dağıtım fonksiyonlarını oluşturan kısımlardan oluşur. Su dağıtım şebekesi suyu istenen miktar ve basınç altında kullanıcıya ileten, depo, boru, vana, pompa gibi elemanların belirli düğüm noktalarında birleşerek meydana getirdikleri bir sistemdir. Bir su şebekesinde hazneyi sisteme bağlayan boru ana boruyu, suyu ana borudan alıp dağıtım bölgesine yayan borular esas boruları ve suyu esas borulardan alarak tüketiciye ileten borular ise tali boruları oluştururlar (1, 2).

Bir su şebekesinde esas borularla su dağıtımını iki şekilde yapılabilir: dal sistemi ile, ağ sistemi ile. Su dağıtımında ağ sisteminin hesabı dal sistemine göre daha karmaşık özellikler gösterir. Boru ağlarının hesabı genelde ardışık yaklaşımlara dayanan dengeleme yöntemleri kullanılarak yapılır. Bu nedenle boru ağlarının projelendirilmesi ideal olarak bilgisayar kullanımı ile yapılması uygun olmaktadır. Bu çalışmada su şebekelerinin analizi için ülkemizde yaygın olarak kullanılan "ölü nokta" yöntemini esas alan bilgisayar programları geliştirilmiş ve uygulama projelerinde gerekli olabilecek bilgilerin üretilmesine çalışılmıştır.

2. ÖLÜ NOKTA YÖNTEMİ İLE TASARIM

Ülkemizde yürürlükte olan İller Bankası İçmesuyu şartnamesi (3) ile su şebekelerinin tasarımında "ölü nokta" yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntemde suyun şebekenin sadece belirli noktalarından değil, tüm boru boyunca çekildiği kabul edilir. Bu kabul ile iki ucundan beslenen bir borunun belirli bir noktasında kullanım sonucu debinin sıfır olduğu varsayılır ki bu nokta su akımı bakımından ölü noktayı temsil eder. Bu varsayım ile kapalı gözlerden oluşan bir şebeke ölü noktalardan kesilerek hidrolik çözümü basit olan bir dal şebeke sistemine dönüştürülür.

Ölü nokta yönteminin uygulanması kısaca aşağıdaki adımlar ile özetlenebilir:

- 1- Tüm şebekeden çekilecek maksimum debi Q_{max} bulunur.
- 2- Şebekedeki herbir boru için su kullanım oranlarını belirleyen yoğunluk katsayıları (k_i) seçilir. Boruların gerçek uzunlukları (L_i), yoğunluk katsayıları ile çarpılarak izafi uzunlukları (L_i') bulunur.

$$L_i' = k_i \times L_i \quad i = 1, \dots, P \quad (1)$$

Burada P şebekedeki boru sayısıdır.

- 3- Şebekeden çekilecek maksimum debi, izafi uzunluklar toplamına bölünerek birim izafi uzunluktan çekilen debi (q) bulunur.

$$q = \frac{Q_{max}}{\sum_{i=1}^P L_i'} \quad (2)$$

Bu debi ile boru izafi uzunlukları ayrı ayrı çarpılarak herbir boru boyunca çekilen toplam debi (Q_i) bulunur.

$$Q_i = q \times L_i \quad (3)$$

4- Şebekede seçilen ölü noktalardan başlayarak borulardaki akımın ters yönünde hareketle borular boyunca şebekeden çekilen debiler toplanarak her bir borunun ucundaki (Q_u) ve başındaki (Q_b) debi hesaplanır. Baş debisi ile uç debisi arasındaki fark boru boyunca şebekeden çekilen debiye eşit olup, boru boyunca üniform olarak dağıtıldığı kabul edilmektedir.

$$Q = Q_b - Q_u \quad (4)$$

Üniform debi dağıtımı sonucu borulardaki enerji kayıplarının hesabında aşağıdaki debi esas alınır.

$$Q_e = Q_u + 0.55 Q \quad (5)$$

Herbir boru için (5) ifadesi ile bulunan değere öngörülen yangın debisi (Q_y) de eklenerek hesap debisi (Q_h) bulunur:

$$Q_h = Q_e + Q_y \quad (6)$$

5- Hesap debileri yardımıyla borulardaki akım hızları 1.0 - 2.0 m/s arasında kalacak şekilde boru çapları seçilir ve borulardaki enerji kayıpları hesaplanır. Enerji kaybının hesabında kullanılan boru tipine göre üretici firma tarafından önerilen sürtünme faktörleri kullanılmalıdır.

6- Kapalı devreler boyunca ölü noktalara farklı yollardan gelindiğinde, hesaplanan toplam enerji kayıpları arasındaki fark belirli bir değeri (örneğin 1 m) aşmamalıdır. Öngörülen hassasiyetin aşılması durumunda seçilen ölü noktaların yerleri değiştirilerek yapılan işlemler tekrar edilir.

7- Kapanma hatasının istenilen sınırın içinde kalması sağlandıktan sonra borulardaki enerji kayıplarından hareketle şebekedeki piyezometre kotları ve arazi kotları yardımı ile de basınç yükseklikleri hesaplanır. Sonuçta, şebekenin her noktasında elde edilen basınç yüksekliğinin minimum bir değer üzerinde kalması istenir.

3. ŞEBEKE DÜĞÜM NOKTALARININ DÜZENLENMESİ

Şebekede birden fazla borunun birleştiği noktalara "düğüm noktası" denir. Düğüm noktalarında boru bağlantılarını yapmak için boru cinsine göre değişebilen özel parçalar ve vanalar kullanılır. Özel parçalar aynı boydaki boruya göre daha fazla enerji kaybına sebep olurlar. Dolayısıyla hem yerel enerji kayıplarını azaltmak hem de ekonomik açıdan düğüm noktalarının teşkilinde mümkün olduğunca az sayıda parça kullanılması tercih edilmelidir.

Düğüm noktaları boru ağı içinde sürekli olarak farklı basınçlara ve su darbelerine maruz kalan elemanların birleşiminden meydana gelirler ve arızalanma açısından şebekenin hassas noktalarını oluştururlar. Bu bakımdan düğüm noktalarının tasarımı ve montajı önemlidir. Şebekede oluşacak dinamik kuvvetleri karşılamak üzere gerektiğinde tesbit kitleleri kullanılabilir.

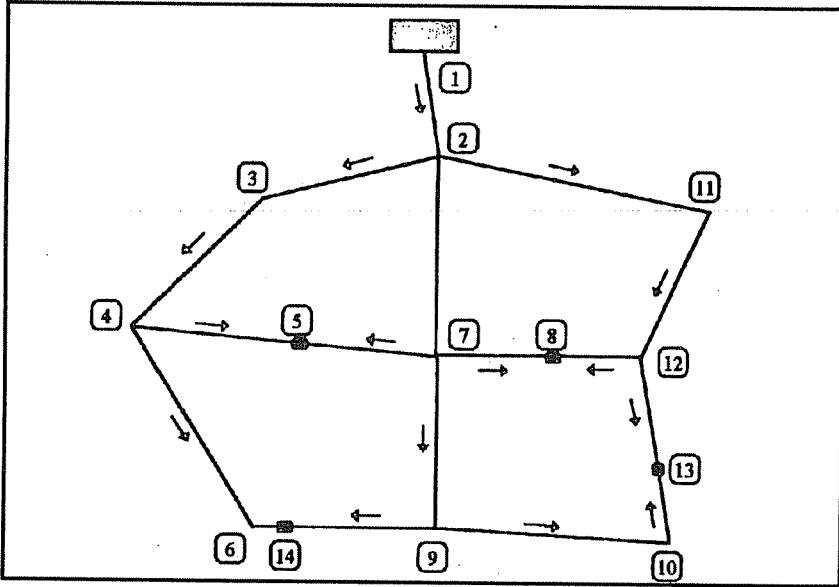
Düğüm noktalarının teşkilinde aşağıdaki hususlar gözönünde bulundurulmalıdır: (a) Düğüm noktalarında mümkün olan en az sayıda ve türde özel parça kullanılmalı, (b) Vanalar redüksiyondan sonra yerleştirilmeli ve, (c) Dirsekler plandaki dönüş açısına uygun olarak seçilmelidir.

Düğüm noktalarının detayları günümüzde genellikle el ile çizilmektedir. Bu çalışmada sözkonusu detayların teşkili ve çizimi için bilgisayar programları geliştirilmiştir.

4. BULGULAR

Ölü-nokta-yöntemi-ile-su-dağıtım-şebekelerinin-tasarımı-ve-düğüm-noktası-detaylarının hesabı için Fortran dilinde iki bilgisayar programı hazırlanmış ve düğüm noktası detaylarının çizimi için de ayrıca Pascal dilinde bir program geliştirilmiştir. Hazırlanan programlar Şekil.1'de görülen örnek bir boru şebekesinin projelendirilmesi için kullanılmıştır.

Çizelge.1'de tasarımı yapılan şebekenin hesap tablosu verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi şebekede PVC, AÇB, Çelik ve Font olmak üzere dört ayrı türde boru kullanılmıştır.



Şekil 1. Örnek Şebeke Planı

SU DAĞITIM ŞEBEKELERİNİN BİLGİSAYAR İLE PROJELENDİRİLMESİ










Düğüm noktaları detaylarının hesaplanması için Fortran dilinde hazırlanan programın veri dosyasında herbir boru için baş ve uç nokta numaraları, boru çapı ve cinsi, ölü nokta numarası (varsa), boru ucu bağlantı durumu, uzunluk, düğüm noktasına su getiren boruya göre saat yönündeki yerleşim açısı ve vana durumunun belirtilmesi gerekmektedir.

Düğüm noktası detaylarının hesabı sonucu elde edilen program çıktısı dosyasındaki parça türleri Çizelge.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Şebeke Hesap Tablosu

1		ÖRNEK										İÇMESUYU ŞEBEKESİ HESAP TABLOSU										SAYFA 1
BORU		BOYLAR		DEBİLER (l/s)						BORUDA KOTLAR						DÜŞÜNCELER						
NO	L	K	K*L	Q	QB	QU	Q0	Q1	QY	QH	ÇAP	S	V	SL	NO	PİYİZ	ARAZİ	BASINÇ				
12	13	187	1	187	2.344	2.344	0.000	1.289	1.289	5.0	6.289	80A	0.02019	1.25	3.78	13	170.80	142.00	28.80	M 4 FARK = -0.45		
12	8	80	2	160	2.006	2.006	0.000	1.103	1.103	5.0	6.103	80C	0.01987	1.21	1.59	8	172.99	131.00	41.99	M 3 FARK = -0.92		
11	12	100	1	100	1.254	10.604	9.350	0.689	10.040	5.0	15.040	125P	0.01126	1.23	1.13	12	174.58	139.00	35.59	QUÇ=500		
2	11	272	1	272	3.410	14.014	10.604	1.875	12.479	5.0	17.479	125P	0.01487	1.42	4.04	11	175.71	143.00	32.71			
10	13	36	1	36	0.451	0.451	0.000	0.248	0.248	5.0	5.248	80A	0.01445	1.04	0.52	13	171.26	142.00	29.26	M 4 FARK = 0.45		
9	10	120	1	120	1.504	1.956	0.451	0.827	1.279	5.0	6.279	80P	0.01962	1.25	2.35	10	171.78	143.00	28.78			
9	14	123	1	123	1.542	1.542	0.000	0.848	0.848	5.0	5.848	80A	0.01765	1.16	2.17	14	171.96	141.00	30.96	M 2 FARK = 0.98		
7	9	172	2	344	4.312	7.810	3.498	2.372	5.869	5.0	10.869	100P	0.01829	1.38	3.15	9	174.13	150.00	24.13			
7	8	136	2	272	3.410	3.410	0.000	1.875	1.875	5.0	6.875	80C	0.02477	1.37	3.37	8	173.91	131.00	42.91	M 3 FARK = 0.92		
7	5	132	2	264	3.310	3.310	0.000	1.820	1.820	5.0	6.820	80F	0.03812	1.36	5.03	5	172.24	128.00	44.24	M 1 FARK = 0.84		
2	7	240	2	480	6.017	20.547	14.529	3.310	17.839	5.0	22.839	150A	0.01031	1.29	2.47	7	177.28	125.00	52.28			
6	14	37	1	37	0.464	0.464	0.000	0.255	0.255	5.0	5.255	80A	0.01448	1.05	0.54	14	170.98	141.00	29.98	M 2 FARK = -0.98		
4	6	160	1	160	2.006	2.470	0.464	1.103	1.567	5.0	6.567	80C	0.02275	1.31	3.64	6	171.52	143.00	28.52			
4	5	108	2	216	2.708	2.708	0.000	1.489	1.489	5.0	6.489	80F	0.03477	1.29	3.75	5	171.40	128.00	43.40	M 1 FARK = -0.84		
3	4	140	1	140	1.755	10.932	9.177	0.965	10.143	5.0	15.143	125P	0.01140	1.23	1.60	4	175.16	129.00	46.16	QUÇ=4.00		
2	3	200	1	200	2.507	13.440	10.932	1.379	12.311	5.0	17.311	125A	0.01499	1.41	3.00	3	176.75	138.00	38.75			
1	2	50	0	0	0.000	48.000	48.000	0.000	48.000	10.0	58.000	250C	0.00501	1.18	0.25	2	179.75	151.00	28.75			

Çizelge 2. PVC Boru Özel Parçaları

SEMBOL	ADI	PROJEDE GÖSTERİLİŞİ	KULLANILDIĞI YERLER
G - F	F Parçası		Vana ve flanşlı bağlantılar
G - E	E Parçası		Vana veya flanştan düz boruya geçmede
G - MMB	B Parçası		Hat ayrımlarında
G - MMA	A Parçası		Vanalı veya flanşlı hat ayrımlarında
G - MK	Deveboynu		Dönüşlerde
G - MMR	Redüksiyon		Çap değiştirmede
G - MA	Adaptör		PVC borudan asbestli boruya geçmede
G - NP	Adaptör		PVC borudan font boruya geçmede
G - MS	Adaptör		PVC borudan çelik boruya geçmede

Düğüm noktası detayları ile ilgili program çıktısı Çizelge.3'de gösterilmiştir. Bu çizelgeden görüldüğü gibi program şebeke detayları ile ilgili bilgileri çeşitli başlıklar altında vermekte ve son olarak her bir boru için kazı miktarlarını hesaplamaktadır.

Çizelge 3. Düğüm Noktası Detayları İçin Çıktı Dosyası

***** ŞEBEKE HAKKINDA GENEL BİLGİ *****									
(Girişteki düğüm no, kol sayısı, boru çapı ve cinsi, akım yönü, çıkıştaki düğüm no)									
1	1	250C>	2						
2	4	125P>	11	150A>	7	125A>	3	250C<	1&
3	2	125P>	4	125A<	2&				
4	3	80C>	6	80F>	5	125P<	3&		
5	ON	80F<	7	80F<	4				
6	2	80A>	14	80C<	4&				
7	4	100P>	9	80C>	8	80F>	5	150A<	2&
8	ON	80C<	12	80C<	7				
9	3	80P>	10	80A>	14	100P<	7&		
10	2	80A>	13	80P<	9&				

Çizelge 3. (Devam)

11	2	125P>	12	125P<	2&		
12	3	80A>	13	80C>	8	125P<	11&
13	ON	80A<	12	80A<	10		
14	ON	80A<	9	80A<	6		

*** ADAPTÖRLER ***

1	MS	2					
2	PP	11	MA	7	MA	3	MS 1
3	PP	4	MA	2			
4	MS	6	NP	5	PP	3	
6	MA	14	MS	4			
7	PP	9	MS	8	NP	5	MA 2
9	PP	10	MA	14	PP	7	
10	MA	13	PP	9			
11	PP	12	PP	2			
12	MA	13	MS	8	PP	11	

DÜĞÜM GEÇME MUFLU T-LER
NO

2	250 / 125	250 / 125
4	125 / 80	
7	150 / 80	150 / 80
9	80 / 80	
12	125 / 80	

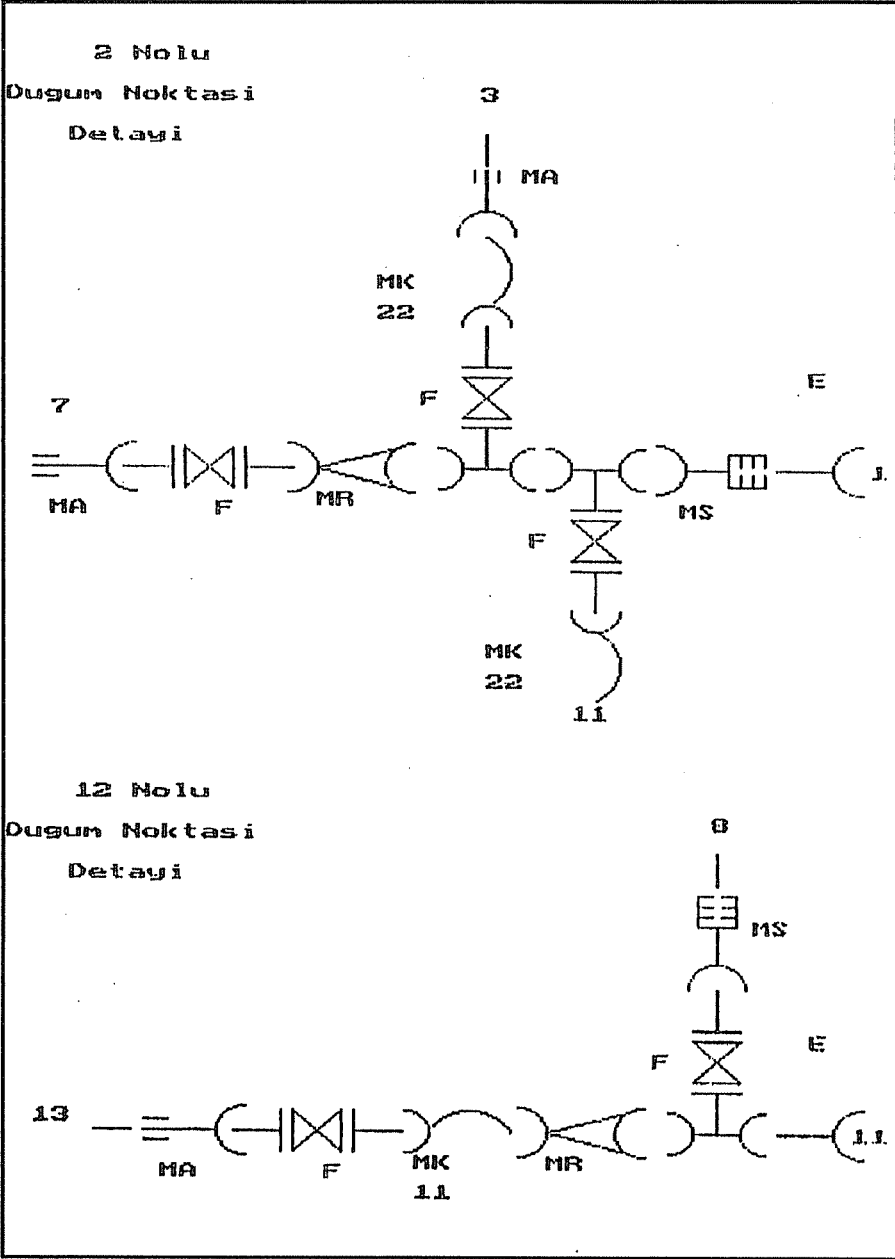
REDÜKSİYON

2	250 - 150	
4	125 - 80	0 - 0
7	150 - 100	
9	100 - 80	0 - 0
12	125 - 80	0 - 0

Çizelge 3. (Devam)

*** DİRSEKLER ***									
1	**	2							
2	22	11	11	7	22	3	**	1	
3	11	4	**	2					
4	30	6	30	5	**	3			
6	56	14	**	4					
7	11	9	**	8	**	5	**	2	
9	11	10	**	14	**	7			
10	75	13	**	9					
11	11	12	**	2					
12	11	13	11	8	**	11			
***** KAZI MİKTARI *****									
(Girişteki düğüm no, çıkıştaki düğüm no, boru çapı, mesafe, kazı miktarı)									
12	13	80	184	95.386					
12	8	80	81	41.990					
11	12	125	100	59.063					
2	11	125	272	160.650					
10	13	80	39	20.218					
9	10	80	120	62.208					
9	14	80	127	65.837					
7	9	100	172	94.600					
7	8	80	135	69.984					
7	5	80	133	68.947					
2	7	150	240	151.800					
6	14	80	33	17.107					
4	6	80	160	82.944					
4	5	80	107	55.469					
3	4	125	14	82.688					
2	3	125	200	118.125					
1	2	250	50	40.625					
TOPLAM KAZI (m3) = 1287.64									

Çizelge.3'deki düğüm noktası detaylarının çizime dönüştürülmesi için Pascal dilinde bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bu program ile su dağıtım şebekesinin tüm düğüm noktalarının nasıl düzenleneceği ve hangi parçaların kullanılacağı grafik olarak



Şekil 2. Dugum Noktasi Detayları

verilebilmektedir. Şekil.2'de tasarımı yapılan şebekenin 2 ve 12 numaralı düğümlerine ait detaylar örnek olarak verilmiştir.

5. SONUÇ

Su dağıtım şebekelerinin projelendirilmesi ülkemizde genellikle "ölü nokta" yöntemi olarak bilinen bir yöntem ile yapılmaktadır. Boru şebekesinin hidrolik tasarımı yanında boru birleşim noktalarındaki düğüm noktalarının tasarımı da projelendirme açısından önemli bir çalışmayı gerektirmektedir. Bu detayların teşkili geleneksel olarak el ile yapılmaktadır. Bu hem tasarım hem de metraj çıkarılması bakımından zaman kaybına neden olmaktadır. Bu çalışmada hazırlanan bilgisayar programları ile su dağıtım şebekelerinin tasarımı ve düğüm noktası detayları ile ilgili çalışmaların hızlı bir şekilde sonuçlandırılmasının mümkün olduğu görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

1. *Muslu, Y., Su Getirme ve Kullanılmış Suları Uzaklaştırma Esasları. Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul, 1980.*
2. *Sevük, S. ve Altınbilek, D., Su Dağıtım Şebekeleri Projelendirme ve Bilgisayarla Çözüm Esasları, ODTÜ, Ankara, 1977.*
3. *İller Bankası, İçmesuyu Teknik Şartnamesi, 1985.*
4. *Pilsa, Geçme Muflu Borular Kataloğu, 1990.*

YAPI ÜRETİMİNDE PROJE, TEKNİK ŞARTNAME VE SÖZLEŞMENİN UYGUN DÜZENLENMESİNİN ÖNEMİ VE TÜRKİYE'DEKİ UYGULAMA

M.Emin ÖCAL ve Döndü TÜRKER
Ç.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana /Türkiye

ÖZET : *Bu çalışmada, inşaat sektöründe proje, teknik şartname ve sözleşmenin hangi şekil ve içerikte düzenlenmeleri gerektiği incelenmiş ve Türkiye'deki uygulanma düzeyinin saptanması amacıyla yapılan bir araştırmanın sonuçları sunulmuştur.*

THE IMPORTANCE OF PROPER PREPARATION OF PROJECT, TECHNICAL SPECIFICATION AND CONTRACT IN CONSTRUCTION AND ITS APPLICATION IN TURKEY

ABSTRACT : *In this study an investigation has been carried out for which manner and contents should be followed for the preparation of project, technical specification and contract in construction sector and the results of the investigation made about to establish the level of the application in Turkey are presented.*

1. GİRİŞ

İnşa edilecek bir yapıyı fiziki boyut ve inşaat niteliği bakımından tanımlayan, işveren ve müteahhit arasındaki iş ilişkisinin içeriğini ve sınırlarını belirleyip resmileştiren belgeler, yapının projeleri, teknik şartnamesi ve sözleşmesidir. Bu belgelerin şekil ve içerik bakımından uygun düzenlenmemeleri, inşaatın yönetimini güçleştirmekte; kaynak israfına ve işin tarafları arasında anlaşmazlıkların doğmasına neden olmaktadır.

Projeler, tasarlanan yapıyı çizgisel ağırlıklı olarak tanımlayan belgelerdir.

İnşaat projelerinin hangi alt gruplardan oluşacağı, yapının türüne ve özelliğine göre değişmekle birlikte, sıradan bir inşaatın yapılabilmesi için bile genellikle mimari proje başta olmak üzere, konstrüksiyon, tesisat ve diğer donanım projelerinin çizilmesi gerekmektedir. Ancak, projelerin uygulamaya aktarılabilmesi için, her proje grubunda,

- Yapılacak üretimin fiziki boyutları, fonksiyonu ve elemanları ile ilgili her türlü bilginin eksiksiz olarak verilmiş olması ve
- Üretimin gerçekleştirilmesinde kullanılacak teknolojiyi tüm ayrıntılarıyla tanımlayan gerekli detay çizimlerinin yer alması gerekmektedir (1).

Teknik şartname, bir üretimde kullanılan girdilerin ve elde edilecek ürünün teknik niteliklerini tanımlayan belgedir.

Yapı üretiminde, proje niçin ve ne kadar gerekliyse, teknik şartname de o ölçüde gereklidir. Çünkü, projeler yeterli ayrıntıda hazırlanmış olsalar da, tasarlanan yapının üretiminde kullanılacak teknoloji ve malzemeyi açıklamak için yeterli olmamaktadırlar. Diğer bir ifadeyle, proje ile ne yapılacağı anlatılabilsede, nasıl ve hangi nitelikte yapılacağı yeterince anlatılamamaktadır. Bu nedenle, her inşaat sözleşmesine mutlaka bir teknik şartnamenin eklenmesi ve bu şartnamede,

- Kullanılacak malzeme ve cihazların fiziksel, mekanik, estetik ve (gerekiyorsa) kimyasal özelliklerinin açıklanması,
- Uygulanacak yapım teknolojisi ve test yöntemlerinin ayrıntılı olarak tanımlanması gerekmektedir (2,3).

Sözleşme, bir iş ilişkisini tanımlayan, kurallaştırıcı ve resmileştiren belgedir.

Her inşaat işinin bir sözleşmeye dayandırılmış olması gerekmektedir. Sözleşmede, işin gerçekleşme aşamasında işveren ve yüklenicinin karşılıklı görev ve sorumluluklarının ne olacağı ve bunların yerine getirilmemesi durumunda nasıl hareket edileceğinin ayrıntılı olarak tanımlanmış olması gerekmektedir. Sözleşmelerin içeriği, yapılan işin çeşidine ve ihale şekline göre önemli ölçüde değişmektedir. Ancak her sözleşmede mutlaka yer alması gereken hususlar vardır ve bunları aşağıdaki başlıklar altında toplamak mümkündür (3,4,5,6,7):

- İşin konusu, yeri ve tarafları
- Toplam maliyet,
- Sözleşme ekleri,
- İşin süresi

- İş programı
- Süre uzatımı ve gecikme cezası
- Ödeme şekli ve planı
- İmalatın kontrolü
- İşlerin ölçümü
- Üretimin kalite garantisi
- Teminatlar
- Değişiklik ve ilaveler
- İş güvenliği önlemleri
- Sözleşmenin feshi
- Taraflardan birinin ölümü veya iflası
- Anlaşmazlıkların nasıl çözüleceği

2. TÜRKİYE'DEKİ UYGULAMA

Türkiye'de uluslararası pazarda rekabet edip iş yapabilen oldukça başarılı inşaat firmaları mevcuttur ve bu nitelikteki firmaların sayısı gittikçe artmaktadır. Ülke içerisinde, enerji, sulama, ulaşım gibi büyük altyapı projeleri de başarıyla sonuçlandırılmaktadır. Ancak özelliği olan büyük projeler dışında kalan ve özellikle gerçek veya tüzel kişilere ait inşaat işlerinin pek çoğunda oldukça ciddi sorunlar yaşanmaktadır. Bu sorunların önemli bir bölümü, inşaat başlama aşamasında gerçekleştirilmesi gereken hazırlık çalışmalarının yeterince titiz yapılmamasından kaynaklanmaktadır.

Mevcut uygulamada, her hangi bir bina inşaatına başlayabilmek için, hazırlanan projeler, ilgili yerel idareye sunulurken yapıya başlama izni (ruhsat) alınmaktadır. Ruhsat alınması için gereken belgelerin neler olacağı ve bunların nasıl düzenleneceği, ülke genelinde geçerli olan çerçeve imar yönetmeliği ve il imar yönetmenliklerinde belirtilmiştir (8). Adı geçen yönetmenliklerde, ruhsat alınması için sunulacak projelerin içerikleri ile ilgili genel ve asgari koşullar yer almakta, daha fazla ayrıntı verme gerekliliği, projeyi yapan teknik eleman, işveren ve müteahhidin inisiyatifine bırakılmaktadır. Örneğin, mimari proje olarak binanın kat planları, kesitleri ve görünüşlerinden ibaret 1/50 ölçekli çizimlerinin sunulması, ruhsat alınabilmesi için yeterli olmaktadır. Ancak, inşaat sektöründe işverenlerin, projelendirme, şartname ve sözleşme hazırlama ve uygulama aşamalarında kendileri adına hareket edecek bir teknik eleman hizmetinden yararlanma alışkanlığı henüz bulunmamaktadır. Dolayısıyla, projenin hazırlanması aşamasında tartışılıp kararlaştırılması gereken ve yapı maliyetinin önemli değişkenlerinden olan ince yapı elemanları ile ilgili hemen hiç bir somut tanım yapılmadan ve bu konulardaki kararlar ilgili işlerin yapım aşamalarına bırakılarak inşaat başlanılmaktadır. Çağdaş proje yönetimi anlayışıyla bağdaşmayan bu tutum sonucu olarak bugün, ruhsat alınıp inşaatına başlanılan binaların projelerinde, binanın

her türlü kaplama, tesisat ve diğer donanımlarının nasıl yapılması gerektiği ile ilgili gerekli ayrıntıları içeren hemen hiç bir detay paftası yer almamaktadır.

Projelerdeki yetersizliklere ilaveten, inşaa edilen binaların sözleşmeleri ekinde çoğunlukla ayrıca düzenlenmiş bir teknik şartname yer almamakta, teknik şartname düzenlenmiş olanlarda ise, inşaatta kullanılacak malzeme ve teknoloji ile ilgili yeterli ayrıntı verilmemektedir. Teknik nitelikler daha çok sözleşme içerisinde yer alan bir kaç maddede özetlenmekte ve "yapılan işler kaliteli olacak ya da birinci sınıf olacak" şeklinde, denetlenmesi zor soyut tanımlarla açıklanmaya çalışılmaktadır. Ayrıca, Türkiye'de halen inşaat sektöründe kullanılan girdilere ait standartlar bütünüyle tamamlanmamıştır ve ayrıca, mevcut standartların kamu inşaatları dışındaki inşaatlarda kullanımı zorunlu değildir. Bu nedenle, teknik şartnamenin dikkatli ve ayrıntılı hazırlanması daha da önemli hale gelmektedir.

Her inşaat işi genelde bir sözleşmeye bağlanmakta ancak, inşaat süresince taraflara düşen görev ve sorumluluklar yeterli ayrıntıda açıklanmamaktadır. Örneğin, sözleşmelerde genellikle inşaatın tamamlanması ile ilgili bir süre yer almakta, ancak, işin süresel denetimine olanak veren bir iş programı hazırlanmamakta ve işin belirtilen sürede bitmemesi halinde uygulanacak yaptırımlar ayrıntılı olarak açıklanmamaktadır.

Proje, teknik şartname ve sözleşme düzenlenmesi ile ilgili yukarıda özetlenen yetersizliklerin Türkiye'de inşaat sektöründe neden olduğu kayıpları ve sorunları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:

- a. Gerekli nitelik tanımları yapılmamış olduğundan, inşaat aşamasında denetim güçleşmekte, hatta olanaksız hale gelmekte;
- b. Görev ve sorumluluklar ile ilgili belirsizlikler, işin tarafları arasında derin anlaşmazlıkların çıkmasına neden olmakta ve bunun sonucu olarak inşaat yavaşlamakta veya tamamen durmakta;
- c. Gerekli teknik ve hukuki düzenlemenin yapılmaması sonucu, yargıya intikal eden inşaat anlaşmazlıklarının çözümü güçleşmekte, karar süreci uzamakta, dolayısıyla hem yargının yükü gereksiz yere artmakta hem de insanlar mağdur ve mutsuz olmakta ve
- d. Belirsizliklerden kaynaklanan hatalı veya yanlış üretimin inşaat sırasında ya da inşaat bitiminden sonra yenilenmesi zorunluluğu, gereksiz kaynak kullanımına (israfına) neden olmaktadır.

3. KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ARAŞTIRMA

Türkiye'de inşaat sektöründe proje, teknik şartname ve sözleşme düzenlenmesi ile ilgili yetersizliklerin olduğu bilinmekle beraber bunun düzeyi hakkında somut bilgiler elde edilmesine yönelik olarak şimdiye kadar her hangi bir araştırma yapılmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada, konu ile ilgili daha gerçekçi değerlendirmeye olanak sağlamak amacıyla doğrudan uygulamanın içinden veri toplanması amaçlanmıştır (9). Araştırma, Adana'da gerçekleştirilmiştir. Adana, nüfus yoğunluğu bakımından

Türkiyenin dördüncü büyük ilidir (10) ve yapılaşmanın oldukça yoğun olduğu önemli yerleşim merkezlerinden birisidir (11). Bu nedenle, araştırma sonuçlarının, Türkiye'deki genel durum hakkında bilgi verebilecek bir örnekleme olabileceği kabul edilmiştir.

3.1. Araştırmada Kullanılan Yöntem

Kamuya ait inşaatların proje, şartname ve sözleşmeleri, bu amaçla geliştirilmiş bulunan ilkelere göre düzenlenmektedirler. Bu nedenle araştırmada, kamu inşaatları dışında kalan inşaat işlerindeki proje, teknik şartname ve sözleşmelerde yer alan eksikliklerin incelenmesi hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçların güvenilirliği bakımından, ilgili dokümanları incelenecek müteahhit sayısının 50 olması öngörülmüştür. Ayrıca, sonuçların genelleştirilebilir olması için de, seçilen müteahhitler grubu, yap-sat ve kat karşılığı şeklinde inşaat yapan ve kooperatif inşaatı yapmakta olan, farklı organizasyon yapısına sahip müteahhitlerden teşkil edilmiştir. Belirlenen çerçevede önce, yapmakta oldukları işin sorumluluğunu doğrudan üstlenmiş bulunan ve kendileriyle görüşülmesi planlanan müteahhitler belirlenmiştir. Bu müteahhitler bir program dahilinde ziyaret edilerek kendileriyle yüz yüze görüşülmüştür. Yapılan görüşmelerde, müteahhitlerin halen yapmakta oldukları inşaatların projeleri, teknik şartname ve sözleşmeleri incelenerek, her birinin neleri hangi kapsamda içerdikleri not edilmiştir.

Elde edilen veriler önce, proje, teknik şartname ve sözleşme olarak üç alt başlıkta toplanmıştır. Sonra, her gruba ait aynı veya benzer nitelikteki verilerin, incelenen toplam doküman sayısının kaçının içinde yer aldığı belirlemek amacıyla gerekli tasnif işlemi yapılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

3.2. Araştırma Bulguları

Araştırma sonucunda elde edilen bulgular, proje, sözleşme ve teknik şartname başlıkları altında aşağıda özetlenmiştir (9).

Projeler

İnşaata başlama ruhsatı alınabilmesi için, projelerde, ilgili oldukları bina elemanlarının genel olarak tanımlayan çizimlerin bulunması zorunlu olmaktadır. Bu nedenle, projede rastlanılan noksanlıkların, daha çok binanın döşeme, duvar, tavan kaplamalarının ve diğer donanımların hangi malzeme ve nasıl yapılacağını açıklayan detay çizimleri ve açıklamalar ile ilgili olduğu saptanmıştır. Projelerde, belirtilen detay bilgileri veren paftalar, sistem kesiti, yer listesi ve detay çizimleri olmaktadır. İncelenmiş bulunana 50 projenin kaç tanesinde, olması gereken belge ve bilgilerin yer aldığı, Tablo.1'de özetlenmiştir. Tabloda da görüldüğü gibi, ayrıntılı detay çizimleri ve sistem kesiti, incelenen 50 projenin hiç birinde yer almamış; yer listesi yalnız bir projede görülmüş ve sadece iki projede kısmi detay çizimleri yer almıştır.

Tablo 1. Proje İçerikleri

Mimari Projede Yer Alan Çizimler	Yer Aldığı Proje Sayısı
Kat planları, kesitler ve görünüşler	50
Sınırlı miktarda detay	2
Yer listesi	1
Sistem kesiti	0

Sözleşme

İncelenen 50 sözleşmenin kaç tanesinde hangi konulara yer verilmiş olduğu Tablo.2'de özetlenmiştir. Tabloda da görüldüğü gibi, işin süresel denetimi ve parasal programı ile doğrudan ilişkili olan iş programı sadece iki sözleşmede yer almıştır. benzer şekilde, işin kalite garantisi, denetimin nasıl yapılacağı, projede değişiklik önerilerinin kabul edilip edilmeyeceği, iş kazaların sorumluluğu gibi hususlar çok az sözleşmede yer almış bulunmaktadır.

Tablo 2. Sözleşme İçerikleri

Sıra No	Sözleşmede Yer Alan Konular	Yer Aldığı Sözleşme Sayısı
1	İşin adı, yeri	50
2	İşin toplam süresi	50
3	Sözleşmenin ekleri ve ilgili açıklama	8
4	İş programı hazırlanması ve izlenmesi	2
5	Süre uzatma nedenleri	20
6	İmalatın denetiminin nasıl yapılacağı	6
7	İnşaat aşamasında imalat niteliğinde değişiklik yapıp yapılamayacağı ve yapılırsa bedelinin nasıl belirleneceği	4
8	Niteliksiz malzeme ve üretimin tespiti halinde yapılacak işlemler	4
9	İş kazaları ile ilgili önlem alınması sorumluluğunun üstlenilmesi	18
10	Sözleşmenin feshine sebep olacak hususlar	18
11	Vergi, resim ve sözleşme masraflarının kime ait olacağı	48
12	Tarafların birinin ölümü halinde iş ilişkisinin hukuki durumu	22

Teknik Şartname

İncelenen 50 inşaat işinin 26 adedinde, ayrıca düzenlenerek kullanılacak malzeme, cihaz ve donanımlar ile ilgili teknik tanımlar verilmiş, kalan 24 adedinde ise ayrıca bir teknik şartname düzenlenmeksizin, ilgili nitelikler sözleşmenin içerisinde tanımlanmaya çalışılmıştır. Bu iki grubun içeriği farklı olduğundan, Tablo.3 ve Tablo. 4'de iki gruba ilgili bulgular ayrı ayrı verilmiştir. Tablo.4'de görüldüğü gibi, verilmiş bulunan teknik tanımlar olması gerekene kıyasla oldukça yetersiz düzeyde bulunmaktadır. Ancak, verilen teknik tanımların düzeyi, başlı başına teknik şartname düzenlenmiş olanlarda daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Dikkati çeken diğer bir husus da, nitelik tanımlarında standartlara atıfta bulunma oranının oldukça yüksek oluşudur.

Tablo 3. Teknik Şartname Düzenleme Oranı

A Grubu	B Grubu
Başlı başına teknik şartname düzenlemiş olanların sayısı 26 (% 52)	Teknik nitelikleri, sözleşme içerisinde belirtmiş olanların sayısı 24 (% 48)

Tablo 4. Teknik Şartnamede Yer Alan Tanımlar

Şartnamede Yer Alan Konular	A Grubu	B Grubu
Teknik nitelikleri ayrıntılı tanımlanmış olanların sayısı	10 (% 38)	6 (% 25)
Kullanılması öngörülen malzeme ve bileşenleri, ticari isim ve markaları ile tanımlanmış olanların sayısı	8 (% 30)	2 (% 08)
Teknik nitelikleri tanımlarken standartlara atıfta bulunanların sayısı	22 (% 85)	14 (% 58)
Belirlenen teknik niteliklerin gerektiğinde test edilmesine yönelik koşullara yer verenlerin sayısı	0	0

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tabloların tetkikinden de anlaşılacağı gibi proje, teknik şartname ve sözleşmelerin olması gerekene göre şekil ve içerik bakımından oldukça eksik ve yetersiz düzenlenmekte oldukları görülmektedir. Bu durum, inşaat sektöründe mal sahibi ve müteahhit arasında inşaat süresince çeşitli sorunların doğmasına, işin uzamasına ve

önemli miktarlarda kaynak israfına neden olmaktadır. Ayrıca, gerekli nitelik tanımlarının yapılmamış olması nedeniyle işin kalite denetimi yeterince yapılamamakta, bu da işverenin mağduriyetine neden olmaktadır.

Belirtilen eksikliklerin azaltılması veya en aza indirilebilmesi için Türkiye'de yapılması gereken çalışmaları ve alınması gereken önlemleri aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:

- Mühendis-Mimar Odaları ve Müteahhitler birliği gibi meslek kuruluşlarınca, üyelerini bu konuda bilinçlendirme amacına yönelik girişimlerde bulunulmalı,
- Tüketiciyi korumaya yönelik faaliyet ve önlemler kapsamına, inşaat sektörü ile ilgili tüketici sorunlarına da çözüm üretecek mekanizmalar dahil edilmeli,
- İnşaat sektörünün tüm girdileri ile ilgili Türk standartları tamamlanmalı ve bu standartların kamu yapıları dışındaki inşaatlarda da uygulanması zorunlu hale getirilmeli,
- Ruhsat almak için yerel idarelere sunulan projelerde daha fazla ayrıntı verilmesini sağlamak amacıyla gerekli düzenlemeler yapılmalıdır.

4. KAYNAKLAR

1. *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Mimarlık ve Mühendislik Hizmetleri Şartnamesi, Madde: 9 - 15 , 18883 sayılı Resmi Gazete, Ankara, 1985.*
2. *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Bayındırlık İşleri Genel Teknik Şartnamesi, Ankara, 1980.*
3. *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Sözleşme Tasarısı, Başbakanlık Basımevi, Ankara, 1990.*
4. *Öcal, M.E., Proje + Teknik Şartname + Sözleşme, Teknik Yayınevi, Ankara, 1995.*
5. *Horgan, M.O'C., Roulston, F.R., The Elements of Engineering Contracts, E and F. N. Spon Ltd., London, 1977.*
6. *Marsh, P.D.V., Contracting For Engineering and Constuction projects, Gover Publishing Ltd., England, 1981.*
7. *Kartal, E., Kat Karşılığı İnşaat Sözleşmesi, Matsa Basımevi, Ankara , 1993.*
8. *3030 Sayılı Kanun Kapsamı Dışında Kalan Belediyeler Çerçeve İmar Yönetmenliği, Madde: 57 ,Ankara, 1994.*
9. *Ala, D. , Proje, Teknik Şartname ve Sözleşmedeki Yetersizliklerin Yapı Kalitesine Olumsuz Etkileri ve Çözüm Önerileri, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kod No.110, Sayfa.35 - 48, Adana, 1996.*
10. *T.C.Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, Nüfusun Sosyal ve Ekonomik Nitelikleri, Yayın No: 1616, s. 29, Ankara, 1993.*
11. *Gürçınar, Y., 21. Yüzyıla Girenken Adana'nın Konut Sorununun Çözümü İçin Stratejilerin Geliştirilmesi, Adana Koop Yayın No: 20, Adana, 1994.*

PROJE YÖNETİMİNDE PARASAL KAYNAK DENGELENMESİNİN PAKET PROGRAM YARDIMIYLA ÇÖZÜMÜ

M.Emin ÖCAL ve Nuran KAYA

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

ÖZET : Etkili bir proje yönetimi uygulaması paket programların geliştirilmesiyle kolaylaşmıştır ancak proje yönetimi kavramının yeterince tanınmaması nedeniyle kullanımı yaygınlaşmamıştır. Bu çalışmada, proje yönetimi için geliştirilen Microsoft Project for Windows isimli programda sınırlı parasal kaynak probleminin çözümü, programda yer alan işgücü kaynağının dengelenmesi bölümünün kullanılmasıyla etkinleştirilmiştir.

LEVELING FINANCIAL RESOURCE ON PROJECT MANAGEMENT BY USING SOFTWARE

ABSTRACT : An efficient management practice has become easier by developing software about project management but it has not been used widely yet since the subject is not well known. In this study using software called Microsoft Project for Windows that is developed for project management has become efficient for solving under limited financial resource by using part of program "resource leveling for labor".

1.GİRİŞ

İnşaat sektöründe etkili bir proje yönetimini gerçekleştirme amacına yönelik çalışmalar, bu sektörde verimliliği geliştirici çabalardır. Bu amaçla değişik paket programlar geliştirilmiştir. Bunların varlığının önemli olması kadar, programların amacına ulaşması için doğru ve etkin bir şekilde kullanımı da büyük önem taşımaktadır. Doğru ve amacına uygun kullanılmaları halinde bu programlar, proje yöneticisine karar vermede büyük kolaylık sağlamakta, denetimi etkinleştirmekte ve kullanıcıya çok çeşitli alternatifleri değerlendirme olanağı vermektedirler. Çoğu detayları içermesine rağmen programların zaman zaman kullanıcının her isteğine cevap verememesi mümkündür.

Bu çalışmada, proje yönetimi amacıyla geliştirilmiş bulunan Microsoft Project for Windows isimli paket programı kullanılarak kısıtlı parasal kaynak probleminin nasıl çözülebileceği araştırılmıştır. Programın özellikleri arasında yer almayan parasal kaynakların seviyelenmesi özelliğinin etkinleştirilebilmesi için, programın mevcut özelliklerinden yararlanılarak çözüm aranmış ve yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem küçük bir projede uygulanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kaynak kısıtlı projelerin programlanmasına yönelik analitik ve sezgisel teknikler çeşitli bilimadamları tarafından geliştirilmiştir. Özden (1), kaynak kısıtları olan projelerin en iyi çözümlenmesi probleminin matematiksel olarak çözümü zor sayılan bileşimsel problemler sınıfına girdiğini belirtmiştir.

Kelley (2), tarafından iki temel strateji seri ve paralel yöntem olarak kabul edilmiştir.

Gounget (3), sezgisel yaklaşımlarda yapılan kaynak tahsislerinin paralel ve seri olarak yapılabileceğini belirterek sınırlı kaynak altında proje programlaması yaklaşımında çalışmış ve üç temel varsayım kullanmıştır. Bunlar:

- İşlemlerin kaydırılması ve ek kapasite (fazla mesai) kullanılmamaktadır.
- Kısıtlı kaynak tipi tektir. Diğer kaynaklar kısıtsız sayılmıştır.
- T Zamanında tek bir proje programlanabilir.

Pritsker (4), geliştirdiği bir tamsayı 0-1 programlama modelinde, karar değişkeni olarak işlemlerin belirlenmiş dönemlerde tamamlanıp tamamlanmadığı kriterini ele alan problemi formüle etmiş ve bu formülasyonu ile çoklu kaynak durumu, işlem ötelemeleri, kaynak ikamesi ve sabit termin süresi gibi kriterleri incelemiştir.

Wiest (5), tarafından geliştirilen basit sezgisel algoritma aşağıda sıralanan üç kurala dayanmaktadır:

- Periyot bazında işlemlerin erken başlama zamanlarına göre kaynakları tahsis etmek,
- Aynı kaynağa gereksinim duyan birden çok işlem olduğunda önceliği en az toplam bolluğu olana vermek,

• Kritik işlemlerin programlanması için gerekli olan kaynak miktarını serbest bırakmak amacıyla kritik olmayan işlemleri yeniden programlamak.

Wiest, kaynakların tahsisleri için bir sıralama programı geliştirilmiş ve Spar-1 adı verilen bu programla sabit veya değişken kaynaklı, tek veya çok proje modellerini bir arada ele almıştır. Program paralel stratejiyi esas almakta ve toplam bolluğu esas alan öncelik şeması kullanmaktadır.

Stingson (6), çok kaynaklı proje programlaması problemi için dal-sınır yaklaşımını kullanmış ve proje tamamlanma süresinin minimizasyonunu hedeflemiştir.

Elsayed (7), bir kaynak kısıtına bağlı tek proje programlama problemine sezgisel bir algoritma kullanarak çözüm aramıştır.

Khatab ve Choobineh (8), Timgen algoritmasının ağırlık faktörlerini kullanılması zorunluluğu yüzünden karmaşık bir yapıya sahip olduğunu, ayrıca işlemlerin programlanması için gereken kritik yolu standart Pert-Cpm tekniği olarak hesaplamanın dezavantaj olduğunu belirterek daha etkin algoritma önermişlerdir.

3. ÖNERİLEN YÖNTEMİN UYGULANMA AŞAMALARI

Kaynak planlaması, proje süresinin bulunması ve kaynak atamalarının yapılması olarak iki aşamada incelenebilir. Geliştirilen yöntem anlatılırken bu iki aşamada neler olduğu ve ne gibi işlemler ve değişimler yapıldığı özetlenerek açıklanmıştır.

3.1. Proje Süresinin Bulunması

Projeyi oluşturan faaliyetlerin üretim miktarları ve tutarlarının bulunması, süre tahminlerinin yapılması, birbirleri ile ilişkilendirilmesi gibi işlemler, bu aşamada programda öngörüldüğü gibi aynen gerçekleştirilmekte ve faaliyetler en erken başlama zamanına göre planlanarak proje süresi bulunmaktadır.

3.2. Kaynak Atamalarının Yapılması

Programda işgücü kaynaklarının atanmasında izlenen yol, parasal kaynak için aşağıdaki işlemler yapılarak izlenmiştir.

- **Faaliyetlerin günlük maliyetlerinin bulunması**

Her faaliyetin belirlenmiş olan tutarı, tahmin edilen süresine bölünerek faaliyet için kullanılan kaynakların bir günlük toplam bedeli bulunmaktadır. Bulunan bu değer "faaliyetin günlük maliyeti" olmaktadır.

- **Ortalama proje gün maliyetinin bulunması**

Faaliyet tutarlarının toplam bedeli olan proje maliyeti, maliyetli proje-gün sayısına bölünerek bir proje-gün süresi için olması gereken ortalama parasal kaynak maliyeti saptanmakta ve bulunan değer, "proje ortalama günlük maliyeti" olarak

adlandırılmaktadır. Maliyetli proje gün süresinin bulunması şu şekildedir: Planlamada maliyeti olmayan fakat kritik yol üzerinde bulunarak proje süresinde etkili olan faaliyetler olabilir. Bu faaliyetlerden, toplam nakit akışı belirlenirken bir günlük dilime tek başına düşerek proje süresinde o gün için maliyet oluşturmayanlar çıkabilir. Bu tür faaliyetlerin proje süresinde etkili olduğu gün sayısı, proje süresinden çıkarılarak maliyetli proje gün sayısı bulunmaktadır.

- **Faaliyete atanacak katsayıların bulunması**

Faaliyet için belirlenen, bir gün için ihtiyaç duyulan parasal kaynak miktarı, proje ortalama günlük maliyetine bölünerek faaliyetin bir günlük maliyetini proje ortalama günlük maliyeti cinsinden ifade etmeye yarayacak katsayı her faaliyet için ayrı ayrı bulunmaktadır. Bulunan bu katsayıların hassaslaştırılması için, elde edilen değerler onla çarpılarak faaliyetlerde kullanılan kaynak sayısı olarak her faaliyet için ayrı ayrı tanımlanmaktadır.

- **Elde mevcut bulundurulacak kaynağın bir biriminin kullanım bedelinin girilmesi**

Kaynaklara atanmak üzere bulunmuş katsayılar ortalama proje gün maliyeti baz alınarak tespit edilmektedir. Bu nedenle ortalama proje-gün maliyeti, elde bulundurulacak kaynağın bir biriminin kullanım bedeli (P) olarak tanımlanmaktadır. Tanımlama, programın kullanılan kaynaklara ait bilgilerin girildiği kaynak belgesinde (resource sheet) yapılmaktadır. Faaliyetlere atanacak katsayıların daha hassas ifade edilmesi amacıyla onla çarpılarak ataması yapıldığı için proje ortalama gün bedeli burada ona bölünerek tanımlanmaktadır.

- **Bulunan kaynak katsayılarının faaliyetlere atanması**

Önceden bulunmuş ve hassaslaştırılmış olan kaynak katsayıları her faaliyet için ayrı ayrı atanmaktadır. Yapılan kaynak atamaları sonrasında faaliyet maliyeti program tarafından bulunmaktadır. Geliştirilen yöntemle, faaliyet maliyetinin program tarafından aşağıdaki ifade ile bulunması sağlanmıştır.

$$\text{Faaliyet maliyeti} = \text{Ort. Proje gün maliyeti} \times \frac{\text{Faaliyetin günlük maliyeti}}{\text{Ort. proje gün maliyeti}} \times \text{Faaliyet süresi [1]}$$

Bu şekildeki ifade tarzı ile faaliyetlerin parasal tutarlarının kaynak olarak tanıtımı sağlanabildiği için programın kaynak kullanımlarına ait bilgileri içeren bölümleri, parasal kaynağın tahsisinde de kullanılabilir hale gelmektedir.

4. YÖNTEMİN ÖRNEKLENMESİ

Önerilen yöntemde yapılan işlemler aşağıda verilen altı faaliyetli bir projede uygulanarak örneklenmiştir.

Programda faaliyetler, isimleri, süreleri ve birbirleri ile olan ilişkileri yönünden aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Tanımlamalar ışığında program, proje süresini 45 gün olarak Tablo.1'deki gibi bulmuştur. Daha sonra, yöntemin aşamaları sırasıyla izlenerek Tablo.2'deki faaliyet maliyetleri faaliyet sürelerine bölünerek günlük maliyetler bulunmuş ortalama proje gün maliyeti tespit edilip ona bölünerek de kaynak birim bedeli belirlenmiştir. (Tablo.3).

Tablo 1. Örneğe ait Gannt Chart Diyagramı.

No	Kaynak	K*gün	Ekim	Kasım	Aralık
1	P	349,92	E	K	A
				248.882.233 TL	55.988.410 TL

No	Faaliyet	Gecikme	Ekim	Kasım	Aralık
2	B	0			
3	C	0			
4	D	0			
5	E	0			
6	F	0			

Tablo 2. Faaliyet günlük maliyetlerinin bulunması.

Faaliyet	Maliyeti (TL)	Süresi (Gün)	Günlük maliyet (TL/gün)
A	0	10	0
B	92000000	8	11500000
C	38000000	5	7600000
D	56000000	12	4666666
E	75000000	9	8333333
F	42000000	15	2800000

Proje Maliyeti : 303.000.000,- TL.

Maliyetli proje gün sayısı : 35 (Proje süresi-maliyeti olmayan proje-gün sayısı)

Ortalama proje-gün maliyeti : $303000000 / 35 = 8.657.143,-$ TL / gün

Tablo 3. Kaynak birim bedelinin ifadesi.

No	Kaynak	Simge	Grup	Max.Sayısı	Kullanım bedeli
1	P	P		1	865.714 TL/d

Yöntemin aşamalarında belirtildiği şekilde faaliyetlerin günlük maliyetleri proje ortalama gün maliyetine bölünerek ve onla çarpılarak faaliyetlere atanacak kaynak sayıları tespit edilmiştir (Tablo.4). Daha sonra bu sayılar faaliyetlere atanarak Tablo.5'deki durum elde edilmiştir.

Tablo 4. Faaliyet katsayılarının belirlenmesi.

Faaliyet	Günlük Maliyet (TL/gün)	Proje ortalama-gün maliyeti (TL/gün)	Katsayı	Hassaslaştırma sonucu katsayı
A	0	8657143	0	0
B	11500000	8657143	1,328	13,28
C	7600000	8657143	0,877	8,77
D	4666666	8657143	0,54	5,4
E	8333333	8657143	0,962	9,62
F	2800000	8657143	0,323	3,23

Tablo 5. Kaynakların Gantt Chartta gösterimi.

No	Faaliyet	Süre	Başlama	Bitiş	T.bölüt	S.bölüt	Etkinlikler		
							Ekim	Kasım	Aralık
							Oct	Nov	Dec
1	A	10	24/10/98	08/11/98	0	0			
2	B	8	07/11/98	18/11/98	0	0			
3	C	5	07/11/98	13/11/98	3	0			
4	D	12	19/11/98	04/12/98	0	0			
5	E	9	14/11/98	28/11/98	21	21			
6	F	15	05/12/98	25/12/98	0	0			

5. ÖNERİLEN YÖNEMLE PROGRAMIN ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARININ KULLANILMASI

Bir önceki bölümde ele alınan küçük örnek için programın çözüm yaklaşımlarının kullanılması bu bölümde incelenmiştir.

4.1. Programın Çözüm Oluşturması

En erken başlama tarihlerine göre planlanan ve hesaplanan katsayıları faaliyetlere atanan proje için aylık finansman ihtiyacı Tablo.6'da verildiği gibidir. Tablo.7 ve Tablo.8'de de programın kullanıcıya verdiği kaynak kullanımına ait bilgiler yer almaktadır.

PROJE YÖNETİMİNDE PARASAL KAYNAK DENGELENMESİNİN
PAKET PROGRAM YARDIMIYLA ÇÖZÜMÜ

Tablo 6. Aylık finansman ihtiyacı.

Faaliyet	Kasım	Aralık	Toplam
A			
B	91973455		91973455
C	37961559		379661559
D	42073700	14024567	56098267
E	74953518		74953518
F		41943843	41943843
Toplam (TL)	246962233	55968410	302930643

Tablo 7. Kaynak kullanımının maksimum sınırları.

No	Kaynak Adı	Kasım	Aralık
		11/96	12/96
	PARA	22,9	5,4

Tablo 8. Aylık kaynakxgün ihtiyacı.

No	Kaynak	Kaynakxgün	Kasım	Aralık
			11/96	12/96
1	P	349,92d	285,27d	64,65d

Bu örnek için kaynak kullanımının ulaşacağı en üst değer, B faaliyetinin katsayısı 13,28 olarak Tablo.9'daki gibi tanımlanmıştır.

Tablo 9. Kaynak sınırı tanımlaması.

No	Kaynak	Simge	Grup	Max.Sayısı	Kullanım bedeli
1	P	P		13,28	865.714 TL/d

Bu tanımlama sonrası paket programın "kaynak seviyeleme" bölümü kullanılarak "faaliyetleri bollukları ölçüsünde kaydır (delay only within slack)" seçeneği seçilerek programa dengeleme yaptırılması halinde planlama, Tablo.10'daki şekli almıştır. Dengeleme sonrası kaynak kullanımına ait bilgiler Tablo.11, Tablo.12 ve Tablo.13'deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 10. Dengeleme sonrası Gantt Diyagramı.

No	Faaliyet	Süre	Başlangıç	Bitiş	T.bolluk	S.bolluk	Ekim	Kasım	Aralık
							E	K	A
1	A	10	24/10/96	06/11/96	0	0			
2	B	8	07/11/96	18/11/96	0	0			
3	C	5	07/11/96	13/11/96	3	3			
4	D	12	19/11/96	04/12/96	0	0			
5	E	9	05/12/96	17/12/96	6	6			
6	F	15	05/12/96	25/12/96	0	0			

Tablo 11. Dengeleme sonrası kaynak kullanımının maksimum düzeyleri.

No	Kaynak Adı	Kasım	Aralık
		11/96	12/96
	PARA	22,05	12,85

Tablo 12. Dengeleme sonrası aylara göre dönem sonu kaynakxgün ihtiyacı.

No	Kaynak	Kaynak*gün	Kasım	Aralık
			11/96	12/96
1	P	349,92d	22,05	12,85

Tablo 13. Dengeleme sonrası aylık finansman ihtiyacı.

Faaliyet	Kasım	Aralık	Toplam
A			
B	91973455		91973455
C	37961559		37961559
D	42073700	14024567	56098267
E		74953518	74953518
F		41943843	41943843
Toplam (TL)	172008715	130921928	302930643

5.2. Kullanıcının Çözüm Oluşturması

Önerilen yöntemin getirdiği avantajların en önemlisi, programın kaynak dengelemesi bölümünün parasal kaynak için etkinleştirilebilmesi olmuştur. Bu yöntemde programa

**PROJE YÖNETİMİNDE PARASAL KAYNAK DENGELENMESİNİN
PAKET PROGRAM YARDIMIYLA ÇÖZÜMÜ**

dengeleme yaptırılabilirdiği gibi, kullanıcının bunu tercih etmemesi halinde, kendi istekleri doğrultusunda faaliyetlerin özelliklerini değiştirerek bunun planlama üzerindeki etkilerini görebilmesi, aşağıdaki şekilde verilen "kaynak dağıtım tablosu (resource allocation view)"nın kullanılmasıyla mümkün olabilmektedir. Tablo.14'de tanımlanan durum, yapılan ilk atamalar sonucu elde edilen hale aittir.

Tablo 14. Kaynak dağıtım tablosunun görünümü.



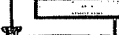
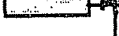
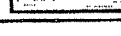
No	Kaynak adı	Kasım				Aralık				Ocak			
		11/88				12/88				1/87			
1	P	22,9				5,4							
No	Faaliyet	Gecikme	Kasım				Aralık						
			28/10	04/11	11/11	18/11	25/11	02/12	09/12	16/12	23/12		
2	B	0	P[13,28]										
3	C	0	P[3,77]										
4	D	0	P[6,4]										
5	E	0	P[0,21]										
6	F	0	P[3,23]										

Bu diyagramda kalın siyah çizgi ile belirtilmiş olan çizgiler faaliyetlerin toplam bolluğunu ifade etmektedir. Kullanıcı, bolluğu olan faaliyetlere gecikme vererek, faaliyetin kaynak sayısını azaltıp faaliyet süresini uzatarak veya faaliyet ilişkilerinde yeni düzenlemeler yaparak kaynak üst seviyesi, dönem sonu maliyeti, kaynak-gün ihtiyacı hakkındaki yeni düzenlemelere ait bilgileri, yaptığı değişimler sırasında görebilmektedir. Faaliyetlerde veya kaynaklarda olacak değişimlerin kaynakxgün ve maliyet üzerindeki etkilerini incelemek, kaynaklara ve faaliyetlere ait bilgilerin bir arada kullanıldığı tablolarla mümkün olmaktadır. Tablo.15 ve Tablo.16'da ilk planlama haline ait bilgileri yer almaktadır.

Tablo 15. Dönem sonu toplam kaynak kullanım ihtiyacı.






No	Kaynak	Kıgün	Etkin		
			E	K	A
1	P	349,92		285,27	64,65
No	Faaliyet	Gecikme	Etkin		
			E	K	A
2	B	0	P[13,28]		
3	C	0	P[3,77]		
4	D	0	P[6,4]		
5	E	0	P[0,21]		
6	F	0	P[3,23]		

Tablo 16. Dönem sonu toplam parasal kaynak ihtiyacı.






No	Kaynak	K'gün	Ekim	Kasım	Aralık
1	P	349,92	E	K	A
				248.982.233 TL	55.988.410 TL
No	Faaliyet	Gecikme	Ekim	Kasım	Aralık
			E	K	A
2	B	0			
3	C	0			
4	D	0			
5	E	0			
6	F	0			

Tablo.17'de, kullanıcının kendi isteği doğrultusunda E faaliyetinde yaptığı değişim ve bunun çubuk diyagram ile kaynak kullanımına yansması görülmektedir. Tablo.18, Tablo.19-ve Tablo.20'de, E-faaliyetinde yapılan-değişim-sonrası, B-faaliyetinde yapılan değişimin çubuk diyagrama, aylık finansman ihtiyacına ve maksimum kaynak kullanım düzeyine yansmaları görülmektedir.






Tablo 17. E faaliyetine 12 gün gecikme verildiğinde dönem sonu kaynak kullanım ihtiyacı.

No	Kaynak	K'gün	Ekim	Kasım	Aralık
1	P	349,92	E	K	A
				198,69	151,23
No	Faaliyet	Gecikme	Ekim	Kasım	Aralık
			E	K	A
2	B	0			
3	C	0			
4	D	0			
5	E	12			
6	F	0			




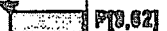

Tablo 18. B faaliyetinin süresinin 8 günden 13 güne çıkarılması halinde Gantt diyagramı.

No	Faaliyet	Süre	Kasım	Aralık	Ocak
			K	A	O
2	B	13			
3	C	5			
4	D	12			
5	E	9			
6	F	15			

Tablo 19. B faaliyetinin süresinin değişimi sonucu aylık finansman ihtiyacı.

No	Kaynak	Kıgđln	Kasım	Aralık	Ocak
			K	A	O
1	P	349,92	148.618.457 TL	151.507.777 TL	2.807.907 TL
No	Faaliyet	Sđre	Kasım	Aralık	Ocak
			K	A	O
2	B	13			
3	C	5			
4	D	12			
5	E	9			
6	F	15			

Tablo 20. B faaliyetinin süresinin değiştirilmesi halinde maksimum kaynak kullanım düzeyleri.

No	Kaynak	Kıgđln	Kasım	Aralık	Ocak
			K	A	O
1	P	349,92	16,94	15,02	3,23
No	Faaliyet	Sđre	Kasım	Aralık	Ocak
			K	A	O
2	B	13			
3	C	5			
4	D	12			
5	E	9			
6	F	15			

6. SONUÇ

Paket programda kısıtlı kaynak problemi işgücü için mevcuttur ve planlama, kısıtlı sayıdaki işgücü kaynağının optimum şekilde projede gerçekleşmesi gereken faaliyetlere tahsis edilmesiyle gerçekleştirilmektedir. İnşaat projelerinin, birbirinden çok farklı üretim kollarının ürünlerinin şantiyede ilgili elemanlarca işlenerek ortaya çıkarılan değişik niteliklere sahip üretimler toplamı olduğu düşünülürse, aynı niteliğe sahip elemanların kullanıldığı faaliyetlerin az olacağı sonucu çıkarılabilir. Dolayısıyla tüm proje için tek nitelikteki işgücü kısıtından çok, faaliyetler için tek tek farklı işgücü kısıtları sorunu yaşanmaktadır. Bu nedenle parasal kısıt problemine işgücünden yola çıkarak çözüm aramak sorunu çözmede yetersiz olacaktır. Ayrıca bu yol, proje gerçekleştirilmeden önce detaylı olarak işgücünün sayısal ve finansal analizini gerektirmektedir. Projede her faaliyet için ortak kullanılan, aynı niteliğe fakat farklı değerlere sahip tek kaynak paradır ve en çok yaşanan kısıt problemi bu kaynak üzerinde olmaktadır.

Bu çalışmada, kısıtlı parasal kaynak probleminin çözümü için geliştirilen yöntemde, projede yapılması gereken faaliyetlerin tutarları, dolaylı yoldan işgücü sayısı olarak tanımlanmış ve programın işgücü kısıtına yönelik olarak sunduğu çözümlerden parasal kaynak için de yararlanılmıştır. Çözümün sağlanması ile planlama aşamasında, parasal kaynak kullanımı için oluşturulabilecek alternatifler önceden görülebilmekte ve proje yöneticisine karar kriterleri oluşturulabilmektedir. Ayrıca projenin gerçekleştirilme aşamasında da karşılaşılabilecek kısıtlı parasal kaynak problemine de yöntem sayesinde çözümler oluşturulabilmektedir.

7. KAYNAKLAR

1. Özden, M., *Proje Yönetimi Teknikleri ile Altsistem İş Programlarının Eşgüdümlü Planlaması, Yöneylem Araştırması Dergisi, Vol.2, No 1, S.16-25, 1983.*
2. Kelley, J., *Critical Path Plannig and Scheduling Mathematical Basis, Operations Resarch, Vol.9, No 3, S.296-319, 1961.*
3. Gounget, L., *Comparison of Three Heuristic Procedures for Allocating Resources and Producing Schedule, Amsterdam-London, (320)S., 1969.*
4. Pritsker, A., *Multiple Project Scheduling with Limited Resources, Management Science, Vol.16, No:1, S.93-108, 1969.*
5. Wiest, J.D., *A Management Guide to Pert-Cpm, Prentice Hall, New Delphi, 1972.*
6. Stingson, J.P., *Multiple Resource Constrained Scheduling Using Branch and Bound, AIIE Transactions, Vol.10, No:3, S.252-259, 1978.*
7. Elsayed, E.A., *Herustics for Resource-Constrained Scheduling, IJPR, Vol.24, No:2, S.299-310, 1986.*
8. Ktattab, M., Choobineh, F., *A New Herustic for Project Scheduling with a Single Resource Constraint, Computers and Industrial Engineering, Vol.19, No:4, S.514-518, 1990.*
9. Kaya, N., *Bir Yapı Projesinin Sınırlı Parasal Kaynak Koşulu Altında CPM Yöntemiyle İş Planlamasının Yapılması. Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak 1997.*

**ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ PROBLEMLERİNİN SONLU-SONSUZ
ELEMENLAR MODELİ İLE STATİK ANALİZİ**

Beytullah TEMEL ve Erhan KIRAL
Ç.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : *Bu çalışmada, iki boyutlu ve eksenel dönel simetrik zemin-yapı etkileşimi problemleri, yakın bölgelerde standart sonlu ve uzak bölgelerde sonsuz eleman kullanılarak analiz edilmektedir. Bu amaçla, statik yükleme hali için FORTRAN dilinde bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Program, düzlem gerilme/şekil değiştirme ve eksenel dönel simetrik halleri birlikte içermektedir. Analitik çözümleri bilinen örnekler ele alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır.*

**STATIC ANALYSIS OF SOIL-STRUCTURE INTERACTION PROBLEMS
USING FINITE AND INFINITE ELEMENTS**

ABSTRACT : *In this study, 2-Dimensional plane strain and axi-symmetric finite element analysis of soil-structure interaction problems are carried out by discretizing the near field with standart finite elements and the far field with infinite elements. A computer program coded in FORTRAN is prepared under static loading. Program covers both plane stress/strain and axi-symmetric conditions. Some comparisons are made with the sample examples for which analitical solutions are available.*

1. GİRİŞ

Plak ve kabuk analizi gibi bir çok problemde cismin veya yapının sınırları açık olarak belirlenebilmektedir. Böyle problemlerde cismin tamamı sonlu elemanlarla modellenebilmektedir. Bununla beraber, zemin - yapı etkileşimi gibi bazı mühendislik problemleri yarı sonsuz ortam geometrisine sahiptir.

Bu tür problemlerin analizinde bilinen ve etkin bir yöntem olan sonlu elemanlar yöntemi, sonsuz elemanlarla birlikte kullanılmaktadır. Sonsuz elemanlar ilk defa Bettles (1) tarafından göz önüne alınmıştır. Adı geçen çalışmada, sonsuz doğrultuda azalan fonksiyonlu elemanlar kullanılmıştır.

Sonsuza uzanan ortamlarda, statik yükleme altında, yeterli uzaklıkta sınırlarla kesilip sadece sonlu eleman kullanılarak, bölgenin ayrıklaştırılması iyi sonuç verebilir. Ne varki, bu durumda bilinmeyen sayısı oldukça artmaktadır.

Bu çalışmada, yarı sonsuz ortamlar için yüke veya üst yapıya yakın bölgelerin sonlu elemanlar ile ve uzak bölgelerin ise sonsuz elemanlar ile modellenmesi yapılmaktadır. Sonsuz eleman modelleri için tasvir edilebilen ve azalan fonksiyonlu modeller kullanılmıştır. Ele alınan örneklerde sonlu ve sonsuz elemanların birlikte kullanılmasının etkinliği ortaya çıkmaktadır.

2. SONLU ELEMAN FORMÜLASYONU

İki boyutlu zemin-yapı etkileşimi problemleri incelenirken zemin ve üst yapı lineer elastik ve izotrop malzeme olarak ele alınmaktadır.

Düzlem elastisite halinde, olayı idare eden diferansiyel denklemler deplasmanlar cinsinden,

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(c_{11} \frac{\partial u}{\partial x} + c_{12} \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[c_{33} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + f_x = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[c_{33} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left(c_{12} \frac{\partial u}{\partial x} + c_{22} \frac{\partial v}{\partial y} \right) + f_y = 0 \quad (2)$$

şeklinde verilmektedir. Burada, f_x ve f_y , x ve y doğrultularında, yayılı hacim (alan) kuvvetleri ve $u=u(x,y)$ ve $v=v(x,y)$, sırasıyla, x ve y doğrultusunda deplasman bileşenleridir.

Lineer elastik ve izotrop malzemeler için c_{ij} , malzeme sabitleri, düzlem şekil değiştirme halinde,

$$c_{11} = c_{22} = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

$$c_{12} = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \quad c_{33} = G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (3)$$

olarak alınmaktadır. Burada, E, Elastisite modülünü, ν , Poisson oranını ve G, kayma modülünü göstermektedir.

Herhangi bir eleman için ağırlıklı artıklar yöntemi uygulandığında,

$$\iint_{A_e} \Psi_1 \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(c_{11} \frac{\partial u}{\partial x} + c_{12} \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[c_{33} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + f_x \right] dA = 0 \quad (4)$$

$$\iint_{A_e} \Psi_2 \left[\frac{\partial}{\partial x} \left[c_{33} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left(c_{12} \frac{\partial u}{\partial x} + c_{22} \frac{\partial v}{\partial y} \right) + f_y \right] dA = 0 \quad (5)$$

diferansiyel denklemler integral formda yazılmaktadır. Burada, Ψ_1 , Ψ_2 ağırlık fonksiyonları ve A_e elemanın alanıdır.

İntegral dönüşümleri yapıldığında (4) ve (5) denklemleri,

$$\iint_{A_e} \left[\frac{\partial \Psi_1}{\partial x} \left(c_{11} \frac{\partial u}{\partial x} + c_{12} \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial \Psi_1}{\partial y} \left[c_{33} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] - \Psi_1 f_x \right] dA - \int_{S_\sigma} \Psi_1 t_x ds = 0 \quad (6)$$

$$\iint_{A_e} \left[\frac{\partial \Psi_2}{\partial x} \left[c_{33} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial \Psi_2}{\partial y} \left(c_{12} \frac{\partial u}{\partial x} + c_{22} \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \Psi_2 f_y \right] dA - \int_{S_\sigma} \Psi_2 t_y ds = 0 \quad (7)$$

şeklini alır. Burada, t_x , t_y , sınır şartlarını temsil etmekte olup deplasmanlar cinsinden,

$$t_x = \left(c_{11} \frac{\partial u}{\partial x} + c_{12} \frac{\partial v}{\partial y} \right) n_x + c_{33} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) n_y \quad (8)$$

$$t_y = \left(c_{33} \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) n_x + \left(c_{12} \frac{\partial u}{\partial x} + c_{22} \frac{\partial v}{\partial y} \right) n_y \quad (9)$$

şeklinde yazılmaktadır. Elemanın herhangi bir noktasındaki deplasmanlar,

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = [N] \{\Delta\} \quad (10)$$

dır. Burada, [N], şekil fonksiyonları matrisi ve $\{\Delta\}$, düğüm deplasmanları vektörüdür. Galerkin ağırlık fonksiyonları olarak,

$$\psi_1 = \delta u, \quad \psi_2 = \delta v \quad (11)$$

deplasmanların varyasyonları seçilmektedir. (6-11) denklemleri yardımıyla [B] şekil değiştirme matrisi oluşturulmaktadır. Buradan,

$$[k^e] = \iint_{A_e} [B]^T [C] [B] dx dy \quad (12)$$

$$[f^e] = \iint_{A_e} [N]^T \begin{Bmatrix} f_x \\ f_y \end{Bmatrix} dx dy \quad (13)$$

$$[Q^e] = \int_{S_e} [N]^T \begin{Bmatrix} t_x \\ t_y \end{Bmatrix} ds \quad (14)$$

tarifleri yapıldığında sonuçta eleman denklemi,

$$[k^e] \{\Delta\} = \{F^e\} \quad (15)$$

elde edilmektedir. Burada, $[k^e]$, eleman rijitlik matrisi, $\{F^e\} = \{f^e\} + \{Q^e\}$ ise, eleman yük vektörü olarak adlandırılmaktadır.

Zemin-yapı etkileşimi problemlerinde üst yapı sekiz düğümlü standart sonlu elemanlarla modellenmektedir. Yarı sonsuz zemin ise, binaya yakın bölgelerde sekiz düğümlü standart sonlu elemanlar ile uzak bölgeler de ise sonsuz elemanlar ile modellenmektedir.

3. SONSUZ ELEMAN FORMÜLASYONU

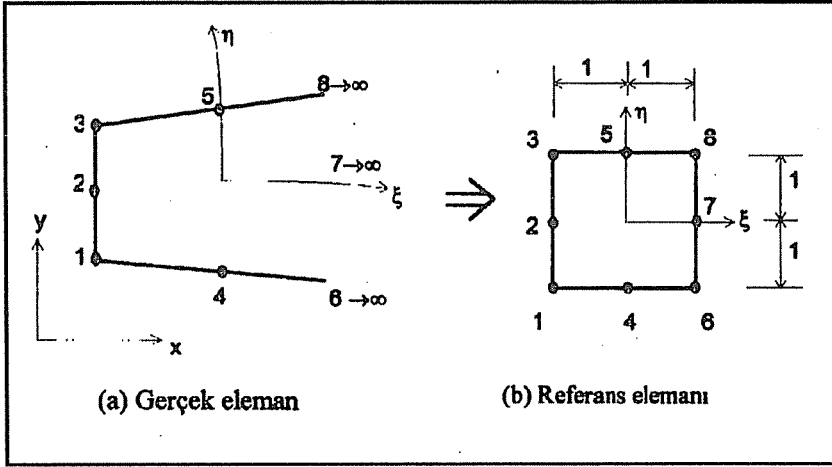
Bu kısımda, ilk olarak, tasvir edilebilen sonsuz eleman ve ikinci olarak ise azalan fonksiyonlu sonsuz eleman için formülasyon yapılacaktır. Her iki halde de hem düzlem gerilme/şekil değiştirme hem de eksenel döneel simetrik durumlar göz önüne alınmaktadır.

3.1. Tasvir Edilebilen Sonsuz Eleman

ξ- doğrultusunda sonsuza uzanan iki boyutlu bir eleman, sınırları her iki yönde de $[-1, 1]$ aralığında değişen sonlu bir bölge ile tasvir edilmektedir.

Şekil 1'de görülen sonsuz elemanın koordinat dönüşümü,

$$x = \sum_{i=1}^5 M_i x_i, \quad y = \sum_{i=1}^5 M_i y_i \quad (16)$$



Şekil 1. Beş düğümlü sonsuz eleman.

ile tarif edilmekte ve burada M_i , geometrik şekil fonksiyonları,

$$\begin{aligned}
 M_1 &= \frac{\xi \eta (1 - \eta)}{(1 - \xi)} & M_4 &= \frac{(1 + \xi)(1 - \eta)}{2(1 - \xi)} \\
 M_2 &= \frac{-2\xi(1 - \eta)^2}{(1 - \xi)} & & \\
 M_3 &= \frac{-\xi \eta (1 + \eta)}{(1 - \xi)} & M_5 &= \frac{(1 + \xi)(1 + \eta)}{2(1 - \xi)}
 \end{aligned} \tag{17}$$

şeklinde verilmektedir (2).

Sonsuz elemenda deplasman bileşenleri için 8 düğümlü kuadratik sonlu elemanın interpolasyon şekil fonksiyonlarından alınmıştır.

$$\mathbf{u} = \sum_{i=1}^5 N_i u_i \quad \text{ve} \quad \mathbf{v} = \sum_{i=1}^5 N_i v_i \tag{18}$$

N_i , interpolasyon şekil fonksiyonları,

$$\begin{aligned}
 N_1 &= \frac{1}{4} (1 - \xi)(-1 + \eta)(1 + \xi + \eta) & N_4 &= \frac{1}{2} (-1 + \xi)^2 (-1 + \eta) \\
 N_2 &= \frac{1}{2} (-1 + \xi)(-1 + \eta)^2 & & \\
 N_3 &= \frac{1}{4} (1 - \xi)(1 + \eta)(-1 - \xi + \eta) & N_5 &= \frac{1}{2} (1 - \xi)^2 (1 + \eta)
 \end{aligned} \tag{19}$$

olarak alınmaktadır.

3.1.1. Düzlem Gerilme/Şekil Değişirme Hali İçin Rijitlik Matrisi Hesabı

Uzama oranı deplasman ilişkisi,

$$\{\varepsilon\} = [B_1, B_2, \dots, B_5] \{u_1, v_1, u_2, v_2, \dots, u_5, v_5\}^T = [B] \{\Delta\} \quad (20)$$

olup, bir i düğümü için şekil değiştirme matrisi $[B_i]$ ve düğüm deplasmanları $\{\Delta_i\}$,

$$[B_i] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} \end{bmatrix}; \quad \{\Delta_i\} = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \end{Bmatrix} \quad (21)$$

şeklinde yazılmaktadır. (x, y) koordinatlarındaki elemanter bir alan,

$$dA = dx dy = \det [J] d\xi d\eta \quad (22)$$

şeklinde yazılır. Burada, $\det [J]$, Jacobian matrisinin determinantını göstermekte olup, bu matris de geometrik şekil fonksiyonları cinsinden hesaplanmaktadır. Sonsuz eleman için eleman rijitlik matrisi, (ξ, η) koordinatlarında,

$$[k]^e_{(10 \times 10)} = \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} [B]^T [C] [B] \det [J] d\xi d\eta = \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} [G(\xi, \eta)] d\xi d\eta \quad (23)$$

şeklinde yazılır. $[C]$, malzeme matrisi, düzlem şekil değiştirme hali için (3) den alınacaktır. Burada, $[G] = [B]^T [C] [B] \det [J]$ dir. Tasvir edilebilen sonsuz eleman rijitlik matrisi, Gauss-Legendre sayısal integral yöntemiyle her iki yönde 3 Gauss noktası seçilerek hesaplanmaktadır.

3.1.2. Eksenel Dönel Simetrik Hal İçin Rijitlik Matrisi Hesabı

Geometri ve yükleme eksenel dönel simetrik olması halinde, uzama oranı deplasman ilişkisindeki $[B_i]$ şekil değiştirme matrisi,

$$[B_i] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial r} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial z} \\ \frac{N_i}{r} & 0 \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} & \frac{\partial N_i}{\partial r} \end{bmatrix} \quad (24)$$

olup, N_i ler (19) eşitliğinde verilmektedir. Elemanda herhangi bir noktanın dönele simetri eksenine uzaklığı da, M_i geometrik şekil fonksiyonlarına bağlı olarak,

$$r = \sum_{i=1}^5 M_i r_i \quad (25)$$

yazılmaktadır. Buna göre, eksenel dönele simetrik sonsuz eleman için rijitlik matrisi,

$$[k^e]_{(10 \times 10)} = 2 \pi \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} [B]^T [C] [B] r \det [J] d\xi d\eta \quad (26)$$

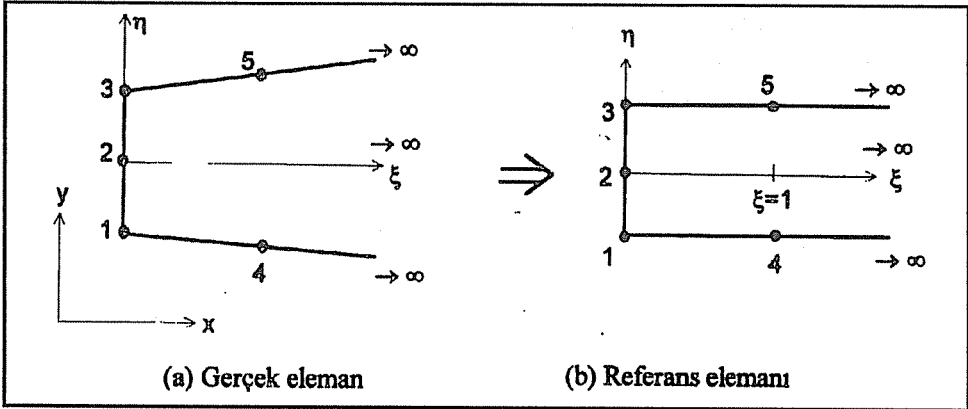
ifadesi ile hesaplanır. Bu hal için [C] malzeme matrisi,

$$[C] = \begin{bmatrix} (1-\nu)p & \nu p & \nu p & 0 \\ & (1-\nu)p & \nu p & 0 \\ & & (1-\nu)p & 0 \\ \text{simetrik} & & & G \end{bmatrix}; p = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)}, G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (27)$$

şeklindeleir.

3.2. Azalan Fonksiyonlu Sonsuz Eleman

Şekil 2'de görülene iki boyutlu bir sonsuz eleman yine iki boyutlu sonsuz bir bölge ile tasvir edilmektedir.



Şekil 2. Sonsuz eleman.

Eleman koordinat dönüşümü,

$$x = \sum_{i=1}^5 M_i x_i, \quad y = \sum_{i=1}^5 M_i y_i \quad (28)$$

ile tarif edilmekte ve burada M_i , geometrik şekil fonksiyonları,

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{1}{2} (\xi - 1) (\eta - 1) & M_4 &= \frac{1}{2} \xi (1 - \eta) \\ M_2 &= 0 & & \\ M_3 &= \frac{1}{2} (1 - \xi) (\eta + 1) & M_5 &= \frac{1}{2} \xi (1 + \eta) \end{aligned} \quad (29)$$

olarak verilmektedir. Sonsuz elemana ait deplasmanlar,

$$u = \sum_{i=1}^3 N_i u_i \quad \text{ve} \quad v = \sum_{i=1}^3 N_i v_i \quad (30)$$

olup, N_i interpolasyon şekil fonksiyonları,

$$\begin{aligned} N_1 &= P(\xi) \frac{1}{2} (-1 + \eta) \eta \\ N_2 &= P(\xi) (1 - \eta)^2 \\ N_3 &= P(\xi) \frac{1}{2} (1 + \eta) \eta \end{aligned} \quad (31)$$

olarak seçilmektedir. $P(\xi)$, deplasman azaltma fonksiyonu olarak adlandırılmakta olup, bu çalışmada iki farklı şekilde ele alınmaktadır. İlk olarak, $P(\xi) = 1/(1+\xi)$ tarzında (3) ve ikinci olarak da $P(\xi) = \text{Exp}(-\alpha\xi)$ şeklinde (4), ξ ye göre azalan bir fonksiyon seçilmektedir. Burada, α , azaltma parametresidir.

Azalan fonksiyonlu elemana ait uzama oranı deplasman ilişkisi şöyledir:

$$\{\epsilon\} = [B_1, B_2, B_3] \{u_1, v_1, u_2, v_2, u_3, v_3\}^T = [B] \{\Delta\} \quad (32)$$

Düzlem gerilme/şekil değiştirme hali için sonsuz eleman rijitlik matrisi ifadesi aşağıdaki şekli alır.

$$[k^e]_{(6 \times 6)} = \int_{\eta=-1}^1 \int_{\xi=0}^{\infty} [B]^T [C] [B] \det [J] d\xi d\eta$$

Bu ifade, modiye Gauss-Legendre sayısal integrasyon yöntemi ile, sonlu yönde 3, sonsuz yönde 17 Gauss noktası seçilerek hesaplanmaktadır.

Eksenel dönел simetrik halde eleman rijitlik matrisi hesabındaki $[B]$ matrisi için (24)

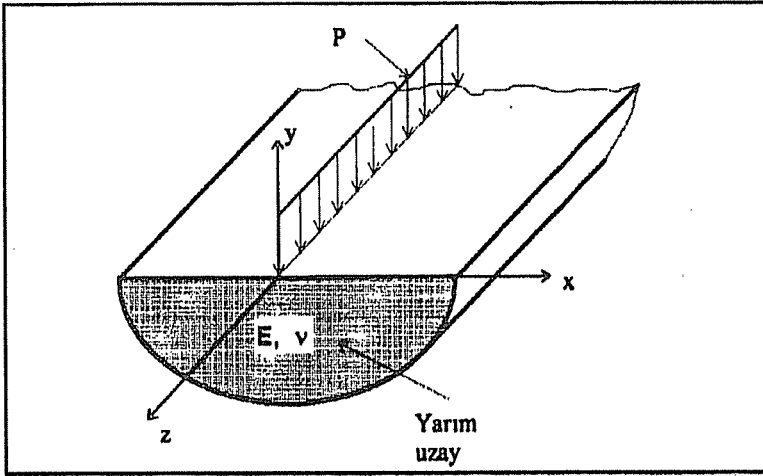
ve (25) eşitlikleri kullanılmaktadır.

4. UYGULAMALAR

Sonlu elemanlar için sekiz düğümlü kuadratik model ile sonsuz elemanlar için tasvir edilebilen ve azalan fonksiyonlu eleman modelleri kullanılarak, DUZSS1 ve DUZSS2 isimli iki ayrı bilgisayar programı hazırlanmıştır. Programlar, düzlem gerilme/şekil değiştirme ile eksenel dönel simetrik halleri birlikte göz önüne almaktadır.

4.1. Çizgisel Düşey Yüklü Elastik Yarı Sonsuz Düzlem

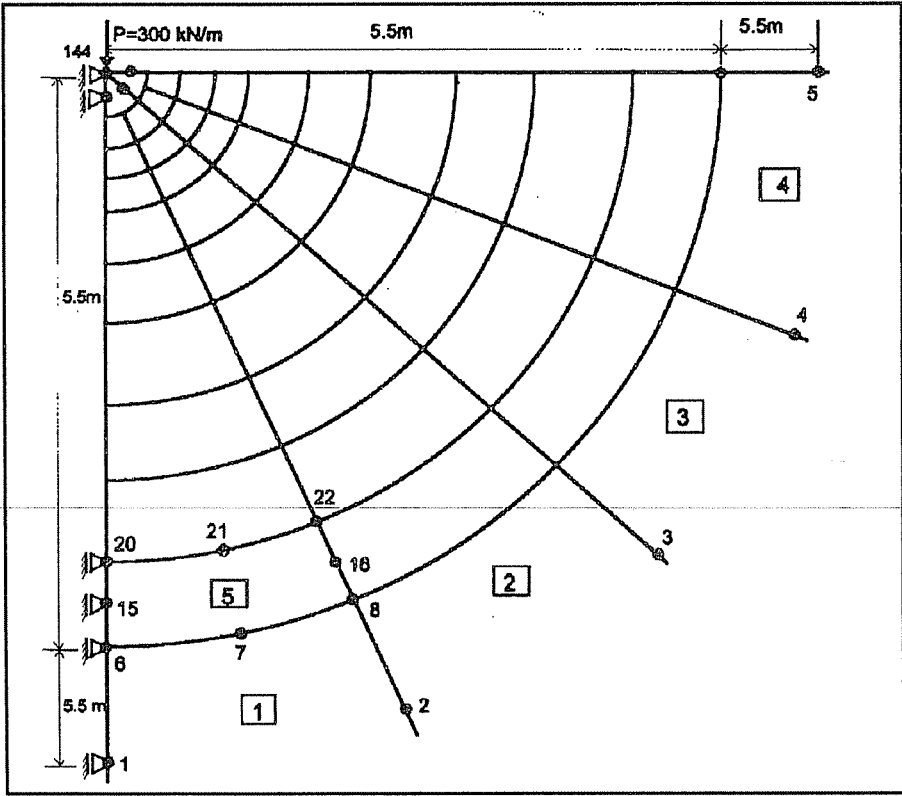
Flamant problemi olarak bilinen bu örnek düzlem şekil değiştirme özelliğine sahiptir (Şekil 3). Simetri nedeni ile yarım düzlemin yarısı göz önüne alınmaktadır. Bölge, 38 sonlu eleman ile 4 adet sonsuz elemana bölünmüştür (Şekil 4).



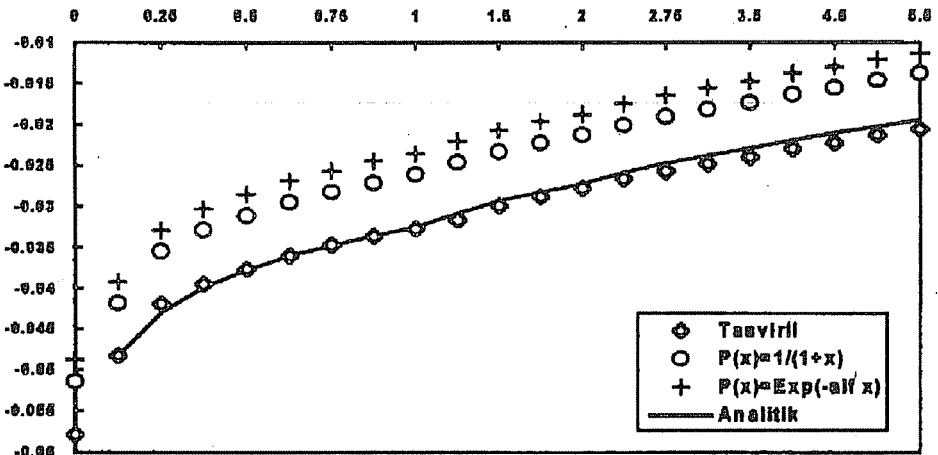
Şekil 3. Yarı sonsuz düzlem şekil değiştirme problemi.

Malzeme sabitleri, $E=5 \times 10^4$ kN/m², $\nu=0.3$ ve şerit yük, $P=600$ kN/m alınmaktadır. Bu problemin analitik çözümü (5) den alınmıştır. Analitik çözümde, deplasmanın sıfır olduğu uzak mesafe olarak 70 metre alınmıştır.

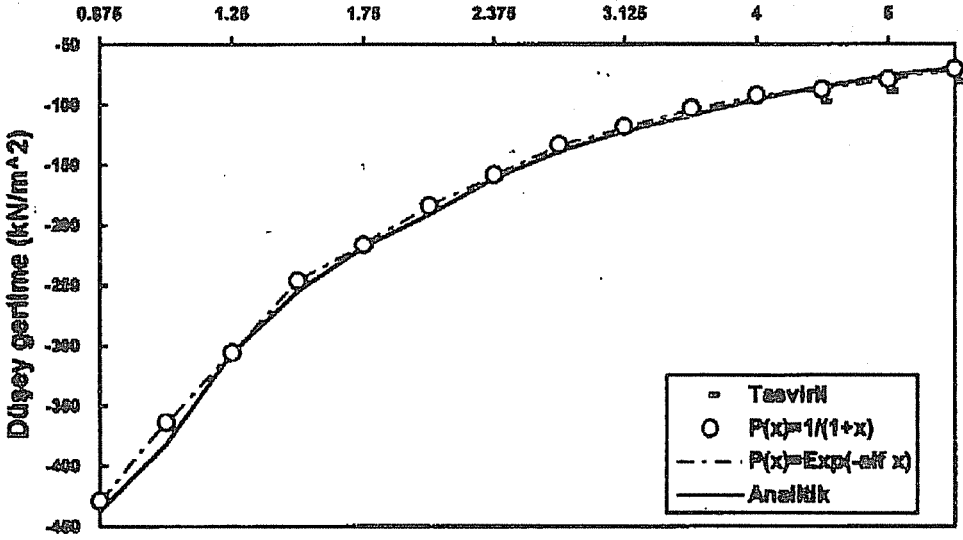
Hazırlanan programlarla sonsuz elemanlarda, tasvirli hal için (17,19), azalan fonksiyonlu halde, $P(\xi)=1/(1+\xi)$ ve $P(\xi)=\text{Exp}(-\alpha\xi)$ alınarak çözümler yapılmıştır. Simetri eksenindeki düşey deplasmanların derinlikle değişimi grafik olarak Şekil 5'de görülmektedir. Buradan, tasvirli sonsuz elemana ait sonuçların daha iyi olduğu gözlenmektedir. Simetri eksenindeki düşey gerilmelerin derinlikle değişimi de Şekil 6'da verilmektedir. Gerilmeler için her üç modele ait çözümlerin kesin çözüme yakın olduğu gözlenmektedir.



Şekil 4. Problemin sonlu-sonsuz eleman ağı.



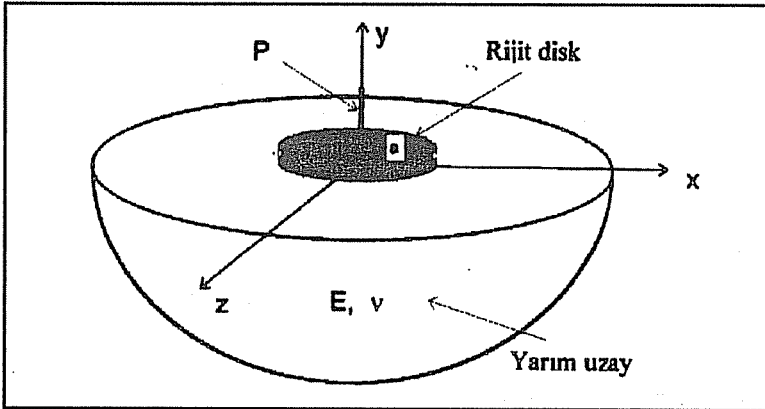
Şekil 5. Simetri eksenindeki düşey deplasmanın derinlikle değişimi.



Şekil 6. Simetri eksenindeki düşey gerilmelerin derinlikle değişimi.

4.2. Yarı Sonsuz Düzlem Üzerine Oturan Tekil Yüklü Rijit Disk

Lineer elastik, yarı sonsuz ortam üzerinde tekil yük bulunan rijit diskin altındaki düşey yer değiştirmeler ve gerilmeler araştırılmaktadır (Şekil 7). Zemin malzemesi, $E=5 \times 10^4$ kN/m², $\nu=0.3$ tür ve tekil yükün şiddeti ise, $P=15000$ kN seçilmektedir. Rijit diskin elastisite modülü çok büyük seçilmekte ve yarıçapı $a=1$ metre alınmaktadır. Eksenel dönele simetrik olan bu yarı sonsuz ortamda, uzak bölge 4 adet sonsuz eleman ile diskin altı ve yakın bölge 78 adet sonlu eleman ve rijit diskin kendisi de, 16 adet sonlu eleman alınarak ağ oluşturulmaktadır.



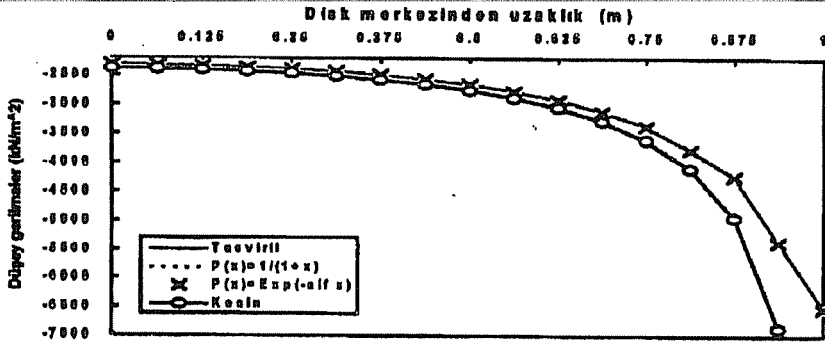
Şekil 7. Yarı sonsuz düzlem üzerine oturan tekil yüklü rijit disk.

P yükü altındaki düşey deplasman ve rijit diskin altındaki düşey gerilmelerin analitik ifadeleri (6) de verilmektedir.

Disk altındaki düşey yer değiştirme Tablo 1'de ve gerilmeler tasvir edilebilen ve azalan fonksiyonlu sonsuz eleman modelleri ile hesaplanarak Şekil 8'de kesin çözümleri ile karşılaştırılmaktadır. Rijit diskin kenarındaki gerilmelerde süreksizlik olduğundan bu bölgede sonuçların yakın olmadığı gözlenmektedir.

Tablo 1. Rijit diskin altındaki düşey deplasman.

	Tasvirli	$P(\xi)=1/(1+\xi)$	$P(\xi)=\text{Exp}(-\alpha\xi)$	Kesin
Max. deplasman (m)	0.1278	0.1283	0.1223	0.1365



Şekil 8. Rijit diskin altındaki düşey gerilmenin uzaklıkla değişimi.

5. SONUÇLAR

Yüklemeye yakın bölgelerde sonlu eleman uzak bölgelerde ise, sonsuz eleman kullanılmasının uygun olduğu görülmektedir. Sonsuz eleman modelleri arasında, tasvir edilebilen sonsuz eleman, azalan fonksiyonlu sonsuz elemana göre daha iyi sonuç vermektedir. Bunun yanında, sadece sonlu eleman kullanılmasının uygun olmadığı gözlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Bettess, P., *Infinite Elements, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 11, 53-64, 1977.*
2. Kumar, P., *Static Infinite Element Formulation, Journal of Structural Engineering, Vol. 111, No. 11, ASCE, 2355-2371, 1985.*
3. Medina, F. and Taylor, R.L., *Finite Element Techniques for Problems of Unbounded*

**ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİ PROBLEMLERİNİN
SONLU-SONSUZ ELEMANLAR MODELİ İLE STATİK ANALİZİ**

Domains, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 19, 1209-1226, 1983.

4. *Chuhan,Z. and Chongbin,Z., Coupling Method of Finite and Infinite Elements for Strip Foundation Wave Problems, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 15., 839-851, 1987.*

5. *Thimesko, S, ve Goodier, S.N., XElastisite Teorisi, Arı Kitapevi Matbaası, İstanbul, 1969.*

6. *Little, R., Elasticity, Prentice-Hall, New Jersey, 1973.*

**SEGMAN YERLEŞTİRİLMİŞ BORULARDA NAVIER-STOKES
DENKLEMLERİNİN NÜMERİK ÇÖZÜMÜ *****Tuncay YILMAZ ve Yasin VAROL***Ç.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye*

ÖZET : *Bu çalışmada, içerisine segman yerleştirilmiş borularda laminar akış teorik olarak incelenmiştir. Navier-Stokes denklemleri sayısal olarak çözülerek segmanlı borudaki akım ve girdap fonksiyonları, hız dağılımları, basınç dağılımları ve sabit akım çizgileri bulunmuştur. Navier-Stokes denklemleri; sıkıştırılmaz, sabit viskoziteli Newtonien akışkan için silindirik koordinatlarda yazılmıştır. Bu denklemler nümerik olarak hassas neticeler veren akım ve girdap fonksiyonları cinsinden yazılarak boyutsuz hale getirilmiştir. Elde edilen denklemler, sonlu farklar yöntemlerinden "Alternating Direction Implicit" İmplicit Değişen Yönler metoduyla değişken adımlarda çözülmüştür.*

**NUMERICAL SOLUTION OF NAVIER-STOKES EQUATIONS
IN TUBES WITH INSERTED RINGS**

ABSTRACT : *In this study, laminar fluid flow in tubes with inserted rings has been examined. Navier-Stokes equations has been solved and stream and vorticity functions, velocity distributions, pressure distributions and constant stream lines for the ring inserted tubes has been obtained. Navier-Stokes and continuity equations have been written in cylindrical coordinates for a Newtonian, non-compressible fluid having constant viscosity. These equations have been solved in terms of stream and vorticity functions and become dimensionless. Differential equations obtained have been solved numerically by using the Alternating Direction Implicit Method with non-uniform intervals.*

*Bu çalışma Ç.Ü. Araştırma Fonun 'ca FBE.94.E.155 nolu proje çerçevesinde desteklenmiştir.

1. GİRİŞ

İçerisine segman yerleştirilmiş borularda akış, hem yeni tip ısı değıştircilerinin geliştirilmesine hem de pratikte kullanılan kompakt ısı değıştircileri üzerinde yapılan proseslerin fiziksel yönden aydınlatılmasına katkıda bulunmak amacıyla teorik olarak incelenmiştir. Segman yerleştirilmiş borularda çeşitli kesit alanlı kanallardaki gibi sürekli sınır tabaka yenilenmesi olduğundan yüksek ısı transferi katsayıları beklenir (1, 2, 3). Beklenen bu özelliğten dolayı, segman yerleştirilmiş borularda akış incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METHOD

2.1. Silindirik Koordinatlarda Navier-Stokes ve Süreklilik Denklemleri

Segmanlı borularda akışı hesaplamak, Navier-Stokes ve süreklilik denklemleriyle mümkündür. Sıkıştırılmaz, Newtonien olan, sabit viskoziteli bir akışkan için silindirik koordinatlarda Navier-Stokes ve süreklilik denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial r} + \frac{v}{r} + \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

Burada, ρ akışkanın yoğunluğunu, ν akışkanın kinematik viskozitesini, u aksel hızı, v radyal hızı ve p ise basıncı göstermektedir. Navier-Stokes ve süreklilik denklemlerini boyutsuz hale getirmek için aşağıdaki boyutsuz sayıları tarif etmek gerekir.

$$u^* = \frac{u}{\bar{u}} \quad v^* = \frac{v}{\bar{u}} \quad x^* = \frac{x}{L} \quad r^* = \frac{r}{R} \quad L^* = \frac{L}{d} \quad t^* = \frac{t \nu}{R^2} \quad p^* = \frac{p}{\rho \bar{u}^2 / 2} \quad Re = \frac{\bar{u} d}{\nu}$$

Burada u boru içindeki ortalama hızı, d boru çapını, R boru yarıçapını ve L segmanlar arası mesafeyi göstermektedir. Bu boyutsuz sayılar kullanılarak Navier-Stokes ve süreklilik denklemleri aşağıdaki şekli alır.

$$\frac{2}{\text{Re}} \frac{\partial u^*}{\partial t^*} + \frac{1}{2L^*} u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial u^*}{\partial r^*} = -\frac{1}{4L^*} \frac{\partial p^*}{\partial x^*} + \frac{2}{\text{Re}} \left[\frac{1}{4L^{*2}} \frac{\partial^2 u^*}{\partial x^{*2}} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial u^*}{\partial r^*} + \frac{\partial^2 u^*}{\partial r^{*2}} \right] \quad (4)$$

$$\frac{2}{\text{Re}} \frac{\partial v^*}{\partial t^*} + \frac{1}{2L^*} u^* \frac{\partial v^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial v^*}{\partial r^*} = -\frac{1}{2} \frac{\partial p^*}{\partial r^*} + \frac{2}{\text{Re}} \left[\frac{1}{4L^{*2}} \frac{\partial^2 v^*}{\partial x^{*2}} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial v^*}{\partial r^*} - \frac{v^*}{r^{*2}} + \frac{\partial^2 v^*}{\partial r^{*2}} \right] \quad (5)$$

$$\frac{1}{2L^*} \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + \frac{v^*}{r^*} + \frac{\partial v^*}{\partial r^*} = 0 \quad (6)$$

Bu çalışmada nümerik olarak hassas neticeler veren akım ve girdap fonksiyonları ile elde edilen denklemler çözülmüştür. Silindirik koordinatlarda akım ve girdap fonksiyonları;

$$u = \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \quad (7)$$

$$v = -\frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (8)$$

$$\omega = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial r} \quad (9)$$

eşitlikleriyle verilmiştir. Akım ve girdap fonksiyonları için aşağıdaki boyutsuz sayıları tarif etmek gerekmektedir.

$$\text{Boyutsuz akım fonksiyonu} : \quad \psi^* = \frac{2 \psi}{\bar{u} R^2} \quad (10)$$

$$\text{Boyutsuz girdap fonksiyonu} : \quad \omega^* = \frac{\omega R}{u} \quad (11)$$

Yukarıdaki boyutsuz sayıların kullanılmasıyla (7), (8) ve (9) denklemleri boyutsuz hale getirilir.

$$u^* = \frac{1}{2r^*} \frac{\partial \psi^*}{\partial r^*} \quad (12)$$

$$v^* = -\frac{1}{4L r^*} \frac{\partial \psi^*}{\partial x^*} \quad (13)$$

$$\omega^* = \frac{1}{2L^*} \frac{\partial v^*}{\partial x^*} - \frac{\partial u^*}{\partial r^*} \quad (14)$$

(12), (13) ve (14) eşitliklerinin (4) ve (5) diferansiyel denklemlerinde yerine konulup, (4) denkleminin r^* 'a ve (5) denkleminin de x^* 'a göre türevini alarak ve meydana gelen denklemleri birbirinden çıkararak basınç elimine edilir. Gerekli düzenlemeler yapılarak

$$\frac{\partial \omega^*}{\partial t^*} + \frac{Re}{8L r^*} \left[\frac{\partial \psi^*}{\partial r^*} \frac{\partial \omega^*}{\partial x^*} - \frac{\partial \psi^*}{\partial x^*} \frac{\partial \omega^*}{\partial r^*} \right] + \frac{Re \omega^*}{8L r^*} \frac{\partial \psi^*}{\partial x^*} =$$

$$\frac{\partial^2 \omega^*}{\partial r^{*2}} + \frac{1}{4L^*} \frac{\partial^2 \omega^*}{\partial x^{*2}} + \frac{1}{r^*} \frac{\partial \omega^*}{\partial r^*} - \frac{\omega^*}{r^{*2}} \quad (15)$$

girdap transport denklemi elde edilir. İkinci denklem olarak, (12) ve (13) eşitliklerini (14) eşitliğinde yerine yazarsak

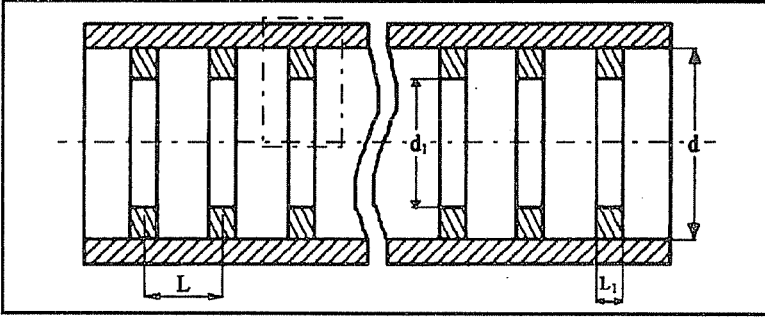
$$\omega^* = -\frac{1}{2r^*} \left[\frac{\partial^2 \psi^*}{\partial r^{*2}} + \frac{1}{4L^*} \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial x^{*2}} - \frac{1}{r^*} \frac{\partial \psi^*}{\partial r^*} \right] \quad (16)$$

denklemi bulunur. Bu iki diferansiyel denklem yardımıyla akım ve girdap fonksiyonları hesaplanır.

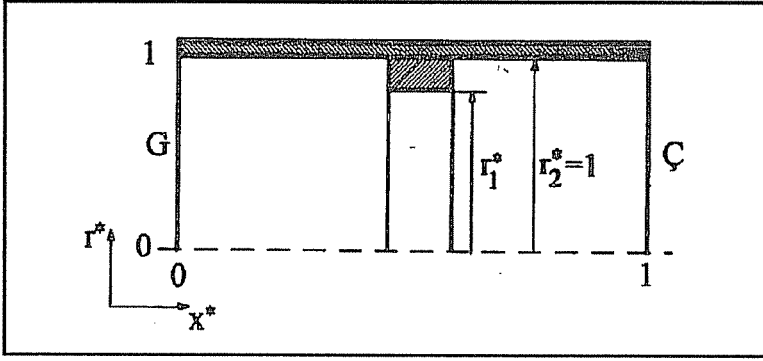
2.2. Akış İçin Gerekli Sınır Şartları

Kalınlığı L_1 ve iç çapı d_1 olan segmanlar, d_1 iç çaplı boruya L aralıklarıyla yerleştirilmiştir (Şekil 1).

(15) ve (16) diferansiyel denklemleri x^* ve r^* 'a göre ikinci mertebeden olduklarından, x^* ve r^* yönünde ikişer sınır şartına ihtiyaç vardır. Bu sınır şartları aşağıda verilmiştir.



Şekil 1. Segman yerleştirilmiş borunun Şematik görünümü



Şekil 2. Akış bölgesi

Şekil 2' deki akış bölgesi için r^* yönündeki sınır Şartları;

$$r^*=0 \text{ 'da } \psi^*=0 \text{ ve } \omega^*=0 \quad (17)$$

$$0 \leq x^* \leq 1 \quad r^*=1 \text{ 'de } \psi^*=1 \text{ ve } \omega^* = -\frac{1}{2r^*} \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial r^{*2}} \quad (18)$$

Şekilde yazılır. Segman boru cidarına yapışık olduğundan segman yüzeylerinde akım fonksiyonu $\psi^*=1$ 'dir. Segman yüzeyindeki sınır Şartları;

$$\text{radyal yüzeylerde : } \psi^*=1 \text{ ve } \omega^* = -\frac{1}{8L^{*2}} \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial x^{*2}} \quad (19)$$

$$\text{eksenel yüzeylerde : } \psi^*=1 \quad \text{ve} \quad \omega^* = -\frac{1}{2r^*} \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial r^{*2}} \quad (20)$$

$$\text{köşe noktalarında : } \psi^*=1 \quad \text{ve} \quad \omega^* = -\frac{1}{2r^*} \left[\frac{\partial^2 \psi^*}{\partial r^{*2}} + \frac{1}{4L^{*2}} \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial x^{*2}} \right] \quad (21)$$

şeklinde yazılır.

x^* yönündeki sınır şartları için, akışın her segman bölgesinde aynı olması varsayımından yararlanılmıştır. Bu sınır şartları aşağıda verilmiştir.

$$\psi^*(0,r^*) = \psi^*(1,r^*) \quad (22)$$

$$\left(\frac{\partial \psi^*}{\partial x^*} \right)_{0,r^*} = \left(\frac{\partial \psi^*}{\partial x^*} \right)_{1,r^*} \quad (23)$$

$$\omega^*(0,r^*) = \omega^*(1,r^*) \quad (24)$$

$$\left(\frac{\partial \omega^*}{\partial x^*} \right)_{0,r^*} = \left(\frac{\partial \omega^*}{\partial x^*} \right)_{1,r^*} \quad (25)$$

2.3. Kullanılan Sonlu Farklar Yöntemi

Bu çalışmada daimi akış incelendiğinden (15) diferansiyel denklemindeki ω^* 'ın zamana göre türevinin sıfır olması gerekir. Bu durumda (15) ve (16) denklemleri birbirlerine bağımlı, lineer olmayan, kısmi türevli, eliptik diferansiyel denklemlerdir. Eliptik diferansiyel denklemlerin nümerik çözümü için kullanılan sonlu farklar metodlarından en önemlileri; Successive Over Relaxation ve Alternating Direction Implicit Method diye adlandırılır (1, 3, 4, 5). Bu çalışmada, diferansiyel denklemlerin çözümü için "Alternating Direction Implicit Method" implisit değişen yönler metodu kullanılmıştır.

İmplicit değişen yönler metodu ile parabolik denklem türlerinde stabiliteye daha çabuk erişildiğinden, (15) diferansiyel denkleminde $\partial \omega^* / \partial t^*$ terimi daimi akış hesaplanmasına rağmen bırakılmıştır (3). Bu sayede eliptik tip diferansiyel denklem parabolik tipe dönüştürülmüştür. Aynı sebepten ötürü, (16) denklemine böyle bir

zaman kısmı eklenecektir. Bu denklemin hiçbir fiziksel manası yoktur. Bir nümerik metod olarak düşünölmelidir. Böylece (16) denklemini aşığıdaki şekli alır (2, 3).

$$\frac{\partial \psi^*}{\partial t^*} - \omega^* = \frac{1}{2r^*} \left[\frac{\partial^2 \psi^*}{\partial r^{*2}} + \frac{1}{4L^{*2}} \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial x^{*2}} - \frac{1}{r^*} \frac{\partial \psi^*}{\partial r^*} \right] \quad (26)$$

Diferansiyel denklemlerin nümerik çözümü için (15) ve (26) denklemlerindeki diferansiyel büyüklükler, sonlu farklar olarak ifade edilecektir. Bunun için hesaplanacak bölge kenarları Δx^* ve Δr^* olan dikdörtgenlerden meydana gelen ağılara bölünür. Bu ağıların her noktasına diferansiyel denklem uygulanır.

Diferansiyel denklemlerin eşit adımlardaki çözümü göstermiştir ki elde edilen sonuçların güvenilir olabilmesi için adım sayısının yeterince yüksek olması gerekmektedir. Bu durumda akış bölgesinde bilinmeyen nokta sayısı aşırı miktarda artmakta ve hesaplama süresi uzamaktadır. Bilinmeyen sayısını artırmadan hız ve sıcaklık gradyanının çok hızlı değıştiğı segman ve boru cidarında nokta yoğunluğu artırılarak daha hassas çözümler elde edilebilir.

2.4. Hızlar ve Basıncın Hesaplanması

Eksenel ve radyal hızlar aşığıdaki denklemlerden hesaplanabilir.

$$u^* = \frac{1}{2r^*} \frac{\partial \psi^*}{\partial r^*} \quad (27)$$

$$v^* = -\frac{1}{4L^* r^*} \frac{\partial \psi^*}{\partial x^*} \quad (28)$$

Basıncın hesaplanabilmesi için Navier-Stokes denklemlerinden x^* ve r^* yönündeki basınç gradyanlarının bulunması gerekir. Basınç gradyanları; Navier-Stokes denklemleri kullanılarak, ayrıca süreklilik denkleminde yararlanılarak ve karışık türevlerde türev alma sırasının değıştirilmesinin bu karışık türevin değerini değıştirmediği özelliğinden faydalanılarak eşitlik (4), (5) ve (6) 'dan aşığıdaki şekilde bulunur.

$$\frac{\partial p^*}{\partial x^*} = -\frac{8L^*}{Re^*} \left[\frac{\partial \omega^*}{\partial r^*} + \frac{\omega^*}{r^*} \right] - 2 \left[u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + 2L^* v^* \frac{\partial u^*}{\partial r^*} \right] \quad (29)$$

$$\frac{\partial p^*}{\partial r^*} = \frac{2}{L^* Re} \frac{\partial \omega^*}{\partial x^*} - 2 \left[\frac{1}{2L^*} u^* \frac{\partial v^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial v^*}{\partial r^*} \right] \quad (30)$$

Hesaplanan ψ^* ve ω^* değerlerinden basınç gradyanları bu denklemlerin sonlu farklar haline getirilmesi ile tespit edilmiştir. Bu gradyanların entegrasyonundan basınç elde edilir.

$$p^*(x^*, r^*) = p^*(0,0) + \int_0^{r^*} \frac{\partial p^*}{\partial r^*} dr^* + \int_0^{x^*} \frac{\partial p^*}{\partial x^*} dx^* \quad (31)$$

Yukarıdaki entegrasyonun yapılabilmesi için $x^* = 0;1$ ve $r^* = 0;1$ 'de basınç gradyanlarının bilinmesi gerekir.

$$\text{Simetri çizgisinde } r^*=0 \quad \frac{\partial p^*}{\partial r^*} = 0 \quad (32)$$

$$\frac{\partial p^*}{\partial x^*} = -\frac{16L^*}{Re} \frac{\partial \omega^*}{\partial r^*} - 2u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} \quad (33)$$

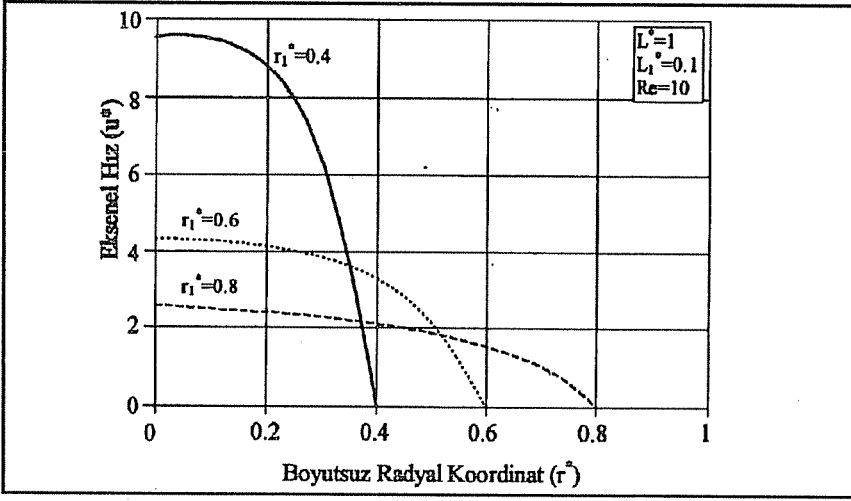
$$\text{Cidarda } r^*=1 \quad \frac{\partial p^*}{\partial r^*} = \frac{2}{L^* Re} \frac{\partial \omega^*}{\partial x^*} \quad (34)$$

$$\frac{\partial p^*}{\partial x^*} = -\frac{8L^*}{Re} \left[\frac{\partial \omega^*}{\partial r^*} + \frac{\omega^*}{r^*} \right] \quad (35)$$

sınır şartları vardır. (31) denklemi Simpson entegrasyon metodu ile çözülmür. Böylece bütün düğüm noktalarındaki basınç değerleri hesaplanır.

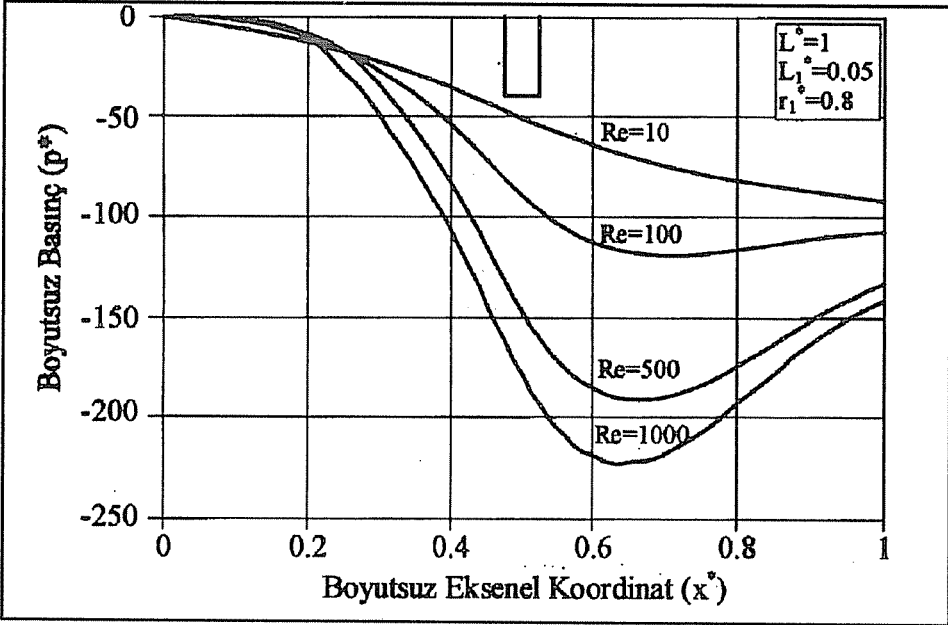
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bilgisayar programı ile bütün düğüm noktalarındaki boyutsuz hız değerleri hesaplanmış olup dosyaya yazılmıştır. Segmanlar arası mesafe $L^*=1$, segman kalınlığı $L_1^* = 0.1$ ve Reynolds sayısı $Re=10$ alınarak, segman iç yarıçapının $r_1^* = 0.8, 0.6$ ve 0.4 değerleri için segmanlı bölgenin ortasındaki aksenal hız profilleri Şekil 3 'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi segman iç yarıçapı azaldıkça aksenal hız artmaktadır.



Şekil 3. Çeşitli segman çaplarında aksenal hız radyal koordinat ile değişimi

Segmanlar arası mesafe $L^* = 1$, segman i yarıçapı $r_1^* = 0.8$ ve segman kalınlığı $L_1^* = 0.05$ alınarak, Reynolds sayısının 10, 100, 500 ve 1000 değerleri için, boyutsuz basıncın aksenal koordinat boyunca değişimi Şekil 4 'te verilmiştir.



Şekil 4. Çeşitli Reynolds sayılarında boyutsuz basıncın aksenal koordinat boyunca değişimi

Şekilde görüldüğü gibi Reynolds sayılarında $Re=10$ için basınç kaybı segmanlı bölgede olmaktadır. $Re=100$ 'de segmanın arka tarafında girdaplar oluştuğundan basınç düşümü artmaktadır. Çıkış kesitine doğru basınç kazancı olmaktadır. $Re=500$ ve 1000 değerleri için segmanlar arasındaki bölgenin tamamında girdaplar oluştuğundan basınç düşümü daha fazla olmaktadır (6). Çıkış kesitine doğru basınç kazancı da artmaktadır.

Bilgisayar programından bütün düğüm noktalarındaki akım ve girdap fonksiyonu değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan akım fonksiyonu değerlerinden lineer enterpolasyon yapılarak sabit akım çizgilerinin koordinatları bilgisayar programı yardımıyla hesaplanmıştır. Bu değerler kullanılarak sabit akım çizgilerinin değişimi grafikler halinde verilmiştir. Sabit akım çizgilerinin değerleri 0.1, 0.2, ..., 0.9, 0.99 arasında değişmektedir. Kare kesitli segman için segman iç yarıçapı $r_1^*=0.6$ ve Reynolds sayısı $Re=10$ alınarak, segmanlar arası mesafenin $L^*=1, 4$ ve 10 değerleri için sabit akım çizgilerinin aksel koordinat boyunca değişimi Şekil 5 'de gösterilmiştir. $L^*=1$ için, segmanın ön tarafında küçük girdap bölgesi oluşmasına rağmen arka tarafındaki girdap bölgesinin uzunluğu $x^*=0.87$ değerine ulaşmaktadır. $L^*=4$ 'de segmanlar arası mesafe artırıldığından dolayı segmanın arka tarafındaki girdap bölgesi daralmaktadır. Bu durum $L^*=10$ değeri için daha aşikar olarak görülmektedir.

4. SONUÇLAR

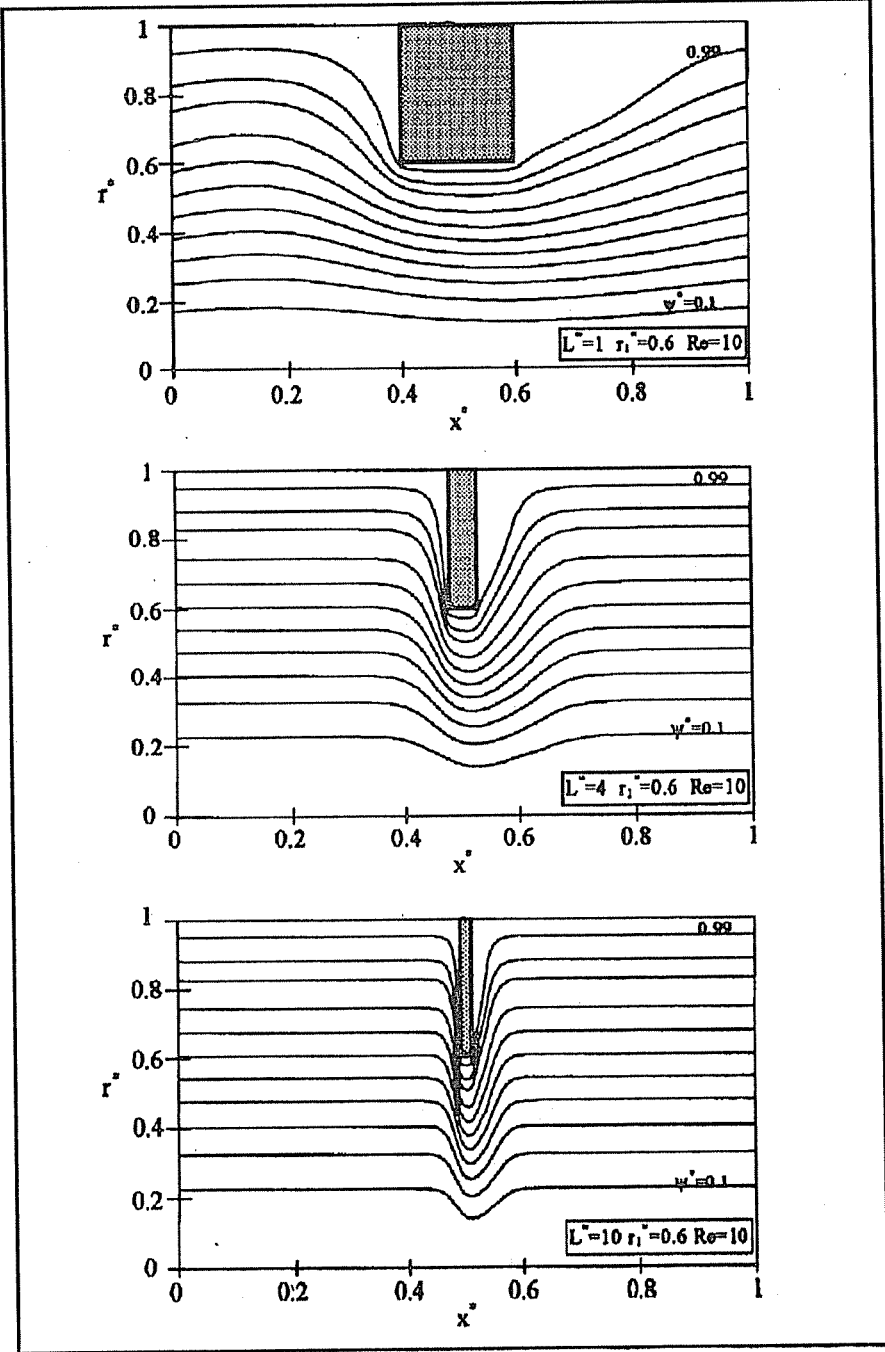
Bu çalışmada segman yerleştirilmiş borularda akış, segmanın cidara yapışık olması durumu için hesaplanmıştır. Navier-Stokes ve süreklilik denklemleri akım ve girdap forksiyonu cinsinden yazılarak boyutsuz hale getirilmiştir. Bu diferansiyel denklemler sonlu farklar yöntemlerinden "Alternating Direction Implicit" İmplicit Değişen Yönler metoduyla değişken adımlarda çözülmüştür.

x^* ve r^* yönündeki adım sayısı $m=30$ ve $n=30$, x^* ve r^* yönündeki sıklık dereceleri $s_x = 1.1$ ve $s_r = 1.1$ ve zaman adımı yönündeki en küçük adım uzunluğu $\Delta t^* = (1/256)10^{-4}$ alınarak çözümlere başlanmış ve zaman adım uzunluğu kademeli olarak artırılarak diferansiyel denklemler çözülmüştür.

Bilgisayar programı ile bütün düğüm noktalarındaki boyutsuz basınç değerleri hesaplanmıştır. Çeşitli Reynolds sayılarında boyutsuz basıncın aksel koordinat boyunca değişimi Şekil 4 'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi Reynolds sayısı arttıkça basınç düşümü de artmaktadır.

5. SEMBOLLER

d	Boru çapı
d_1	Segman iç çapı
L	Segmanlar arası mesafe
L^*	Boyutsuz uzunluk ($L^*=L/d$)



Şekil 5. Kare kesitli segmada aksenal koordinat boyunca sabit akım çizgilerinin değişimi

L_1	Segman kalınlığı
L_1^*	Boyutsuz segman kalınlığı ($L_1^*=L_1/L$)
m	x^* yönündeki adım sayısı
n	r^* yönündeki adım sayısı
p	Basınç
p^*	Boyutsuz basınç
R	Boru yarıçapı
r	Radyal koordinat
r^*	Boyutsuz radyal koordinat ($r^*=r/R$)
r_1	Segman iç yarıçapı
r_1^*	Boyutsuz segman iç yarıçapı ($r_1^*=r_1/R$)
Re	Reynolds sayısı
s_r	r^* yönündeki sıklık derecesi
s_x	x^* yönündeki sıklık derecesi
t	Zaman
t^*	Boyutsuz zaman ($t^*=t v / R^2$)
u	Eksenel hız
u^*	Boyutsuz eksenel hız
u	Boru içindeki ortalama hız
v	Radyal hız
v^*	Boyutsuz radyal hız
x	Eksenel koordinat
x^*	Boyutsuz eksenel koordinat ($x^*=x/L$)
ψ	Akım fonksiyonu
ψ^*	Boyutsuz akım fonksiyonu
ω	Girdap fonksiyonu
ω^*	Boyutsuz girdap fonksiyonu
Δx	x^* yönündeki adım uzunluğu
Δr	r^* yönündeki adım uzunluğu
Δt	Zaman adım uzunluğu
Δp^*	Segmanlı borudaki boyutsuz basınç kaybı

6. KAYNAKLAR

1. Aiba, S., "Heat Transfer Around Small Square Ribs Mounted on an Adiabatic Plane Channel", *Warme-Stoffübertragung*, Vol.25, pp.85-91, 1990.
2. Kelkar, K.M. and Patankar, S.V., "Numerical Prediction of Flow and Heat Transfer in a Parallel Plate Channel with Staggered Fins", *J. of Heat Transfer*, Vol.109, pp.25-30, 1987.

3. Yılmaz,T., "KaydırılmıŐ Levha Dizilerinde Laminer Akışta Isı ve Kütlev Transferi", Doçentlik Tezi, K.T.Ü., 1977, Trabzon.
4. Roache, P. 7., "Computational Fluid Dynamics", Hermosa Publishers, Albuquerque, New Mexico, 1996.
5. Steven, C.C. and Albert, Y.T., "Application of Elliptic Grid Generation Technique to the Solution of Hydrodynamics and Heat Transfer of Droplet Arrays of Intermediate Reynolds Number Cut. 7. Heat Mass Transfer, Vol. 31, pp. 1063-1072, 1988.
6. Varol,Y., "Segman Yerleştirilmiş Borularda Akış ve Isı Transferi", Çukurova Üniversitesi Fen Bil. Enst. Doktora Tezi, 1996, Adana.

ISITMA VE SOĞUTMA AMAÇLI ISI POMPASI SİSTEMİNİN TASARIMI VE TANITILMASI*

Tuncay YILMAZ ve Muammer ÖZGÖREN
Ç. Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : *Bu çalışmada, bir ortamın ısıtılması ve soğutulması ile birlikte yıl boyunca sıcak su ihtiyacının karşılanmasını amaçlayan bir ısı pompası sisteminin tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan sistemin soğutucu akışkan ve su devrelerinin çalışma prensipleri anlatılmış ve sistemde kullanılan elemanlar tanıtılmıştır. İmalatı Makina Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiş olan sistemin etkinliğinin deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır.*

DESIGN AND INTRODUCING OF A HEAT PUMP SYSTEM FOR HEATING AND COOLING PURPOSES

ABSTRACT : *In this study, a heat pump system for cooling in summer, heating in winter and supplying hot water during the year have been designed. Operating principals of refrigerant and water circuits of designed system and the elements used in the system are explained. The system is developed in the laboratories of Mechanical Engineering Department and it is aimed to investigate the efficiency of the system.*

*Bu çalışma Ç.Ü. Araştırma Fonu F.B.E. 95.E.161 nolu proje tarafından desteklenmiştir.

1. GİRİŞ

Yakın geçmişte ve günümüzde, enerji teminindeki sorunlar ve enerji tüketimi ile birlikte ortaya çıkan çevre kirliliğinin gün geçtikçe artan boyutları, mevcut kaynakların iyi değerlendirilmesini ve mümkün olduğunca ekonomik kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, 1970'li yıllarda ardarda gelen iki petrol krizinden sonra sanayileşmiş ülkeler enerji tasarrufu sağlamaya ve çevre kirliliğini azaltmaya yönelik teknolojilerin oluşturulması ve geliştirilmesi çalışmalarına ağırlık vermişlerdir. Tasarımları sanayileşme sürecinin başladığı yıllara dayanan bazı cihazlar, karşılaşılan enerji sorunları nedeniyle hızla geliştirilerek ticari hale getirilmiştir. Bunun tipik örneklerinden birisi de ısı pompalarıdır (1).

Isı pompaları çevrimleri ile soğutma çevrimleri genelde aynı olup farkları prensipte değil amaçtır. Soğutma makinaları, bir mahal veya ortamı soğutmak için kullanılırken, ısı pompaları bir mahal veya ortamı ısıtmak amacıyla kullanılır. Isı pompası; düşük sıcaklıktaki bir ortamdan ısı çekerek bu ısıyı yüksek sıcaklıktaki bir ortama mekanik iş sarfetmek suretiyle taşıyan bir cihazdır. Buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimine göre çalışan bir ısı pompasında kompresörün harcadığı elektrik enerjisinin 2 veya daha fazla katı bir ortama ısı enerjisi olarak transfer edilebilir. Bu yüzden elektrik enerjisinin çok kıymetli olmasından dolayı elektriğin doğrudan ısıtmada kullanılması, ısı pompasına göre çok daha pahalı olup enerji kaynaklarının israfı olduğun akılcı değildir (2).

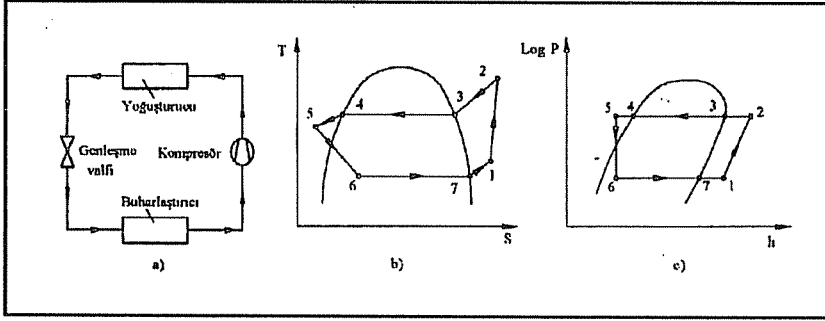
Çukurova bölgesinde; kış dış ortam sıcaklıklarının 0° C'nin altına pek düşmemesi, yazın binaların soğutulmasının, kışında ısıtılmasının gerekmesi, gece-gündüz ve kış-yaz sıcaklık farklarının büyük olması, ikinci ürünlerin kurutulması ihtiyacı ısı pompalarının ekonomik olarak uygulanabileceğini göstermektedir (2).

2. ISI POMPASI ÇEVİRİMİ

Şekil 1a'da geliştirilen ısı pompasının prensip şeması görülmektedir. Buharlaştırıcı, kompresör, yoğuşturucu ve genişleme valfi ısı pompasının temel elemanlarıdır. Şekil 1b ve c'de buhar sıkıştırmalı ters Rankine çevriminin sıcaklık (T) - entropi (S) ve basınç (log p) - entalpi (h) diyagramları verilmiştir (3). Buharlaştırıcıda (6-1 noktaları arası) ortamdaki ısı alarak buharlaşan soğutucu akışkan, kızgın buhar olarak kompresöre girmekte (1 noktası) ve yüksek basınç ve sıcaklıkta kompresörü terk etmektedir (2 noktası).

Yoğuşturucuda kızgın buhar, ısı vererek doymuş buhar durumuna gelmekte (3 noktasına kadar) ve daha da ısı vererek (3-4 noktaları arası) yoğuşmaktadır. Akışkan genişleme valfine girmeden önce biraz daha soğur (5 noktası). Böylece yoğuşturucuda tamamen sıvı ve aşırı soğutulmuş duruma gelen soğutucu akışkan genişleme valfine gelir. Genleşme valfinde sabit entalpide basıncı düşürülen soğutucu akışkan buharlaştırıcı girişine gelir (6 noktası) ve bu şekilde çevrim devam eder. Kapalı

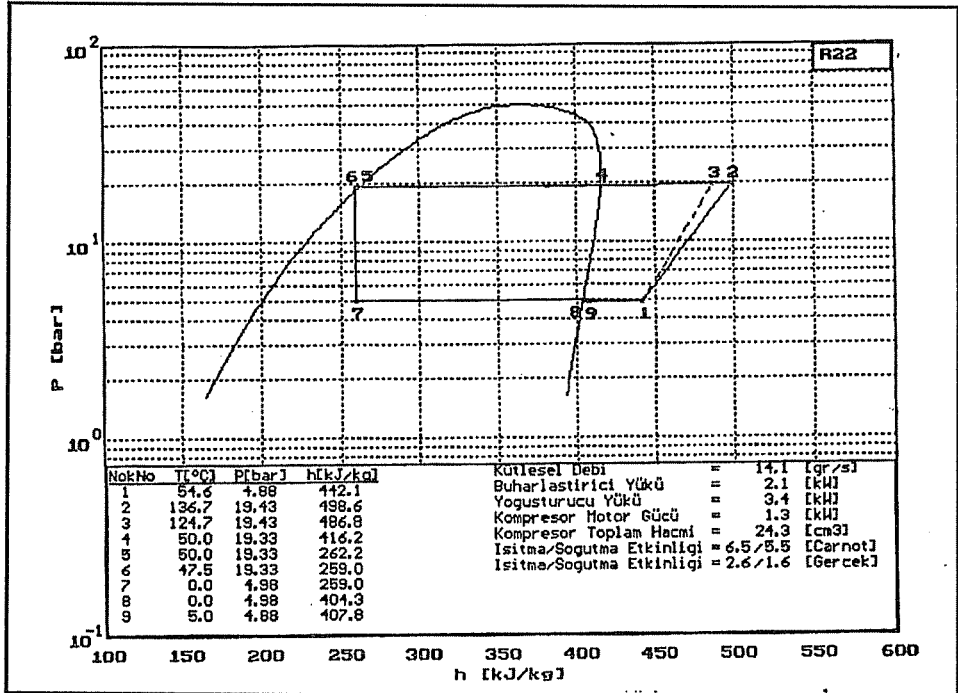
ISITMA VE SOĞUTMA AMAÇLI ISI POMPASI
SİSTEMİNİN TASARIMI VE TANITILMASI



Şekil 1. Isı pompası temel elemanları ve soğutma çevrimi T-s, LogP-h diyagramları.

çevrimde sirküle eden soğutucu akışkan, buharlaştırıcının bulunduğu ortamdan ısı çekerken, yoğusturucuda çevresindeki ortama ısı atar.

Tasarımı yapılan ısı pompasının buharlaştırıcı ve yoğusturucu kapasitelerinin hesaplanmasında SİMER (Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Uygulama ve Araştırma Merkezi) tarafından geliştirilen SOĞUTMA ÇEVİRİMİ bilgisayar programından yararlanılmıştır (4). Sistemin çalışma şartlarına göre programın hesapladığı değerler Molier diagramı ile birlikte şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Modellemesi yapılan ısı pompası sisteminin bilgisayar programı sonuçları.

3. ISI POMPASI SİSTEMİ SOĞUTUCU AKIŞKAN DEVRESİ BORU ÇAPLARI VE HIZLARININ HESAPLANMASI

Bir soğutma sisteminde soğutucu akışkanın fiziksel özelliklerinin belirgin şekilde farklılık gösterdiği 4 ayrı bölgenin bulunduğu varsayılabilir (5).

- 1) Kompresör-yoğuşturucu arası basma boru hattı,
- 2) Yoğuşturucu-basınç düşürücü sıvı soğutucu akışkan boru hattı,
- 3) Basınç düşürücü-buharlaştırıcı boru hattı.
- 4) Buharlaştırıcı-kompresör arası emiş boru hattı.

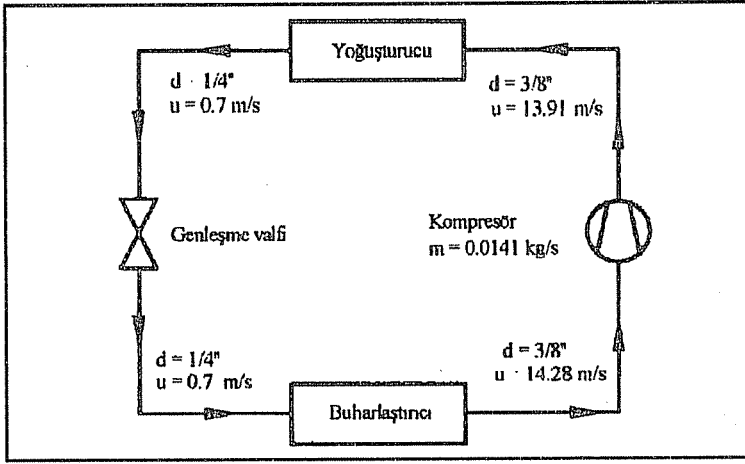
Boru çaplarının seçilmesinde sıcak gaz (basma) borularıyla kompresöre dönüş (emiş) borularındaki akış hızlarının önemi büyüktür. Akışkan hızı yağlama yağının sürüklenmesine yetecek seviyede tutulmalıdır. Boru çapının gereksiz yere büyük tutulması hem yağın sürüklenmemesine hem de boru maliyetlerinin artmasına neden olurken diğer yandan boru çapının yetersiz derecede küçük seçilmesi aşırı basınç (sıcaklık) kaybına ve yüksek akış hızlarına, dolayısıyla gürültüye neden olacaktır. Halokarbon türü soğutucu akışkanların boru hatlarında yağın sürüklenmesi için minimum hız seviyeleri ile ses ve yüksek basınç kayıpları olmaması için maksimum hız seviyeleri sınırlanmıştır. Soğutma sisteminde dolaşması gereken soğutucu akışkan miktarı belli olduğunda, boru çapları hesaplanabilir. Piyasada yaygın olarak kullanılan bakır boru çapları bilindiğinden bu çaplar için bir seçim yapmak gerekir. Borulardaki akışkan hızı boru seçiminde etkili olmaktadır (6). Borulardaki akışkan hızı ve boru çapı

$$u_{ort} = \frac{4\dot{m}v}{\pi d^2} \quad (1)$$

$$d = \sqrt{\frac{4\dot{m}v}{\pi u_{ort}}} \quad (2)$$

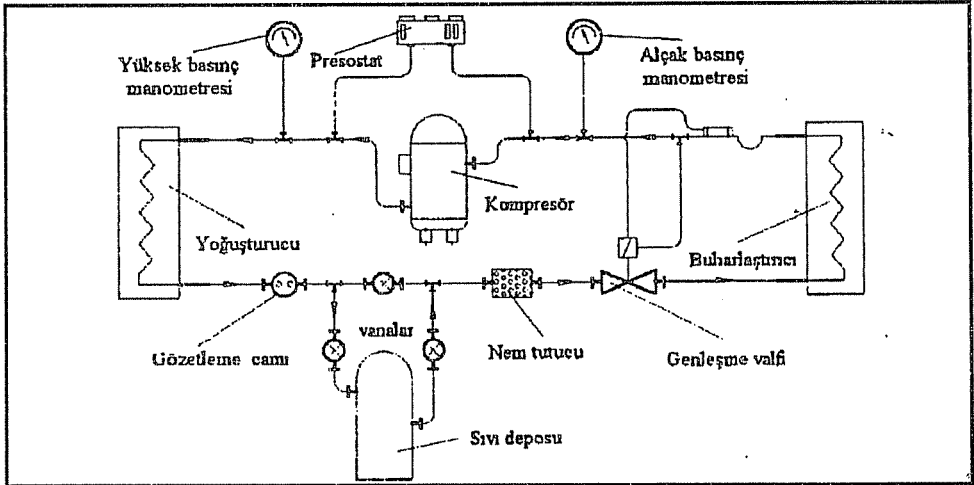
formülleri ile hesaplanır. Burada u_{ort} ortalama akışkan hızı, \dot{m} sistemde sirküle eden soğutucu akışkanın kütesel debisi, d bakır boru iç çapı ve ϑ ise soğutucu akışkanın özgül hacmidir. Tasarımı yapılan ısı pompasında yukarıda verilen dört ayrı bölge için hız sınırları ve standart bakır boru çapları dikkate alınarak hesaplanan boru çapları ve borulardaki akışkan hızları Şekil 3'te görülmektedir.

Şekil 4'de tasarlanan ısı pompası sisteminin soğutucu akışkan devresinin tesisat şeması gösterilmiştir. Şekil 4'te soğutucu akışkan devresi verilen ısı pompası sisteminde yoğuşturucu ve buharlaştırıcı olarak plakalı ısı eşanjörü kullanılmıştır. Plakalar gerekli ısı transfer yüzey alanını arttırmak için bütün yüzeyleri boyunca çukurlar ve oluklar oluşturularak pres edilmişlerdir. Plakalı ısı eşanjöründe akışkan yolları karmaşıktır. Akışkanlardan biri plakanın bir ucundaki açıklıktan eşanjör



Şekil 3. Isı pompası soğutucu akışkan devresi boru çapları ve hızları.

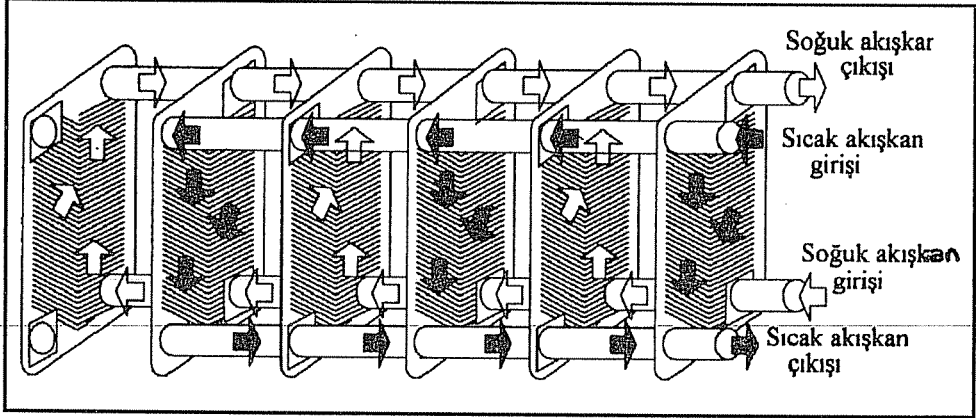
içine girer ve plaka yüzeyi ile temas ederek diğer uçtaki açıklığa doğru akar. İkinci akışkan plakanın bir yanındaki diğer iki açıklıktan birinden girerek plakanın arka yüzündeki aralıklardan karşıt akış oluşturacak şekilde akar. Bu şekilde ısı, plaka yüzeyi boyunca sıcak akışkandan soğuk akışkana aktarılır (7).



Şekil 4. Isı pompası soğutucu akışkan devresi tesisat şeması.

Şekil 5'de plakalı ısı eşanjörünün genel bir yapısı gösterilmiştir. Plakalar arasındaki akış yönünün ve hızının sürekli değişmesiyle termik sınır tabaka eşanjör içinde sürekli değiştiğinden durgun akış alanları oluşmaz ve ısı transfer katsayısı yüksek değerlere çıkar. Bu sebeple kirlenme de azaltılarak ısı transferi artırılır. Ayrıca küçük

plaka aralıkları ve dolayısıyla küçük hidroik çaplar ısı transfer katsayısını artırır ve bu nedenle gerekli ısı transfer yüzey alanını azaltırlar. Fakat akış kesit alanının küçülmesi sonucu basınç kayıpları artar. Buharlaştırıcı ve yoğuşturucuda ısı kayıplarını minimuma indirmek amacıyla bunlar cam yünü malzemesiyle izole edilmiştir.



Şekil 5. Plakalı ısı eşanjörün yapısı.

Tasarlanan ısı pompası sisteminde buhar sıkıştırımlı hermetik tip 1 BG'lük kompresör kullanılmıştır. Termostatik genişleme vanasının (TGV), görevi yoğuşturucu basıncını buharlaştırıcı basıncına düşürmektir. TGV buharlaştırıcıya giden sıvı soğutucu akışkan miktarını kontrol ve ayar eden ve buharlaştırıcıda buharlaşan miktar kadar sıvı soğutucu akışkan, hassas ölçüde tekrar buharlaştırıcıya sevk eden bir ayardır (5). Buharlaştırıcıdan giden soğutucu akışkanın miktarı, indirekt olarak ve TGV yardımıyla soğutucu akışkanın çıkış sıcaklığı ve/veya basıncının ölçülmesi suretiyle saptanır. Bu suretle sıvı akışkanın buharlaştırıcıya ölçülü bir şekilde sevk edilerek, kompresöre hasar vermesi önlenmiş olur. Ayrıca soğutucu akışkanın buharlaştırıcıyı terk ederken belirli ve emmiyetli bir kızgınlık değerinin muhafaza edilmesi sağlanır. Buharlaştırıcıya giriş ve çıkış arasında basınç kaybı çok fazla ise bu durum TGV'nin çok kısık çalışmasına ve buharlaştırıcı kapasitesinin düşmesine sebep olur. Dış dengelemeli TGV kullanılarak bu durum önenebilir. Buharlaştırıcı olarak kullanılan plakalı ısı eşanjöründe basınç kaybı fazla olduğundan dış dengelemeli TGV'nin kullanılması tercih edilmiştir. Nem tutucu, sistem şarj edilmeden önce yapılan vakuma rağmen sistemdeki boruların içinde nem kalabilir. Soğutucu akışkan devrelerinde kalan nemin düşük sıcaklıklarda buzlaşarak oluşturacağı tıkanıklıkları ve korozyon etkisini önlemek için kullanılan nem tutucular, nemi kimyasal olarak absorbe eden silikajel gibi nem alıcı maddeler içerirler. Nem tutucuların, ayrıca soğutucu akışkan devresi üzerindeki maddeleri filtre etme özelliği

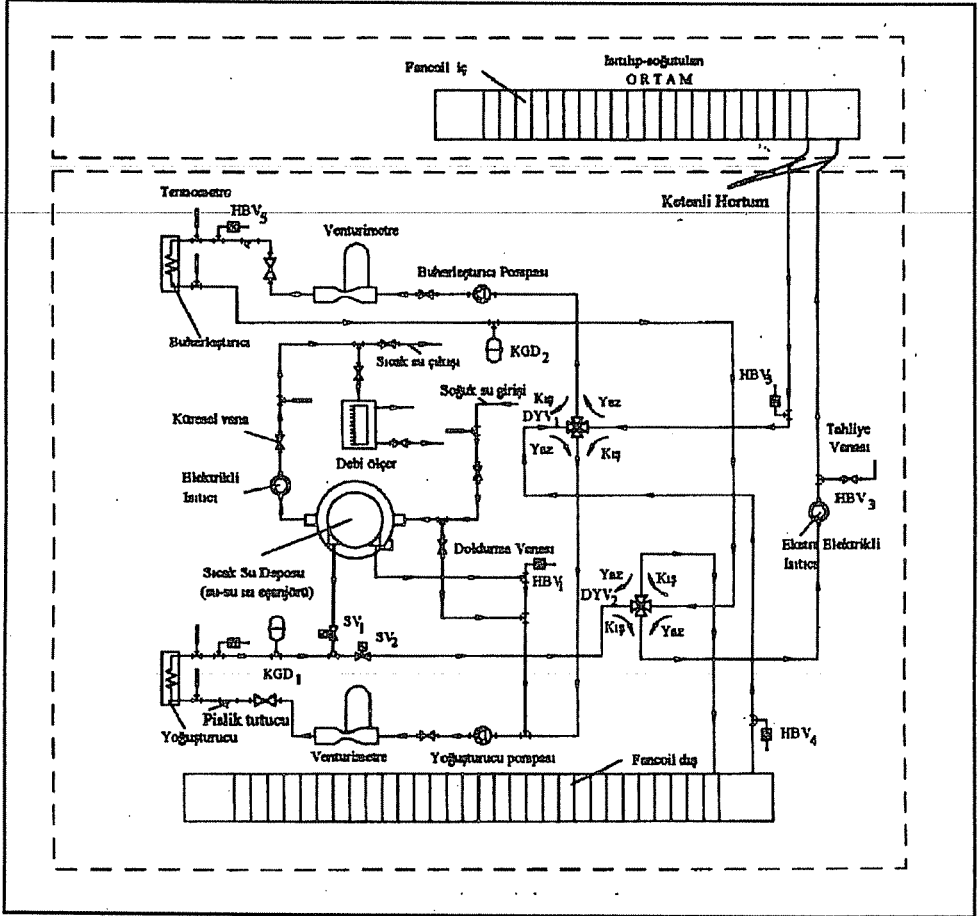
de vardır (8). Gözetleme camı, soğutma sistemindeki soğutucu akışkanın sirkülasyonunu izlemek ve bir aksaklık olup olmadığını kontrol etmek için yoğuşturucu çıkışına bir adet gözetleme camı monte edilmiştir. Ayrıca gözetleme camından sisteme soğutucu akışkanın şarj edilmesi esnasında faydalanılır (8). Sıvı deposu, soğutma devrelerinde sıvı fazdaki soğutucu akışkanın yoğuşturucuda toplanarak yoğuşturucunun işe yarar yüzeyini küçültmemeye ve soğutma tesisindeki onarımlar sırasında soğutucu akışkanın bir kapta toplanması için gereklidir. Sıvı deposu sistemin yüksek basınç tarafında sıvı ile sıcak gaz arasında bir yastık tampon vazifesi görerek buharlaştırıcıya sıcak gazın gitmesini önler ve sistemde meydana gelen basınç dalgalanmalarını dengeler. İmalatı yapılan sistemde 1 litrelik sıvı deposu, yoğuşturucu çıkışı ile genişleme vanası arasına monte edilmiştir (9). Çift kontaklı presostat, kompresörün emme ve basma tarafındaki alçak ve yüksek basınçların, istenilen alk ve üst sınırlar dışına çıkmasını önleyerek sistemin daima emniyet sınırları içerisinde çalışmasını sağlar (6). Yüksek basınç presostatu sistemi, örneğin yetersiz soğutma suyu veya havası sırasında yükselecek yoğuşturucu basıncına karşı kompresörü korur. Sistemdeki basınç değerleri alt veya üst basınç sınırları dışına çıktığında, alçak ve yüksek basınç presostatu kompresörü durdurur. Alçak ve yüksek basınç manometreleri, sistemde kompresörün giriş ve çıkışına bağlanmış olup, çalışma esnasında sistemdeki basınçların normal düzeyde olup olmadığını anlamaya yardımcı olmaktadır. Yüksek basınç manometresi, kompresör basma devresindeki basıncı ve yoğuşturucuya giriş sıcaklığını sürekli kontrol etme olanağı sağlar. Alçak basınç manometresi de kompresör emiş devresindeki basıncı ve dolayısıyla buharlaştırıcı çıkış sıcaklığını kontrol etme olanağı sağlar. Sistemde soğutucu akışkan olarak R-22 kullanılmıştır. R-22, CH_4 'deki dört hidrojen atomunun 2'si yerine F_2 birisi yerine Cl atomu yerleştirilerek elde edilen cam berraklığında, renksiz ve etere benzer kokusu olan bir gazdır. R-22 soğutma uygulamalarına cevap vermek üzere geliştirilmiş bir soğutucu akışkan olup paket tipi klima cihazlarında, ev tipi ve ticari tip soğutucularda da bilhassa daha kompakt kompresör gerektirmesi ve dolayısıyla yer kazancı sağlaması yönünden tercih edilir. R-12 ve R134a ile kıyaslandığında, R-22 gazının buharlaşma basınçları daha yüksektir.

4. TASARLANAN ISI POMPASI SİSTEMİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Bu çalışmadaki ısı pompası sisteminde,ısı çekilen ve verilen ortam sudur. Yaz mevsiminde soğutulması kış mevsiminde ise ısıtılması düşünülen ortamda bulunan fancoile yaz ve kış işlekme durumlarına göre soğuk veya sıcak su gönderilmesi gerekmektedir.Yoğuşturucuda atılan ısı ile bir ortamın ısıtılması sağlanmakta ve aynı zamanda sıcak su ihtiyacı karşılanmaktadır (3). Buharlaştırıcıda soğutulan su ile de yazın bir ortamın soğutulması sağlanmaktadır (3).Şekil 6'da tasarımı yapılan ısı pompası sisteminin su tesisat şeması gösterilmiştir. Su devresi için yaz ve kış

çalışması olmak üzere iki durum vardır.

Yaz durumu: Şekil 6'da soğutucu akışkanın buharlaştırıcıda buharlaşması, çevresindeki sudan ısı alması ile sağlanır. Isı vererek soğutucu akışkanın buharlaşmasını sağlayan su, düşük sıcaklıkta buharlaştırıcıyı terk eder. İki nolu dört yollu vana (DYV₂) üzerinden, soğutulacak ortamda bulunan iç taraftaki fancoile (FCİ) gider. Burada düşük sıcaklıktaki su ortamdaki ısı çekerek ısınır ve FCİ'yi terk eder. Bir nolu dört yollu vana (DYV₁) üzerinden geçerek buharlaştırıcıya geri döner.

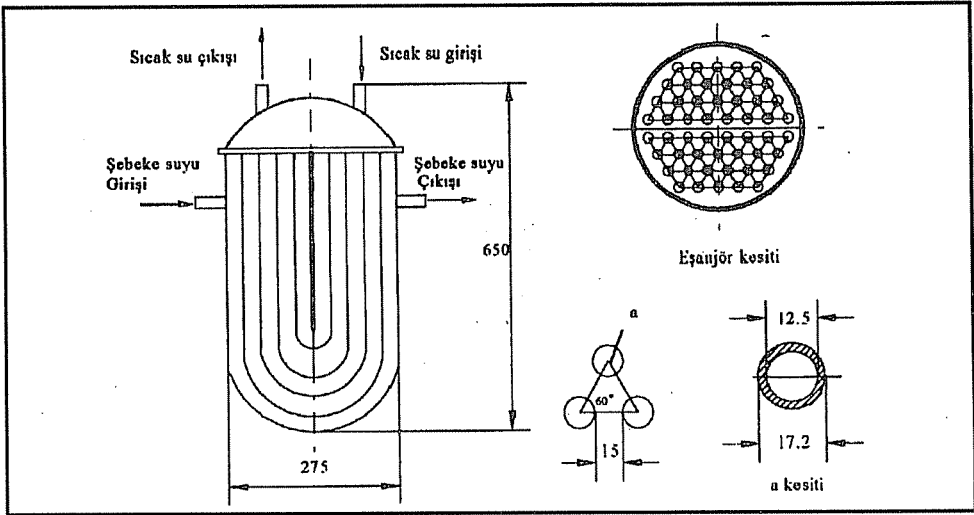


Şekil 6. Isı pompası sisteminin su tesisat şeması.

Buharlaştırıcı sirkülasyon pompası çalıştığı sürece buharlaştırıcı üzerinden suyun sirkülasyonu devam eder ve fancoil iç aracılığıyla ortam soğutulur. Soğutulmuş ortam istenilen konfor şartlarına eriştiğinde ortamdaki oda termostatu ile ortamın soğutma işlemine son verilir.

Probu eşanjör içerisinde bulunan bir termostat ile U borulu eşanjördeki suyun sıcaklığı kontrol edilir. Eşanjör içerisindeki suyun sıcaklığı ayarlanan (~ 40 °C) sıcaklıktan düşüğe iki nolu selonoid vana (SV_2) enerjilenmez ve kapalı kalır. Bir nolu selonoid vana (SV_1) enerjilenerek U borulu eşanjöre giden su devresinin açar ve eşanjördeki su ısıtılır. Bu sırada eşanjördeki sıcak su kullanılıyorsa ve kullanım suyu istenilen sıcaklığa erişmediyse diğer bir termostatla 2 kW'lık elektrikli ısıtıcı çalıştırılarak su biraz daha ısınır. U borulu eşanjördeki suyun sıcaklığı ayarlanan sıcaklığa ulaştığında termostatin kontağı açılır, SV_1 enerjisi kesilir ve sıcak su deposuna giden su devresi kapanır. SV_2 ise enerjilenerek dış ortamda cihaz üzerinde bulunan dış taraftaki fancoil dışı (FCD) giden su devresini açar. Yoğuşturucuda ısınan suyun ısısı DYV_1 ve DYV_2 ile FCD tarafından alınarak ortamın soğutulması sağlanır. Suyun sirkülasyonu yoğuşturucu pompası ile sağlanır (3).

Yoğuşturucu hattının çalışması ise şöyledir: Kızgın buhar olarak yoğuşturucuya gelen soğutucu akışkanın ısısı yoğuşturucuda bulunan su tarafından alınır. Bu ısının sudan alınması iki şekilde gerçekleşir. Birincisinde suyun ısısı sıcak su elde etmek amacıyla kullanılan U borulu ısı eşanjöründeki suya verilir. Şekil 7'de U borulu ısı eşanjörünün şematik resmi görülmektedir. Eşanjör 3/8" siyah borudan imal edilmiştir. Şebeke suyu girişi ve çıkışı olmadığı eşanjör içerisindeki su belli bir sıcaklığa kadar ısıtılır (3).



Şekil 7. U tipi borulu ısı eşanjörünün şematik görünümü.

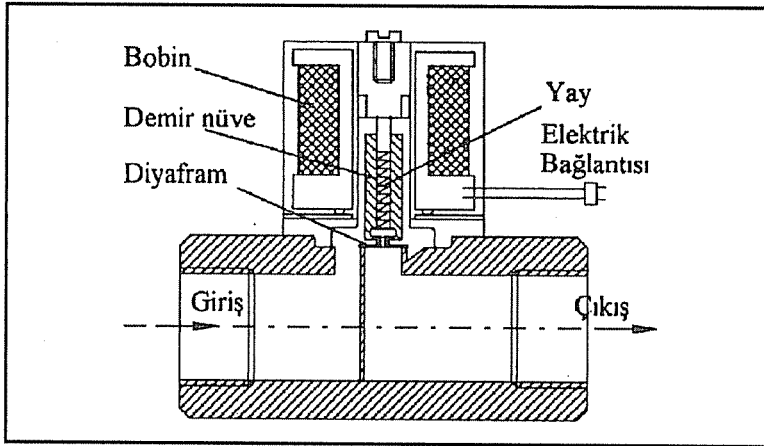
Kış Durumu: Su tesisatının yönü DYV_1 ve DYV_2 aracılığıyla ters çevrilir. Buharlaştırıcıda ısı çekilmesiyle soğuyan su FCD'ın bulunduğu ortamdan ısı çekerek ısınır. Yoğuşturucudan atılan ısı yukarıda anlatıldığı gibi ya sıcak su elde edilmesinde

kullanılır ya da FCI ile ortamın ısıtılmasında kullanılır. Depodaki suyun ve ortamın sıcaklığı, istenilen sıcaklık seviyesine eriştiğinde sistem, kontrol devresi tarafından otomatik olarak durdurulur. İkinci durumda yoğunlaştırıcıyı ısıtarak terk eden su, U borulu ısı eşanjörüne gönderilerek sıcak su üretilmesi amacıyla kullanılabilir. Ayrıca ikinci durumda sıcak su sürekli olarak yapılıyorsa, sıcak su deposuna giren ve çıkan suyun sıcaklıkları termometrelerle ve debisi bir debi ölçerle ölçülerek sistemin sıcak su üretim kapasitesi hesaplanabilir.

Buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı devresi üzerine monte edilen **venturimetreler** ile debi sürekli olarak ölçülebilmektedir. Buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı giriş ve çıkışına monte edilen termometreler ile buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcıya suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülerek sistemin ısıtma ve soğutma kapasitesi dolaylı olarak hesaplanabilir.

Şekil 6'daki kısaltmalar şöyledir : **KGD₁** ve **KGD₂** : 1 ve 2 nolu kapalı genleşme deposu. **HVB₁**, **HVB₂**, **HVB₃**, **HVB₄**, **HVB₅**: 1, 2, 3, 4, 5 nolu otomatik hava boşaltma vanaları. **Fancoil Dış** : Dış ortamda cihaz üzerinde bulunan fancoil. **Fancoil İç**: Isıtılıp-soğutulan ortamda bulunan fancoil. **SV₁** , **SV₂** : 1 ve 2 nolu normalde kapalı sılonoit vanalar. **DYV₁** , **DYV₂** : 1 ve 2 nolu dört yollu vanalar. **Fotoğraf**, **Hava boşaltma cihazı**, sistemin doldurulması ve çalışması esnasında sistemde bulunabilecek havanın alınması gerekir. Devreye giren hava, sistemin yüksek kısımlarında toplanır ve korozyon tehlikesi oluşturur. Bu yüzden hava sistemden uzaklaştırılmalıdır. İmalatı yapılan sistemin yüksek kısımlarına hava almak amacıyla 5 adet otomatik hava boşaltma vanası monte edilmiştir. **Kapalı genleşme deposu**, genleşme depoları kapalı sistemlerde sirküle eden suyun sıcaklığının değişmesi sonucunda oluşan hacimsel genleşmelerin karşılanması amacıyla kullanılırlar. Ayrıca sistemde oluşan havanın tahliye edilmesini de sağlarlar. Deney düzeneğinde buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı devresine birer adet 8 lt'lik kapalı genleşme deposu monte edilmiştir. **Pislik tutucu**, sistemin su devresinin tesisatı tamamlandıktan sonra, sistem içerisinde kalan boru çapakları ve keten artıklarının sirküle edilen su ile taşınarak buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcıya zarar vermesini önlemek amacıyla, buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı girişine birer adet pislik tutucu monte edilmiştir. **Dört yollu vana**, sistemin yaz veya kış çalışma durumuna alınması, iki giriş ve iki çıkışı olan el ile kontrollü dört yollu vana ile sağlanmaktadır. Buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı devresine birer adet dört yollu vana monte edilmiştir. **Sirkülasyon pompası**, sistemde oluşan basınç kayıplarını karşılamak ve istenilen debide suyun sirküle etmesini sağlamak amacıyla, buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı devresi üzerine birer adet, üç ayrı hızda ayarlanabilen sirkülasyon pompası monte edilmiştir. **Termometreler**, buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı giriş ve çıkışına, şebeke suyunun giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçmek için U borulu ısı eşanjörünün giriş ve çıkışına birer adet daldırma tip ıspirtolu termometre monte edilmiştir. **Elektrikli ısıtıcı**, ısı pompasının

hazırladığı su sıcaklığı istenilen sıcaklıktan düşükse kullanıma giden su devresi üzerine yerleştirilen bir adet 2 kW'lık elektrikli su ısıtıcısı suyu ayarlanan sıcaklığa getirmeye çalışır. Diğer ise sistemin kış çalışması şartlarında, dış ortam sıcaklığı belli bir değerin, örneğin 5 °C'nin, altına düştüğünde çalışarak ortamın ısıtılması için sıcak su üretmektedir. **Selenoid valfler**, elektrik enerjisiyle çalışan elektromanyetik vanalara, selenoid valf adı verilir. Bir selenoid valf Şekil 8'de görüldüğü gibi elektromagnets ve vana olmak üzere iki kısımdan oluşur (3). Bobin içinde bulunan demir nüve, valfin diyaframıyla mekaniksel olarak bağlıdır. Demir nüve ve dolayısıyla diyafram bir yay ile aşağıya doğru bastırılmışsa, selenoid valf normal durumda kapalı olur. Selenoid valfin bobini enerjilendiğinde, demir nüve ve diyafram yukarıya doğru çekilir. Valf açılır ve akışkan sol taraftaki girişten sağ taraftaki çıkışa geçmiştir olur. Selenoid valfler yalnız bir yön için normal olarak çalışırlar. Normalde kapalı valfde bobin enerjilendiğinde, selenoid valf akışkan devresini açar. Normalde açık valfde ise bobin enerjilendiğinde, selenoid valf akışkan devresini kapatır. İmalatı yapılan sistemde iki adet normalde kapalı tip selenoid valf kullanılmıştır.



Şekil 8. Selenoid valfin genel görünüşü.

6. SONUÇ

Isı pompaları, soğutma mevsimlerinde büyük soğutma yükü ve ısıtma mevsimlerinde oldukça küçük ısıtma yükü ihtiyacı olan güney bölgelerinde konvansiyonel sistemlere göre rekabet etme gücüne sahiptirler. Bu alanlarda, ısı pompası yerel ve ticari binaların ısıtma ve soğutma ihtiyacını tamamen karşılayabilir. Tasarımı yapılan ısı pompası sistemi split tip olup diğer ısı pompası sistemlerinden farklıdır. Çünkü soğutucu akışkan sadece dış devrede cihazların bulunduğu yerde sirküle eder. Böylece soğutucu akışkan ortama gitmez ve herhangi bir şekilde soğutucu akışkanın odaya sızması önlenmiş olur. bu şekilde çalışan ısı pompasını, sulu ısı pompası veya sulu kat

kliması olarak adlandırabiliriz. Sulu ısı pompası sistemleri mevcut ısıtma sistemlerine kolayca uyarlanabilir. Örneğin, klimatize edilen ortamda kat kaloriferi varsa bu sisteme kolaylıkla adapte edilebilir. Bu durumda sisteme ilave edilecek üç yollu bir vana ile ısı pompası ve kalorifer kazanının birlikte çalışması sağlanabilir. Tasarımı yapılan sistemin imalatı tamamlanmıştır. Kurulan deney düzeneği ile değişik durumlarda buharlaştırıcıya ve yoğunlaştırıcıya suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları, buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı devresindeki suyun debileri ve sistemin tükettiği elektrik enerjisi ölçülerek sistemin kapasite ve etkinlik değerleri hesaplanacaktır. Ayrıca U borulu ısı eşanjörüne şebeke suyunun giriş-çıkış sıcaklıkları ve debisi ölçülerek sistemin su ısıtma kapasitesi belirlenecektir. Deneyler hava-hava, hava-su, su-hava ve su-su ısı pompaları için yapılacaktır. Elde edilen sonuçlardan sistemin uygulanabilir bir sistem olup olmadığı araştırılacaktır.

7. KAYNAKLAR

1. *Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE), Isı Pompası., Ankara., 17s., 1987.*
2. *Aydın,K., Isı Pompalarının Teorik Modellenmesi., Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi., Kod No.101., Adana., 96s., 1986.*
3. *Özgören,M., Isıtma ve Soğutma Amaçlı Isı Pompası Sisteminin Modellenmesi., Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi., Kod No.1155., Adana., 162s., 1996.*
4. *Yılmaz,T., Ünal,Ş., Soğutucu Akışkanların Termodinamik Özellikleri İçin Genel Eşitlikler., İkinci Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Kongresi Bildiri Kitabı., Adana., s.93-103, 1992.*
5. *Özkol,N., Uygulamalı Soğutma Tekniği., Yayın No.115., TMMOB., Ankara., 463s., 1988.*
6. *Yılmaz,T., Ünal,Ş., Isı Pompası İle Isıtma ve Soğutma Sistemi., Tübitak Projesi, Adana, 1992.*
7. *Güngör,A., Özbalta,N., Bazı Isı Değiştiricilerle Geri Kazanım Sistemleri., Tesiat Mühendisliği Dergisi., İstanbul., 211-28s., 1993.*
8. *Şendağ,M.T., Çok Amaçlı Isı Pompası İmalat ve Uygulaması., Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi., Kod No.626., Adana., 86s., 1992.*
9. *Dağsöz,A.K., Soğutma Tekniği Isı Pompaları Isı Boruları., İkinci Baskı., İstanbul., 269s., 1990.*

DÖNER TİP REJENERATÖR ETKİNLİĞİNİN TRANSFER BİRİMİ SAYISI VE ISIL KAPASİTE ORANI İLE DEĞİŞİMİ

Şaban ÜNAL ve Tuncay YILMAZ
Ç.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

ÖZET : Döner tip rejeneratörler gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de son yıllarda özellikle iklimlendirme tesislerinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, döner tip rejeneratörlerin etkinliği geçici rejimde, sonlu farklar yöntemi kullanılarak nümerik olarak hesaplanmıştır. Döner tip rejeneratör etkinliğinin transfer birimi sayısı (Ntu) ve ısı kapasite oranı (C_r^*) ile değişimi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Döner Rejeneratör, Enerji Tasarrufu, İklimlendirme

VARIATION OF ROTARY REGENERATOR EFFECTIVENESS WITH THE NUMBER OF TRANSFER UNIT AND HEAT CAPACITY RATE

ABSTRACT : In recent years, rotary regenerators have been used in air-conditioning systems in our country similar to in many developed countries. In this study, performance of rotary regenerators is calculated using finite difference method for unsteady state regime. It is investigated how the performance is varying with number of the transfer unit and heat capacity rate.

Key Words: Rotary Regenerator, Energy Recovery, Air-Conditioning

1. GİRİŞ

Döner tip rejeneratörler, enerji tasarrufu amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde de son yıllarda özellikle iklimlendirme tesislerinde bu tip ısı eşanjörleri kullanılmaya başlanmıştır. Döner tip rejeneratörlerde duyulur ısı yanında gizli ısı da transfer edilebilmekte ve oldukça yüksek etkinlik değerlerine ulaşılmaktadır. Döner tip rejeneratörlerin boyutlandırılmasında rejeneratör etkinliğinin bilinmesi gerekir. Dolayısıyla rejeneratör etkinliğinin doğru bir şekilde hesaplanması oldukça önemlidir.

Rejeneratörler hakkında ilk teorik çalışma Nusselt (1), Hausen (2) ve Schumann (3) tarafından yapılmıştır. Hausen (4) rejeneratörlerin pratik olarak hesaplanmasına da önemli katkıda bulunmuştur. Basit döner tip rejeneratör diferansiyel denklemleri bazı özel durumlar için Scarcabarozzi (5) tarafından analitik olarak çözülmüştür. Rejeneratör içindeki gazların verime etkisi sonlu farklar metoduyla Willmot ve Hinchcliffe (6) tarafından hesaplanmıştır. Romie ve Baclic (7) Anzelius-Schumann fonksiyonlarını kullanarak rejeneratör etkinliklerini hesaplamışlardır. Rejeneratör duvar elemanı ısı iletim katsayısının verime etkisi, nümerik olarak Shen ve Worek (8) tarafından incelenmiştir.

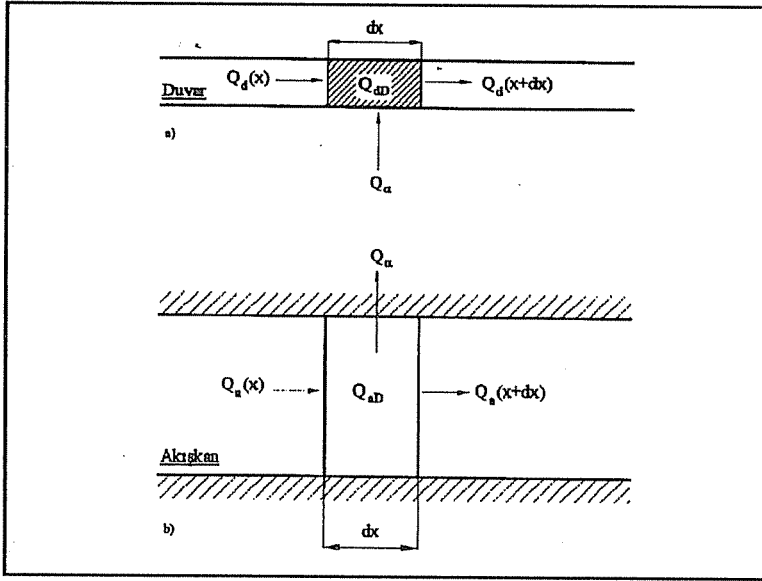
Bu çalışmada, döner tip rejeneratörlerin etkinliği geçici rejimde nümerik olarak hesaplanmıştır. Döner tip rejeneratörlerde akışkan ve duvar sıcaklıklarını veren diferansiyel denklemler sonlu farklar yöntemi ile çözülmüş, rejeneratör çıkışındaki sıcaklık dağılımı elde edildikten sonra döner tip rejeneratör etkinliği hesaplanmıştır.

2. MATEMATİK MODEL

Rejeneratördeki akışkan ve duvar sıcaklıklarını hesaplamaya yarayan diferansiyel denklemlerin çıkartılmasında aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- 1- Rejeneratörün dış yüzeyi tamamen yalıtılmıştır.
- 2- Akışkanın fiziksel ve ısıl özellikleri rejeneratör boyunca değişmemektedir.
- 3- Akışa dik yönde duvarın ısıl direnci ihmal edilmiştir.
- 4- Duvarın ısıl özellikleri sabittir.
- 5- Bir periyottan diğerine geçerken akışkanlar birbirine karışmamaktadır.
- 6- Soğuk ve sıcak taraftaki akışkanın ısıl kapasiteleri birbirine eşittir.
- 7- Akışkan ile duvar arasındaki ısı transfer katsayısı sabit ve üniformdur.
- 8- Soğuk ve sıcak periyotlarda rejeneratörden geçen akışkanın kütle debisi sabit ve matris kanalcıklarına eşit olarak dağılmaktadır.
- 9- Soğuk ve sıcak periyotlarda akışkanın rejeneratöre giriş sıcaklığı sabittir.

Şekil 1'de görülen rejeneratör birim hacim elemanına termodinamiğin 1. kanunu uygulandığında akışkan sıcaklığı için



Şekil 1. Rejeneratör birim hacim elemanındaki enerji dengesi.

$$\rho_d A_d C_{pa} \frac{\partial T_a}{\partial t} + MC_{pa} \frac{\partial T_a}{\partial x} - \lambda_d A_a \frac{\partial^2 T_a}{\partial x^2} + \alpha \zeta T_a = \alpha \zeta T_d \quad (1)$$

eşitliği ve duvar sıcaklığı için de

$$\rho_d A_d C_d \frac{\partial T_d}{\partial t} - \lambda_d A_d \frac{\partial^2 T_d}{\partial x^2} + \alpha \zeta T_d = \alpha \zeta T_a \quad (2)$$

eşitliği elde edilir. (1) ve (2) diferansiyel denklemlerini

$$\frac{1}{R} \frac{\partial T_a^*}{\partial t^*} + \frac{\partial T_a^*}{\partial x^*} - \frac{Fo_a}{R} \frac{\partial^2 T_a^*}{\partial x^{*2}} + Ntu T_a^* = Ntu T_d^* \quad (3)$$

$$\frac{\partial T_d^*}{\partial t^*} - Fo_d \frac{\partial^2 T_d^*}{\partial x^{*2}} + \frac{Ntu}{C_r^*} T_d^* = \frac{Ntu}{C_r^*} T_a^* \quad (4)$$

şeklinde boyutsuz olarak ifade etmek mümkündür. Buradaki boyutsuz sayılar aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$t^* = t/t_0 \quad ; \quad x^* = x/L$$

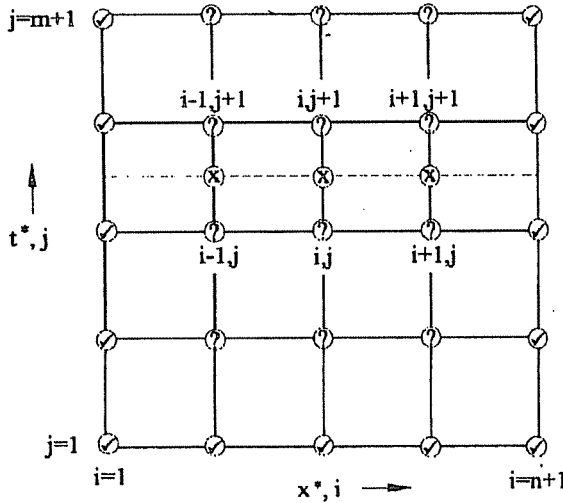
$$T_a^* = \frac{T_a - T_{g \min}}{T_{g \max} - T_{g \min}} \quad ; \quad T_d^* = \frac{T_d - T_{g \min}}{T_{g \max} - T_{g \min}}$$

(5)

$$R = \frac{Mt_0}{\rho_a A_a L} \quad ; \quad Ntu = \frac{\alpha F}{MC_{pa}} \quad ; \quad C_r^* = \frac{\rho_d A_d C_d L}{MC_{pa} t_0}$$

$$Fo_a = \frac{a_a t_0}{L^2} \quad ; \quad Fo_d = \frac{a_d t_0}{L^2}$$

3. AKIŞKAN VE DUVAR SICAKLIKLARININ HESAPLANMASI



Şekil 2. Denklemlerin çözümünde kullanılan ağ yapısı.

Rejeneratördeki akışkan ve duvar sıcaklıkları (3) ve (4) eşitlikleriyle verilen diferansiyel denklemlerin çözülmesiyle hesaplanabilir. Bu diferansiyel denklemleri nümerik olarak sonlu farklar metoduyla çözmek mümkündür. Bunun için denklemlerin sonlu farklarla ifade edilmesi gerekmektedir. Eşitlik (3) ve (4)'teki diferansiyel denklemlerin nümerik olarak çözümünde kullanılan sonlu farklar ağ yapısı Şekil 2'de gösterilmiştir.

Akışkan sıcaklığı için eşitlik (3)'te verilen diferansiyel denklemi

$$\begin{aligned}
 & -[k_2 + k_3]T_a^*(i-1, j+1) + [k_1 + 2k_3 + k_4]T_a^*(i, j+1) + [k_2 - k_3]T_a^*(i+1, j+1) = \\
 & [k_2 + k_3]T_a^*(i-1, j) + [k_1 - 2k_3 - k_4]T_a^*(i, j) - [k_2 - k_3]T_a^*(i+1, j) \\
 & + k_4 [T_d^*(i, j+1) + T_d^*(i, j)]
 \end{aligned} \tag{6}$$

şeklinde sonlu farklarla ifade etmek mümkündür. Eşitlik (6)'daki katsayılar aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$k_1 = \frac{4\Delta x^2}{R} \quad ; \quad k_2 = \Delta t \cdot \Delta x \tag{7}$$

$$k_3 = \frac{2Fo_d \Delta t^*}{R} \quad ; \quad k_4 = 2Ntu \Delta t^* \Delta x^2$$

Duvar sıcaklığı için eşitlik (4)'te verilen diferansiyel denklem de eşitlik (8)'de sonlu farklarla ifade edilmiştir.

$$-k_6 T_d^*(i-1, j+1) + [k_5 + 2k_6 + k_7] T_d^*(i, j+1) - k_6 T_d^*(i+1, j+1) = \tag{8}$$

$$k_6 T_d^*(i-1, j) + [k_5 - 2k_6 - k_7] T_d^*(i, j) + k_6 T_d^*(i+1, j) + k_7 [T_a^*(i, j+1) + T_a^*(i, j)]$$

Eşitlik (8)'deki katsayılar eşitlik (9)' tanımlandığı gibidir.

$$k_5 = 2\Delta x^2 \quad ; \quad k_6 = \Delta t^* Fo_d \quad ; \quad k_7 = \Delta t^* \Delta x^2 \frac{Ntu}{C_r} \tag{9}$$

Rejeneratördeki akışkan ve duvar sıcaklıklarını hesaplamaya yarayan (3) ve (4) eşitlikleriyle verilen diferansiyel denklemler, (6) ve (8) eşitliklerinde görüldüğü gibi sonlu farklarla ifade edilmiştir. Bu denklemler paralel ve karşıt akış için geçerli olup, ilgili sınır şartları kullanılarak her iki akış için de çözümler yapılacaktır.

3.1. Paralel Akışta Akışkan İçin Sınır Şartları

a) Isıtma periyodunda rejeneratör girişinde akışkan giriş sıcaklığı sabit, üniform ve aynı zamanda akışkan girişte maksimum sıcaklığa sahiptir.

$$\left. \begin{array}{l} x^* = 0 \\ k < t^* < k + \frac{1}{2}, (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \end{array} \right\} \Rightarrow T_a^*(x^* = 0, t^*) = 1 \quad (10)$$

b) Soğutma periyodunda rejeneratör girişinde akışkan giriş sıcaklığı sabit, üniform ve aynı zamanda akışkan girişte minimum sıcaklığa sahiptir.

$$\left. \begin{array}{l} x^* = 0 \\ k + \frac{1}{2} < t^* < k + 1, (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \end{array} \right\} \Rightarrow T_a^*(x^* = 0, t^*) \quad (11)$$

c) Isıtma periyodundan soğutma periyoduna veya soğutma periyodundan ısıtma periyoduna geçiş noktalarında akışkanın sıcaklığı maksimum ve minimum sıcaklıkların ortalamasına eşittir.

$$\left. \begin{array}{l} x^* = 0 \\ t^* = \frac{k}{2}, (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \end{array} \right\} \Rightarrow T_a^*(x^* = 0, t^*) = 0.5 \quad (12)$$

d) Isıtma ve soğutma periyotlarının her ikisinde de rejeneratör çıkışında akışkanda akış yönünde ısı iletimi yoktur.

$$x^* = 1 \Rightarrow \frac{\partial T_a^*(x^* = 1, t^*)}{\partial x^*} = 0 \quad (13)$$

e) Isıtma periyodunun başlangıcı ile soğutma periyodunun bitişindeki akışkan sıcaklıkları birbirine eşittir.

$$T_a^*(x^*, k) = T_a^*(x^*, k + 1), (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (14)$$

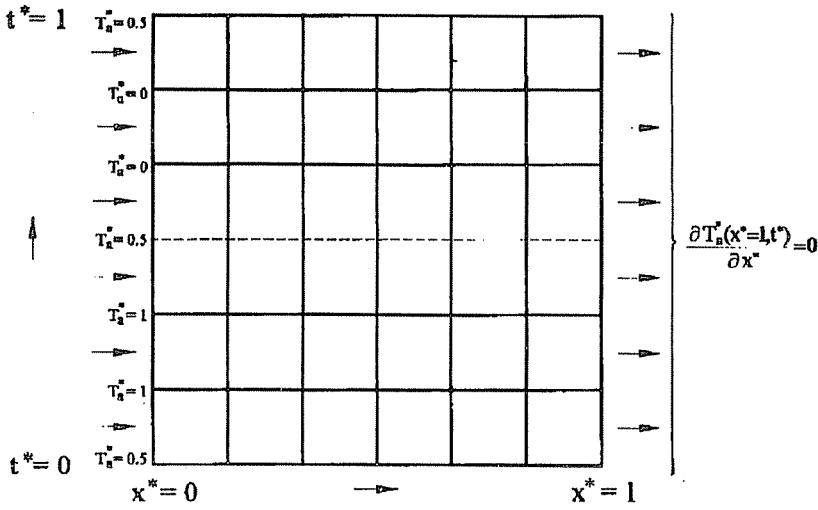
Yukarıda paralel akış durumunda akışkan için verilen sınır şartları Şekil 3'te gösterilmiştir. Yatay eksen boyutsuz rejeneratör uzunluğunu, dikey eksen ise boyutsuz zamanı göstermektedir. $x^* = 0$ rejeneratör girişini, $x^* = 1$ ise rejeneratör çıkışını ifade etmektedir. $0 < t^* < 0.5$ sıcak periyot, $0.5 < t^* < 1$ ise soğuk periyot bölgesini ifade etmektedir.

3.2. Paralel Akışta Duvar İçin Sınır Şartları

a) Isıtma ve soğutma periyotlarında rejeneratör girişinde duvarda akış yönünde ısı iletimi yoktur.

$$x^* = 0 \Rightarrow \frac{\partial T_d^*(x^* = 0, t^*)}{\partial x^*} = 0 \quad (15)$$

DÖNER TİP REJENERATÖR ETKİNLİĞİNİN TRANSFER BİRİMİ SAYISI VE ISIL KAPASİTE ORANI İLE DEĞİŞİMİ



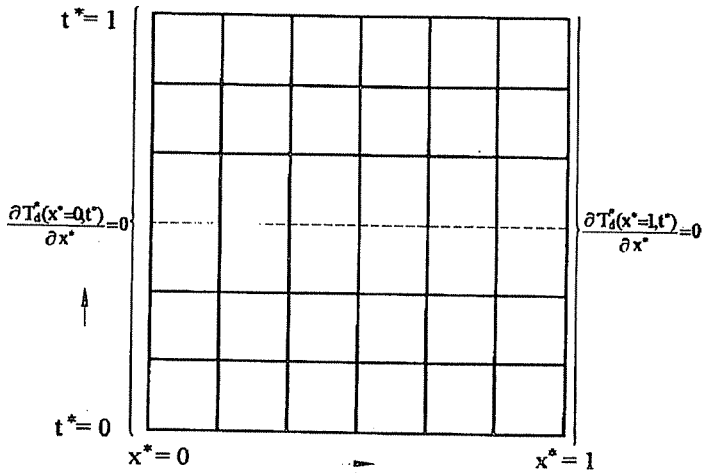
Şekil 3. Paralel akışta akışkan için sınır şartları.

b) Isıtma ve soğutma periyotlarında rejeneratör çıkışında duvarda akış yönünde ısı iletimi yoktur.

$$x^* = 1 \Rightarrow \frac{\partial T_d^*(x^* = 1, t^*)}{\partial x^*} = 0 \quad (16)$$

c) Isıtma periyodunun başlangıcı ile soğutma periyodunun bitişindeki duvar sıcaklıkları birbirine eşittir.

$$T_d^*(x^*, k) = T_d^*(x^*, k + 1) \quad , \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (17)$$



Şekil 4. Paralel akışta duvar için sınır şartları.

Paralel akış durumunda duvar için verilen yukarıdaki sınır şartları Şekil 4'te gösterilmiştir. Burada da Şekil 3'te olduğu gibi x^* rejeneratör uzunluğunu, t^* ise zamanı ifade etmektedir.

3.3. Karşıt Akışta Akışkan İçin Sınır Şartları

a) Isıtma periyodunda akışkan giriş sıcaklığı sabit ve üniformdur. Akışkan girişte maksimum sıcaklığa sahiptir.

$$\left. \begin{array}{l} x^* = 0 \\ k < t^* < k + \frac{1}{2}, (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \end{array} \right\} \Rightarrow T_a^*(x^* = 0, t^*) = 1 \quad (18)$$

b) Soğutma periyodunda akışkan giriş sıcaklığı sabit ve üniformdur. Akışkan girişte minimum sıcaklığa sahiptir.

$$\left. \begin{array}{l} x^* = 0 \\ k + \frac{1}{2} < t^* < k + 1, (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \end{array} \right\} \Rightarrow T_a^*(x^* = 0, t^*) = 0 \quad (19)$$

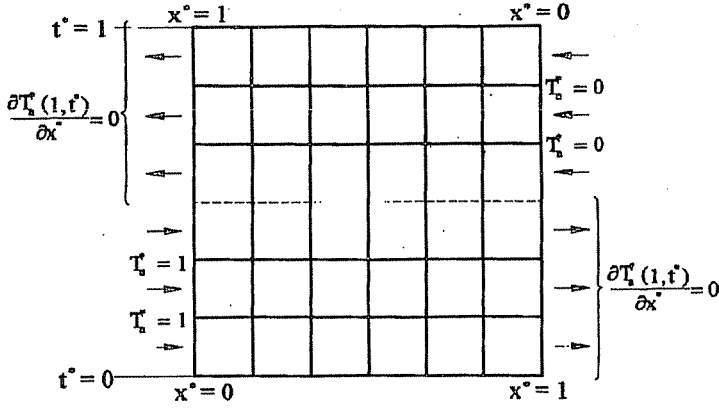
c) Isıtma ve soğutma periyodlarının çıkışında akışkanda akış yönünde ısı iletimi yoktur.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Isıtma Periyodu} \\ x^* = 1 ; k \leq t^* \leq k + \frac{1}{2}, (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \\ \text{Soğutma Periyodu} \\ x^* = 1 ; k + \frac{1}{2} \leq t^* \leq k + 1, (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\partial T_a^*(x^* = 1, t^*)}{\partial x^*} = 0 \quad (20)$$

d) Isıtma periyodunun başlangıcı ile soğutma periyodunun bitişindeki akışkan sıcaklıkları birbirine eşittir.

$$T_a^*(x^*, k) = T_a^*(x^*, k + 1), (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (21)$$

Karşıt akış durumunda akışkan için verilen sınır şartları Şekil 5'te gösterilmiştir. Buradaki sınır şartları rejeneratörün bir periyodu için verilmiştir. Diğer periyotlar da bunun tekrarı şeklindedir. Rejeneratör kanalları sıcak akışkan bölgesinden soğuk akışkan bölgesine geçtiğinde, x^* 'in başlangıç noktası da değişmekte olup, bu durum şekil üzerinde de gösterilmiştir.



Şekil 5. Karşıt akışta akışkan için sınır şartları.

3.4. Karşıt Akışta Duvar İçin Sınır Şartları

a) Isıtma ve soğutma periyotlarında rejeneratör girişinde duvarda akış yönünde ısı iletimi yoktur.

$$x^* = 0 \Rightarrow \frac{\partial T_d^*(x^* = 0, t^*)}{\partial x^*} = 0 \quad (22)$$

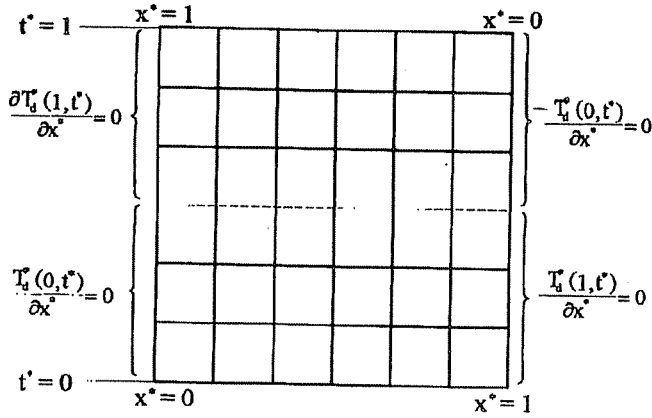
b) Isıtma ve soğutma periyotlarında rejeneratör çıkışında duvarda akış yönünde ısı iletimi yoktur.

$$x^* = 1 \Rightarrow \frac{\partial T_d^*(x^* = 1, t^*)}{\partial x^*} = 0 \quad (23)$$

c) Isıtma periyodunun başlangıcı ile soğutma periyodunun bitişindeki duvar sıcaklıkları birbirine eşittir.

$$T_d^*(x^*, k) = T_d^*(x^*, k + 1) \quad , \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (24)$$

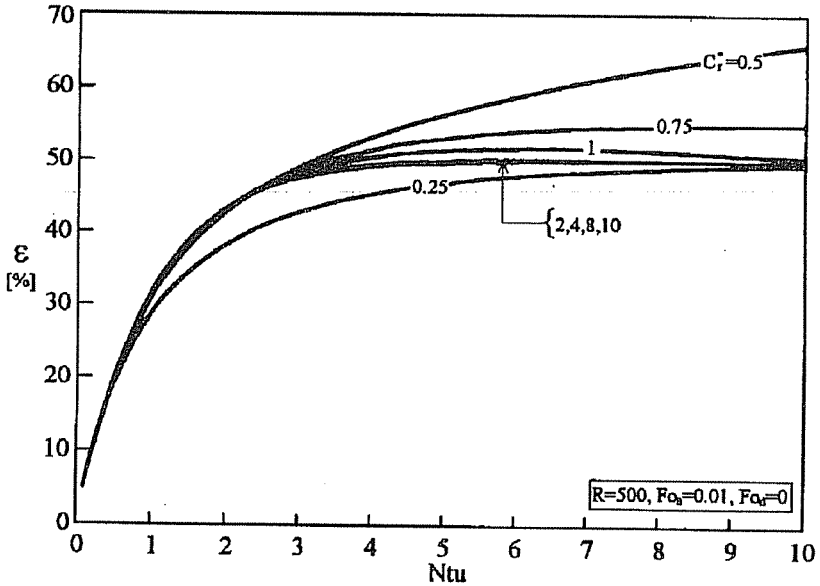
Karşıt akış durumunda duvar için verilen yukarıdaki sınır şartları şekil 6'da gösterilmiştir. Bu şekilden de anlaşılacağı gibi, ısıtma periyodundan soğutma periyoduna geçildiğinde, akış yönündeki koordinatı gösteren x^* 'in başlangıç noktası değişmektedir. Isıtma periyodunda $x^* = 1$ noktası soğutma periyodunda $x^* = 0$ noktası olarak kabul edilmiştir. Yukarıda verilen sınır şartları şekil üzerinde rejeneratörün bir periyodu için verilmiştir. Diğer periyotlardaki sınır şartları da bunun tekrarı şeklindedir.



Şekil 6. Karşıt-akışta duvar için sınır şartları.

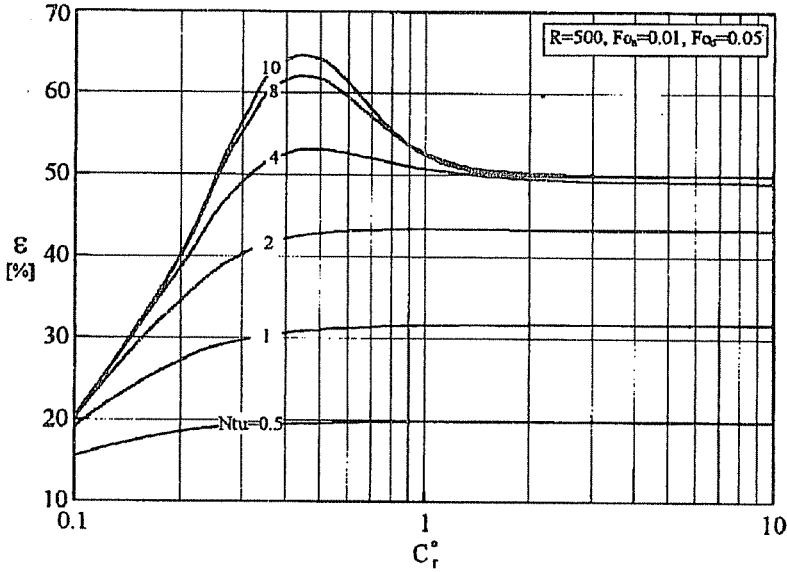
Bu sınır şartlarının (6) ve (8) eşitliklerine uygulanmasıyla üçlü bant matrisi şeklinde oluşan lineer denklem takımlarının çözümünden, paralel ve karşıt akış durumlarında rejeneratördeki akışkan ve duvar sıcaklıkları hesaplanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMALAR



Şekil 7. Paralel akışta rejeneratör etkinliğinin Ntu ile değişimi.

Şekil 7'de paralel akış durumunda rejeneratör etkinliğinin Ntu ile değişimi çeşitli C_T^* değerleri için verilmiştir. Şekil 7'de verilen şartlar altında paralel akış için en büyük etkinlik $C_T^*=0.5$ değerinde elde edilmektedir. Yani akışkanın bir periyot süresince sahip olduğu ısı kapasitenin duvarın ısı kapasitesine göre iki kat büyük olması durumunda etkinlik diğer durumlara göre daha yüksek olmaktadır. $C_T^*=0.5$ aynı zamanda akışkanın sıcak ya da soğuk periyot süresince sahip olduğu ısı kapasite ile duvarın ısı kapasitesinin birbirine eşit olması demektir. Isıl kapasite oranı C_T^* arttıkça etkinlik azalmaktadır. $C_T^*=1$ 'den sonra rejeneratörün etkinliği paralel akışlı ısı eşanjörünün etkinliği ile aynı olmaktadır. $C_T^*=0.5$ 'ten küçük olduğu zaman da rejeneratör etkinliği azalmaktadır. Çünkü akışkanın ısı kapasitesi matrisin ısı kapasitesinden büyük olduğu için, ancak ısının belli bir miktarı matriste depolanmaktadır. Dolayısıyla akışkan rejeneratörden daha yüksek sıcaklıkta çıkmaktadır. Bu da etkinliğin düşmesine neden olmaktadır.

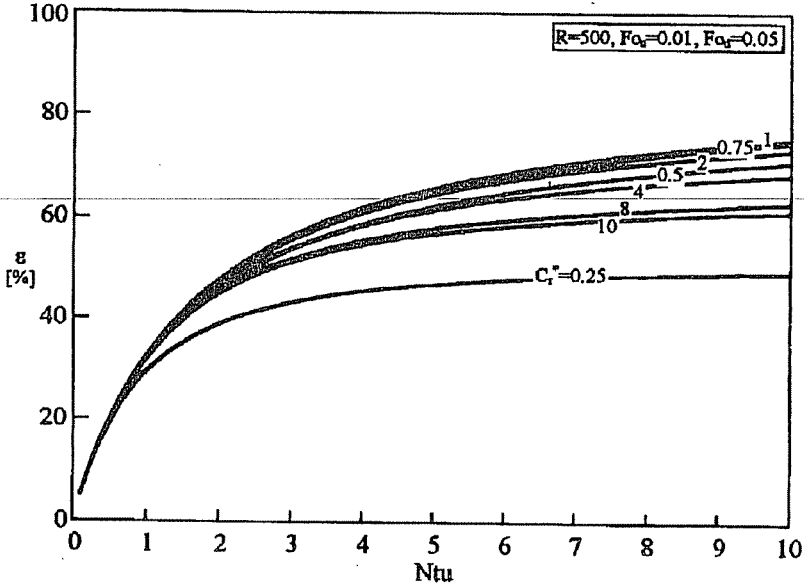


Şekil 8. Paralel akışta rejeneratör etkinliğini C_T^* ile değişimi.

Şekil 8'de de rejeneratörde paralel akış olması durumunda etkinliğin C_T^* ile değişimi çeşitli Ntu değerleri için verilmiştir. $C_T^*=0.5$ için Ntu değeri arttıkça etkinliğin de arttığı bu grafikten de görülmektedir. $C_T^*>2$ olması durumunda etkinlik Ntu parametresine bağlı olarak değişmekte, fakat C_T^* ile değişmemektedir. Ntu'nun küçük değerlerinde etkinlik de küçük olmaktadır. Bu da akışkanla duvar arasındaki ısı transfer katsayısının küçük olmasından kaynaklanmaktadır. Ntu>4 ve $C_T^*>1$ için paralel akışlı rejeneratör etkinliği %50 olmaktadır. Pratikte karşılaşılan değerler

kullanıldığında bunun paralel akışlı rejeneratörlerden elde edilebilecek en büyük etkinlik değeri olduğu görülmüştür.

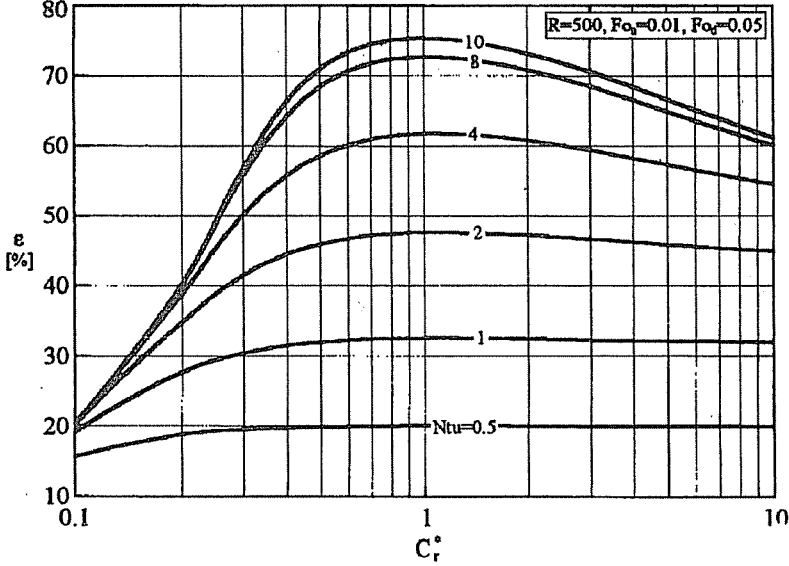
Şekil 9'da karşıt akış durumunda rejeneratör etkinliğinin Ntu ile değişimi görülmektedir. Etkinliğin Ntu ile değişimi C_T^* parametresine bağlı olarak verilmiştir. Karşıt akış durumunda en yüksek etkinlik $C_T^*=1$ için elde edilmektedir. Etkinlik $Ntu < 2$ için C_T^* ile hemen hemen hiç değişmemektedir. $Ntu \rightarrow 0$ için rejeneratör etkinliği de $\varepsilon=0$ olmaktadır. Etkinlik değeri $Ntu=5$ 'e kadar hızlı bir artış göstermekte, ancak $Ntu=5$ 'ten sonra etkinlikteki bu artış daha az olmaktadır.



Şekil 9. Karşıt akışta rejeneratör etkinliğinin Ntu ile değişimi.

Karşıt akışlı rejeneratörde etkinliğin ısı kapasite oranı C_T^* ile değişimi şekil 10'da verilmiştir. Görüldüğü gibi küçük Ntu değerlerinde rejeneratör etkinliği C_T^* ile fazla değişmemektedir. Fakat $Ntu=2$ 'den sonra rejeneratör etkinliği C_T^* ile önemli oranda değişmektedir. $C_T^*=1$ 'de bütün Ntu değerleri için en büyük etkinliğe ulaşılmaktadır. $C_T^*=1$ duvarın ısı kapasitesi ile akışkanın bir periyot süresince sahip olduğu ısı kapasitenin birbirine eşit olması demektir. Pratikte $Ntu=4$ ce $C_T^*=4$ olduğu kabul edilirse etkinliğin %60 civarında olacağı görülür. $C_T^*>1$ ve $Ntu>1$ durumunda ısı kapasite oranı arttıkça rejeneratör etkinliği azalmaktadır. Buradan da karşıt akışlı rejeneratörlerde duvarın ısı kapasitesinin çok fazla artırılmaması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Ntu, R, Fo_a ve Fo_d parametrelerinin sabit tutularak C_T^* 'ın artırılması, rejeneratör duvar elemanı kesit alanının artırılması demektir. Bu da rejeneratör duvar

elemanında akış yönündeki ısı iletiminin artması sonucunu doğurmakta ve böylece rejeneratör etkinliği düşmektedir.



Şekil 10. Karşıt akışta rejeneratör etkinliğinin C_r^* ile değişimi.

5. SONUÇ

Bu çalışmada döner tip rejeneratör etkinliği nümerik olarak hesaplanmıştır. Paralel ve karşıt akış durumlarında etkinliğin transfer birimi sayısı ile önemli oranda değiştiği görülmüştür. Pratikte karşılaşılan durumlar dikkate alındığında rejeneratör etkinliğinin, paralel akışta ısı kapasite oranı C_r^* ile değişmediği, ancak karşıt akışta C_r^* arttıkça rejeneratör etkinliğinin azaldığı belirlenmiştir. Bu da rejeneratör duvar elemanı kesit alanının artmasından kaynaklanmaktadır.

6. SEMBOLLER

a ısı yayılım katsayısı

A kesit alan

C_p özgül ısı

\dot{Q} çevre

F ısı transfer edilen yüzey alan

L rejeneratör uzunluğu

M kütle debisi

t zaman

Üst indis

* boyutsuz ifade

Alt indisler

a akışkan

d duvar

gmin minimum giriş

gmax maksimum giriş

t_0	periyot	Boyutsuz Sayılar
T	sıcaklık	C_r^* ısı kapasite oranı
x	akış yönündeki koordinat	Fo Fourier sayısı
α	ısı transfer katsayısı	Ntu transfer birimi sayısı
λ	ısı iletim katsayısı	R kütle oranı
ρ	yoğunluk	ϵ etkinlik

7. KAYNAKLAR

1. Nusselt, W., *Die Theorie des Winderhitzers*, Zeitschrift Verein Deutscher Ingenieure, Vol.71, pp.85-91, 1927.
2. Hausen, H., *Über die Theorie des Wärmeaustausches in Regeneratoren*, Zeitschrift Angewandte Math.Mech., Vol.9, pp.173-200, 1929.
3. Schumann, T.E.W., *A liquid flowing through a porous prism*, Heat Transfer, J.Franklin Inst., pp.405-416, 1929.
4. Hausen, H., *Wärmeübertragung im Gegenstrom, Gleichstrom und Kreuzstrom*, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 1976.
5. Scaricabarozzi, R., *Simple particular solutions and speed calculation of regenerators*, Heat recovery Systems and CHP, Vol.9, No.5, pp.443-446, 1989.
6. Willmott, J., Hinchcliffe, C., *The effect of gas heat storage upon the performance of the thermal regenerator*, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.19, pp.821-826, 1976.
7. Romie, F.E., Baclic, B.S., *Methods for rapid calculation of the operation of asymmetric counterflow regenerators*, Heat Transfer, Vol.190, pp.785-788, 1988.
8. Shen, C.M., Worek, M., *The effect of wall conduction on the performance of regenerative heat exchangers*, Energy, Vol.17, No.12, pp.1199-1213, 1992.

ÇUKUROVA BÖLGESİ İÇİN KÜÇÜK ÖLÇEKLİ FOTOVOLTAİK SİSTEM TASARIMI

Orhan BÜYÜKALACA ve Mustafa KARAÇORLU
Ç.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

ÖZET : *Bu çalışmada, Adana için güneş pili ile elektrik enerjisi üretiminin hangi koşullarda ekonomik olacağı örnek enerji tüketim senaryoları hazırlanarak incelenmiştir. Günümüzün fiyatları esas alındığında, elektrik hattı bulunan yerlerde fotovoltaik sistem ile elektrik üretiminin oldukça pahalı olduğu, ancak yerleşim birimlerinden uzakta, elektrik ihtiyacı olan yerlerde fotovoltaik sistemin elektrik hattı çekimine göre daha ekonomik olabileceği görülmüştür.*

ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC ELECTRICITY PRODUCTION IN ADANA

ABSTRACT : *In this study, an economic analysis of electricity production in Adana using solar cells is carried out. For this purpose, different scenarios of electricity consumption were considered. It was found that, the cost of electricity from a photovoltaic system is quite expensive in the places where an electrical distribution network is available. However it was seen that, photovoltaic system might be cheaper than installing a new electricity network for remote locations in which electricity is needed.*

* Bu çalışma Çukurova Üniversitesi, Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir.

1. GİRİŞ

Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte her geçen gün enerjiye olan ihtiyaç daha fazla artmaktadır. Buna paralel olarak da klasik enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Önümüzdeki yıllarda arz talep dengesini karşılamak üzere alternatif enerji kaynaklarının kullanılması kaçınılmazdır. Bu alternatif enerji kaynaklarının en önemlilerinden birisi de güneş enerjisidir. Günümüzde pahalı olduklarından dolayı çok fazla kullanım alanı bulamamakla birlikte, güneş enerjisi sistemlerinin uzun ömürlü olmaları, çevreyi kirletmemeleri, gürültüsüz çalışmaları, bakım gerektirmemeleri ve en önemlisi, enerji kullanımı için para ödenmemesi gibi sebeplerle yakın bir gelecekte yaygın olarak kullanılmalrı beklenmektedir.

İlkemizin belirli bölgelerinde (Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu) güneş enerjisinden faydalanılarak sıcak su üreten düz güneş toplayıcıları yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünyada bazı ülkelerde, belirli alanlarda kullanılmakla birlikte, fotovoltaik sistemlerin kullanımı ülkemizde yaygın değildir. Sadece Elektrik İşleri Etüd idaresi (1) ve Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü (2) tarafından küçük ölçekli bazı projeler gerçekleştirilmiştir.

Güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını %5 ile %20 arasında değişen bir verimle doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken kristallerdir (3). Güç çıkışını artırmak amacı ile çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilmektedir. Bu yapıya güneş pili modülü adı verilmektedir. Fotovoltaik sistemler özellikle elektrik enerjisi gereksiniminin küçük olduğu ve elektrik hattı bulunmayan yerleşim yerlerinden uzak yöreler için uygun olmaktadır. Örneğin küçük hesap makinaları, saatler, konutlar, deniz fenerleri, yatlar, televizyon ve radyo verici istasyonları, petrol boru hatlarının korunması, orman gözetleme kuleleri gibi birçok sistem için gerekli elektrik enerjisi güneş pillerinden temin edilebilir.

Günümüzde kullanılan güneş pillerinin kökeni bundan yaklaşık 50 yıl öncesine dayanmakla birlikte fotovoltaik sistemlere ilgi 1970' li yılların başında patlak veren petrol krizinden sonra artmıştır. Güneşten yeryüzüne bir saatten az bir zaman dilimi içerisinde gelen enerji tüm dünyanın bir yıllık toplam enerji ihtiyacını karşılayacak büyüklüktedir. Güneş pilleri yardımıyla elektrik enerjisi üretiminin temiz olması, çevreyi kirletmemesi, yerel uygulamalara uygun olması, çok az bakım gerektirmesi, işletme masraflarının çok düşük olması gibi birçok avantajları vardır. Bu avantajlara karşın, birim yüzeye gelen güneş ışınımının düşük olmasından dolayı büyük yüzey alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca bir çok uygulamada sadece güneş pili yeterli olmamakta, akümülatör, gerilim düzenleyicisi, çevirici/yükseltici gibi diğer bazı elemanlara da ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş enerjisi sürekli olmadığından, akümülatör gibi bir depolama sistemi gereklidir. Bu durumda, güneş pilinden elde edilen gerilim ile akümülatörün şarj gerilimini dengeleyebilmek için, pil ile akümülatör arasına bir gerilim düzenleyicisi (şarj regülatörü) yerleştirilmelidir. Bunlara ilave olarak,

akümülatörden çekilen doğru akımın (DC) alternatif akıma çevrilmesi ve ayrıca gerilimin de 12 V'tan 220 V'a yükseltilmesi gereklidir. Bu amaçla akümülatör ile yük arasında bir çevirici/yükselticiye ihtiyaç vardır. Bütün bu ilave elemanlar, fotovoltaik sistemin ilk yatırım maliyetini arttırdığı gibi ayrıca toplam sistem veriminde de düşüişlere sebep olmaktadır.

Büyükalaca (4) bir deney düzeneği kurarak, güneş pilinden elektrik enerjisi üretimini ve akümülatör kullanılarak depolanmasını Çukurova şartlarında araştırmıştır. Güneş pilinden sağlanan elektrik enerjisi ile akümülatörün önce şarj sonra deşarz ve aynı anda hem şarj hem de deşarz edilmesi şeklinde iki değişik şekilde gerçekleştirilen deneylerde ortalama toplam sistem veriminin %6 mertebesinde olduğu görülmüştür. Ortalama pil veriminin %12, şarj düzenleyicisi veriminin %91, akümülatör veriminin %70 ve çevirici/yükseltici veriminin %80 civarında olduğu bulunmuştur. Bu çalışmada yapılan hesaplarda Büyükalaca'nın (4) araştırmasında bulunan %6 toplam sistem verimi esas alınmıştır.

Fotovoltaik sistemlerin tasarımı için değişik yöntemler önerilmiştir. Örnek olarak Siegel ve arkadaşları (5), Evans (6), Clark ve arkadaşları (7), Bartoli ve arkadaşları (8), Barra ve arkadaşları (9), Groumpos ve Papageorgiou (10) ve Edigo ve Lorenzo'nun (11) çalışmaları verilebilir. Tasarım için geliştirilen yöntemler Rosenblum (12) tarafından üç ana grup altında toplanmıştır. Bunlar;

a) Keyfi tasarım marjin metodu : Bu metotta fotovoltaik sistemin büyüklüğü, günlük ortalama ışınım değerleri kullanılarak belirlenir. Daha sonra belirli bir güvenlik payı düşünülerek pil alanı ve akümülatör kapasitesi belirli oranlarda arttırılır.

b) Keyfi hava değişken faktör metodu : Bir önceki metoda çok benzer ancak hava çevrim değişkeni olarak adlandırılan bir faktör de hesaplarda kullanılır.

c) Işınım ihtimal fonksiyonu metodu : Aylık ortalama günlük ışınımın oluşma ihtimali ampirik bir fonksiyon kullanılarak belirlenir. Fotovoltaik sistem tasarımında bu ampirik ihtimal fonksiyonundan faydalanılır.

Bu çalışmada ise Çukurova Bölgesi şartlarında fotovoltaik sistemlerin hangi koşullar altında ekonomik olabileceği incelenmiştir. Çalışmada %0 güvenlik payı arttırımı ile keyfi tasarım marjin metodu kullanılmıştır.

2. ENERJİ KULLANIM SENARYOSU

Analizde güneş pili ile elde edilen elektriğin, bütün bir yıl boyunca aynı programı uygulayan 4 kişilik bir ailenin elektrik ihtiyacını karşılamak üzere kullanılacağı düşünülmüştür. İki değişik elektrik kullanım senaryosu ele alınmıştır. Senaryo-1'de güneş pili sisteminden sadece evin aydınlatılması için, Senaryo-2'de ise aydınlatma ve bazı temel ev cihazlarının çalıştırılması için elektrik kullanılacağı öngörülmüştür. Enerji tüketen cihazlar, Senaryo-1 ve Senaryo-2 için sırasıyla Çizelge-1 ve Çizelge-2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Senaryo-1 için enerji tüketen cihazlar.

<i>Mahal</i>	<i>Aydınlatma</i>
Yatak Odası-1	2x40 W floresan lamba
Yatak Odası-2	2x40 W floresan lamba
Salon	2x40 W floresan lamba
Banyo	40 W ampül
WC	40 W ampül
Mutfak	40 W ampül
Toplam	360 W

Çizelge 2. Senaryo-2 için enerji tüketen cihazlar.

<i>Mahal</i>	<i>Aydınlatma</i>	<i>Cihaz</i>
Yatak Odası-1	2x40 W floresan lamba	
Yatak Odası-2	2x40 W floresan lamba	
Salon	2x40 W floresan lamba	
Koridor	40 W floresan lamba	
Banyo	40 W ampül	
Mutfak	40 W floresan lamba	
WC	40 W ampül	
Salon (TV)		95 W 55 ekran TV
Mutfak (Buzdolabı)		150 W no frost buzdolabı
Banyo (Çamaşır Mak.)		1900 W otomatik çamaşır mak.
Oturma Odası (Radyo-typ)		40 W müzik seti
Toplam (2585 W)	400 W	2185 W

Bu cihazların gün içerisinde ne kadar kullanılacağı ise Çizelge 3 ve Çizelge 4'te Senaryo-1 ve Senaryo-2 için ayrı ayrı verilmiştir. Bu çizelgelerde "Gece" gün batışı ile doğuşu arasında geçen süreyi, "Gündüz" ise gün doğuşu ile batışı arasında geçen süreyi temsil etmektedir. "A" belirtilen sürenin yarısında, "B" ise dörtte birinde elektrik enerjisi kullanıldığını belirtmektedir. "A" gece için, "B" ise gündüz için düşünülmüştür. Çukurova şartlarında buzdolabının ilkbahar ve yaz aylarında günde ortalama 10 saat, diğer aylarda ise 7 saat çalışacağı tahmin edilmiştir (13). Bu değerlerle, buzdolabı ilkbahar ve yaz aylarında 1 saatlik bir süre içerisinde 36 dakika, sonbahar ve kış aylarında ise 24 dakika çalışacaktır. Bu durum Çizelge 4' te "C" ile temsil edilmiştir. Çamaşır makinasının ise haftada iki defa 105 dakika kullanılacağı varsayılmıştır.

Çizelge 3 ve Çizelge 4'te verilen kullanım senaryoları esas alınarak günlük toplam enerji ihtiyacı bütün aylar için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu amaçla, öncelikle literatürde (14) verilen bağıntılar ve Adana için meteorolojik veriler kullanılarak aylık ortalama gün doğuş ve batış saatleri, bulutluluk, hava sıcaklığı ve ışınm değerleri belirlenmiştir. Bu veriler yardımıyla elektrik tüketiminin mevsimlik değişimi göz önüne alınarak, her

Çizelge 3. Senaryo-1 için, elektrik kullanım senaryosu.

Saat	Faaliyet	Kullanılan Güç (W)	Gece	Gündüz
06:00-07:00	Yıkanma, Giyinme (2 Oda+Banyo+WC)	240	A	B
07:00-08:00	Kahvaltı (Mutfak)	40	-	B
08:00-17:00	Günlük Ev İşleri (Tüm Aydınlatma)	360	A	B
17:00-19:00	Mutfak İşleri, Yemek (Mutfak, Salon)	120	A	B
18:00-22:00	Okuma ve Oturma (Salon, Oturma Odası)	160	A	B
22:00-23:00	Yıkanma ve Yatma (2 Oda, Banyo, WC)	240	A	-

Çizelge 4. Senaryo-2 için, elektrik kullanım senaryosu.

Saat	Faaliyet	Kullanılan Güç (W)	Gece	Gündüz
06:00-07:00	Yıkanma, Giyinme (2 Oda+Banyo+WC)	240	A	B
07:00-08:00	Kahvaltı (Mutfak)	40	A	B
08:00-17:00	Günlük Ev İşleri (Aydınlatma+TV+Radyo-Teyp)	535	A	B
17:00-19:00	Mutfak İşleri, Yemek (Mutfak, Salon)	120	A	B
18:00-22:00	Okuma ve Oturma (Salon, Oturma Odası, TV, Radyo-Teyp)	295	A	B
22:00-23:00	Yıkanma ve Yatma (2 Oda, Banyo, WC)	240	A	-
06:00-23:00	Mutfak (Buzdolabı)	150	C	C
08:00-09:00	Banyo (Çamaşır Makinası)	1900	-	B

bir ay için yük faktörleri belirlenmiş ve Çizelge 3 ve Çizelge 4'te verilen güç değerleri ile çarpılmıştır (2). Örnek olarak Senaryo-2 dikkate alınarak Ocak ayına ait sonuçlar Çizelge 5'te gösterilmiştir. Bu çizelgede görülen katsayılar yukarıda verilen "A", "B" ve "C" durumlarına göre elde edilmişlerdir. Örneğin bu ayda 06-07 saatleri arasında yaklaşık 40 dakika gece, 20 dakika da gündüzdür. Daha önce verilen kriterler dikkate alınarak, aydınlatma için gece bölümünde 20 dakika, gündüz bölümünde ise 5 dakika enerji kullanımı olacaktır. 06-07 saatleri arasında 240 W'lık güç, toplam 25 dakika kullanılacaktır. Bu ise 0,41 katsayısını verir. Diğer zaman dilimleri için de bu katsayılar elde edilerek bir günlük toplam enerji ihtiyacı belirlenmiştir. Benzer şekilde diğer aylar için de günlük toplam enerji ihtiyacı elde edilmiştir. Senaryo-1 ve Senaryo-2 için ayrı ayrı elde edilen bu değerler Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5. Günlük toplam elektrik enerjisi ihtiyacı.

Ay : Ocak Gün Doğuşu : 06:41 Gün Batışı : 16:54										
Cihaz Gücü (W)	Saat								Enerji İhtiyacı (Wh)	
	06-07	07-08	08-17	17-19	18-22	22-23	06-23	08-09	Gece	Toplam
240 W	0.41								79	98
40 W		0.25								10
535 W			0.25							1203
120 W				0.5					120	120
295 W					0.5				590	590
240 W						0.5			120	120
150 W							0.4		420	1020
1900 W								0.25		475
Toplam :									1329	3636

Çizelge 6. Senaryo-1 ve Senaryo-2 için aylara göre günlük toplam elektrik enerjisi ihtiyacı.

Ay	Senaryo-1		Senaryo-2	
	Gece (Wh)	Toplam (Wh)	Gece (Wh)	Toplam (Wh)
Ocak	639	1478	1329	3636
Şubat	584	1443	1214	3601
Mart	520	1420	1240	4088
Nisan	487	1398	1220	4079
Mayıs	416	1368	992	4009
Haziran	416	1368	992	4009
Temmuz	416	1368	992	4009
Ağustos	468	1391	1116	4043
Eylül	520	1420	1090	3578
Ekim	555	1435	1185	3593
Kasım	560	1440	1190	3598
Aralık	707	1501	1352	3675
Toplam				

Çizelge 6'dan da görülebileceği gibi, her iki senaryo için de ihtiyaç duyulan günlük enerji miktarı aylara göre değişmekle birlikte, bu değişim en fazla %10 civarındadır. Sadece aydınlatma için gerekli enerji (Senaryo-1), en kısa gün uzunluğuna sahip Aralık ayı için maksimum olurken Haziran ayı civarında da minimum olmaktadır. Senaryo-2 dikkate alındığında ise maksimum Mart ayında, minimum ise Eylül ayında görülmektedir.

3. MALİYET ANALİZİ

Çizelge 6'da verilen enerjiyi güneş pili kullanarak elde edebilmek için belirli bir güneş

pili yüzey alanına ihtiyaç vardır. Güneş pili yüzey alanını belirleyebilmek için, güneş pili yüzeyine gelen toplam güneş ışınım miktarı ve güneş pili sistem veriminin bilinmesi gereklidir. Yatayla, 36° (Adana için enlem açısı), 31° ve 41° açı yapan düzlemlere gelen toplam güneş ışınım miktarı literatürde (14) verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplar, Mart-Eylül ayları arasında 31°, diğer aylarda ise 41° lik bir eğimle yerleştirilmesi durumunda güneş pili yüzeyine en fazla ışınımın geleceğini göstermiştir. Güneş pili sistemi verimi olarak ise, Büyükalaca (4) tarafından elde edilen %6 toplam sistem verimi alınmıştır.

Adana ili için, %6 toplam sistem verimi kabul ederek Senaryo-1 ve Senaryo-2'ye göre ihtiyaç duyulan enerjiyi (Çizelge-6) elde edebilmek için gerekli olan güneş pili yüzey alanı hesaplanmış ve Çizelge 7'de gösterilmiştir.

Çizelge 7. Senaryo-1 ve Senaryo-2 için gerekli modül alanı.

Ay	Pil Eğim Açısı (°)	Günlük Toplam Işınım (Wh/m ²)	Gerekli Pil Yüzey Alanı (m ²)	
			Senaryo-1	Senaryo-2
Ocak	41	4048.76	6.08	14.96
Şubat	41	5180.18	4.64	11.58
Mart	31	6101.73	3.87	11.16
Nisan	31	6899.36	3.37	9.85
Mayıs	31	7643.64	2.98	8.74
Haziran	31	7701.97	2.96	8.67
Temmuz	31	7445.34	3.06	8.97
Ağustos	31	7271.86	3.18	9.26
Eylül	31	6708.36	3.52	8.88
Ekim	41	5945.87	4.02	10.07
Kasım	41	4728.65	5.07	12.68
Aralık	41	3941.21	6.34	15.54

Çizelge 8 ve Çizelge 9'da ise Siemens (15), Yuasa (16), Mutlu (17) ve Or Elektronik'ten (18) alınan fiyatlar kullanılarak hesaplanan ilk yatırım maliyeti Senaryo-1 ve Senaryo-2 için sırasıyla verilmiştir. Modül sayısı, standart bir pil modülünün yüzey alanının 0.36 m² olduğu dikkate alınarak elde edilmiştir. Ayrıca modül sayısı kadar bunları tutturmak için sehpa ihtiyacı duyulacağı göz önüne alınmıştır. Akümülatör kapasitesi, günlük toplam gece yükü dikkate alınarak belirlenmiştir. Üst üste üç gün boyunca havanın kapalı geçip, akümülatörün yeterli miktarda şarj olmayacağı düşünülerek, akümülatör kapasitesi olarak elde edilen değer üç katı alınmıştır. İlk yatırım maliyeti her iki senaryoda da iki tip akümülatör için yapılmıştır. Kuru tip akümülatörler Türkiye'de imal edilmeyip, ithal edilmektedirler. Bu tip akümülatörlerin önemli özelliklerinden birisi de bakım gerektirmemeleridir. Sulu tip

akümülatörler ise ülkemizde imal edilmektedir. Bu tip akümülatörlere ayda bir bakım yapılması gerekmektedir. Kuru tip akümülatör maliyeti, sulu tip akümülatör maliyetinin yaklaşık 2.4 katıdır.

Çizelge 8 ve 9'dan da görülebileceği üzere, ilk yatırım maliyeti aylara göre değişim göstermektedir. En büyük değerini Aralık ayında, en küçük değerini ise Mayıs-Haziran aylarında almaktadır. Aralık ayında gün uzunluğu ve gelen güneş ışınımı miktarı azdır. Bundan dolayı daha fazla pil alanına ihtiyaç duyulduğundan bu ay esas alınarak yapılan ilk yatırım maliyeti de fazla olmaktadır. Mayıs-Haziran aylarında ise gün uzunluğu ve gelen güneş ışınımı miktarı artmaktadır. Bundan dolayı da pil ilk yatırım maliyeti düşmektedir. Ancak bu aylar esas alınarak bir güneş pili sistemi tasarlanırsa bu sistem kış aylarında yeterli olmayacaktır. Bu durumda ilave bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulacaktır.

Çizelge 6'daki değerler yardımıyla, bir yıllık toplam enerji tüketiminin Senaryo-1'e göre yaklaşık 520 kWh, Senaryo-2'ye göre ise 1401 kWh olduğu bulunur. Elektrik fiyatının 0.0833 \$/kWh olduğu dikkate alınırsa, bu enerjilerin şehir şebekesinden alınması durumunda yıllık ödenmesi gereken miktar Senaryo-1 için 43 \$, Senaryo-2 için ise 117 \$'dır. Bu fiyatlar Çizelge 8 ve Çizelge 9'da verilen ilk yatırım maliyetinin yanında oldukça düşüktür. Buradan mevcut şartlarda, şehir şebekesi bulunan yerlerde fotovoltaik sistemin kendisini çok uzun bir sürede geri ödeyeceği, bu sebepten dolayı da ekonomik olmadığı sonucunu çıkarmak mümkündür.

Ancak yerleşim birimlerinden uzakta, dağ ve tepelerde bulunan televizyon, radyo gibi verici istasyonlarında, meteoroloji istasyonlarında, çiftlik ve köy evlerinde ve orman gözetleme kulelerinde elektrik kullanımı için uzak hat çekilmesi gerekebilir. Bu da beraberinde belirli bir mali külfet getirecektir. Aşağıda, uzak hat çekilmesi durumunda fotovoltaik sistemin ekonomikliği tartışılmıştır.

Hattın tek fazlı 220 V, 50 Hz olacak şekilde çekileceği düşünülmüştür. Hatta alüminyum iletken kullanılacağı ve 50 m ara ile direk dikileceği düşünülmüştür. Hattın başındaki ve sonundaki direkler özel direk olup, aralardaki direkler ise normal tip direklerdir. Her direkte iletkenleri bağlamak için 2 adet izolatör ve demiri ile 1 adet topraklama levhası kullanılacağı düşünülmüştür. Kullanılan malzemelerle ilgili birim fiyatlar TEDAŞ'dan (19) temin edilmiş ve hesaplarda kullanılmıştır.

Hattın uzunluğuna bağlı olarak iletkenler üzerinde gerilim düşümü olacaktır. Bu gerilim düşümü TEDAŞ (19) tarafından verilen

$$\text{GerilimDüşümü} = 0.074 \cdot \frac{\text{Güç(kW)} \cdot \text{Uzaklık(m)}}{\text{Kesit(mm}^2\text{)}} \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Gerilim düşümünün 3'ten küçük olması gerekmektedir. Bu kritere göre, elektrik hattı yaklaşık 2 km ve 2000 W'a kadar transformatör kullanılmaksızın çekilebilmektedir. Daha büyük güç ve daha uzak mesafeler için gerilim yükseltici ve gerilim düşürücü transformatörler kullanılması gerekir. Şekil 1'de

ÇUKUROVA BÖLGESİ İÇİN KÜÇÜK ÖLÇEKLİ FOTOVOLTAİK SİSTEM TASARIMI

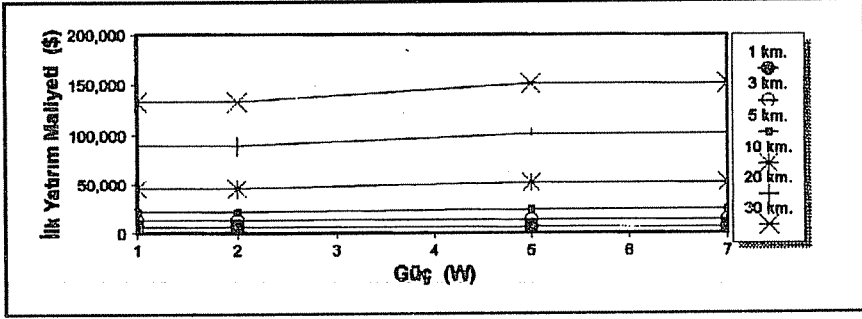
Çizelge 8. Senaryo-1 için ilk yatırım maliyeti.

Aylar	Modül ve Sehpa Sayısı (Adet)	Modül Fiyatı (\$/Adet)	Sehpa Fiyatı (\$/Adet)	Akü Tipi (1 Adet)	Kuru Akü (\$/Adet)	Sulu Akü (\$/Adet)	Şarj Devresi (\$)	İnvertör (0.3 KW) (\$)	Kurma İşçiliği (\$)	Toplam Maliyet (\$)	
										Kuru Akü	Sulu Akü
Ocak	17	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	50	200	50	9079	8485
Şubat	13	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	50	200	50	7259	6665
Mart	11	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	50	200	50	6349	5755
Nisan	9	440	15	12V. 110Ah.	688	283	50	200	50	5083	4678
Mayıs	8	440	15	12V. 110Ah.	688	283	50	200	50	4628	4223
Haziran	8	440	15	12V. 110Ah.	688	283	50	200	50	4628	4223
Temmuz	8	440	15	12V. 110Ah.	688	283	50	200	50	4628	4223
Ağustos	9	440	15	12V. 110Ah.	688	283	50	200	50	5083	4678
Eylül	10	440	15	12V. 110Ah.	688	283	50	200	50	5538	5133
Ekim	11	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	50	200	50	6349	5755
Kasım	14	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	50	200	50	7714	7120
Aralık	18	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	50	200	50	9534	8940

Çizelge 9. Senaryo-2 için ilk yatırım maliyeti.

Aylar	Modül ve Sehpa Sayısı (Adet)	Modül Fiyatı (\$/Adet)	Sehpa Fiyatı (\$/Adet)	Akü Tipi (2 Adet)	Kuru Akü (\$/Adet)	Sulu Akü (\$/Adet)	Şarj Devresi (\$)	İnvertör (2.4 KW) (\$)	Kurma İşçiliği (\$)	Toplam Maliyet (\$)	
										Kuru Akü	Sulu Akü
Ocak	42	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	80	900	100	22273	21090
Şubat	32	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	80	900	100	17728	16540
Mart	31	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	80	900	100	17273	16085
Nisan	27	440	15	12V. 110Ah.	688	283	80	900	100	14741	13431
Mayıs	24	440	15	12V. 110Ah.	688	283	80	900	100	13376	12566
Haziran	24	440	15	12V. 110Ah.	688	283	80	900	100	13376	12566
Temmuz	25	440	15	12V. 110Ah.	688	283	80	900	100	13831	13021
Ağustos	26	440	15	12V. 110Ah.	688	283	80	900	100	14286	13486
Eylül	25	440	15	12V. 110Ah.	688	283	80	900	100	13831	13021
Ekim	28	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	80	900	100	15908	14720
Kasım	35	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	80	900	100	19093	17905
Aralık	43	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	80	900	100	22733	21545

uzak hat çekimi için ilk yatırım maliyetinin güce göre değişimi, mesafeye bağlı olarak verilmiştir. \$ bazındaki bu fiyatlara işçilik ücretleri dahildir. Görüldüğü gibi güç arttıkça, mesafeye bağlı olarak ilk yatırım maliyeti de artmaktadır. Özellikle 20 km ve sonrasında ilk yatırım maliyeti 100000 \$ ve üzeri bir değere çıkmaktadır.



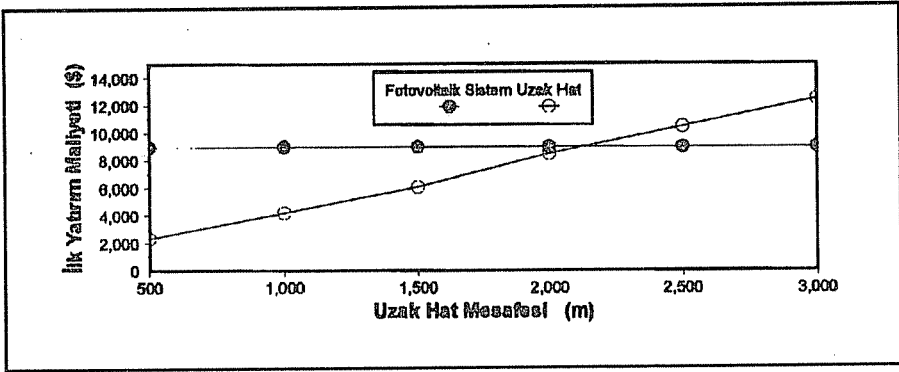
Şekil 1. Uzak hat çekimi ilk yatırım maliyeti.

İlk yatırım maliyetlerinin fazla olması güneş pili sistemlerinin en büyük dezavantajlarıdır. Ancak elektrik hattı bulunmayan veya elektrik götürülmesinin pahalı olduğu kırsal yörelerde, dağ veya tepelerdeki verici istasyonlarında, dizel jeneratörlere alternatif olarak, güneş pillerinin kullanılması daha ekonomik olabilmektedir. Çünkü güneş pili sistemlerinde bir kez ilk yatırım için harcama yapıldıktan sonra başka masraf olmamakta, oysa dizel jeneratörler ucuz satınalma fiyatlarına karşılık, yakıt ve bakım maliyetleri nedeniyle uzun dönemde pahalıya gelmektedir. Genellikle ulaşımın da zor olduğu bu tip kırsal yörelerde, dizel jeneratörlere sürekli yakıt taşımak sorun olabilmektedir. Ayrıca güneş pili sisteminin en büyük avantajlarından birisi de, ilk yatırım maliyeti yapıldıktan sonra, enerji kullanım ücreti ödemek gibi bir zorunluluğun olmamasıdır. Oysa dizel jeneratör veya elektrik için enerji kullanım ücreti ödemek zorundadır. Bundan başka, jeneratörlerin tersine güneş pilleri bakım gerektirmez, parça değişimi gibi bir sorunları da yoktur.

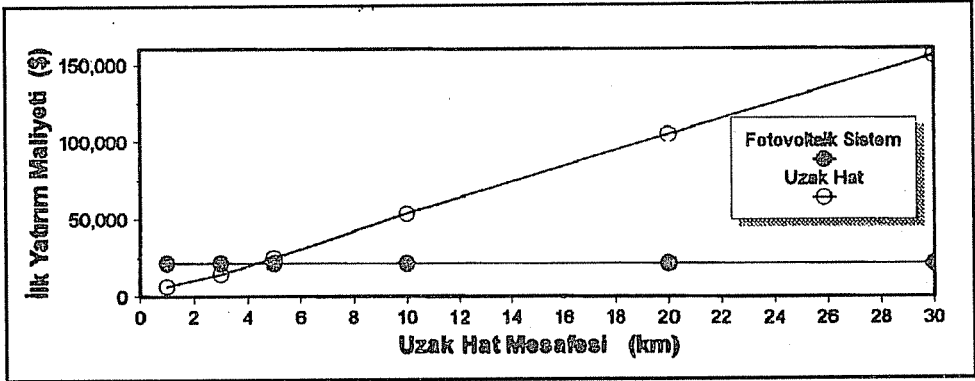
Yukarıda yapılan hesaplamalara dayanılarak, güneş pili sisteminin ilk yatırım maliyetinin şehir elektriğinin bulunduğu yerleşim birimlerinde ekonomik olmadığı, ancak elektriğin bulunmadığı yerleşim birimlerinden uzak yerlerde (köy, çiftlik evleri, dağ veya tepelerdeki radyo-televizyon verici istasyonları, orman gözetleme kuleleri, meteoroloji ölçüm istasyonları gibi) güneş pili sistemlerinin ilk yatırım maliyetinin hat çekimi ilk yatırım maliyetine göre daha ekonomik olduğu görülmektedir.

Şekil 2 ve Şekil 3'de Senaryo-1 ve 2'ye göre ihtiyaç duyulan enerjinin güneş pilinden elde edilmesi ve hat çekilmesi durumundaki ilk yatırım maliyetleri karşılaştırılmıştır. Fotovoltaik sistemin ilk yatırım maliyetinin hesabında güneş ışınımının en az ve gün uzunluğunun en kısa olduğu Aralık ayı esas alınmıştır. Böylece

senaryo için gerekli enerji yıl boyunca tamamen fotovoltaik sistemden karşılanabilmektedir. Hat çekiminde ise Senaryo-1 durumunda 500 W, Senaryo-2 durumunda 3 kW'lık bir hat çekileceği dikkate alınmıştır. Şekil 2'den de görülebileceği gibi, Senaryo-1 için yaklaşık 2 km'den sonraki mesafelerde fotovoltaik sistem daha ekonomik olmaktadır. Benzer şekilde Senaryo-2 için de yaklaşık 5 km'den sonraki mesafelerde fotovoltaik sistemin daha ekonomik olduğu görülmüştür. Ayrıca elektrik hattı ilk yatırım maliyeti ile beraber, hat çekildikten sonraki enerji kullanımından dolayı ödenecek ücretler de dikkate alınır, güneş pili sisteminin daha da ekonomik olacağı görülecektir.



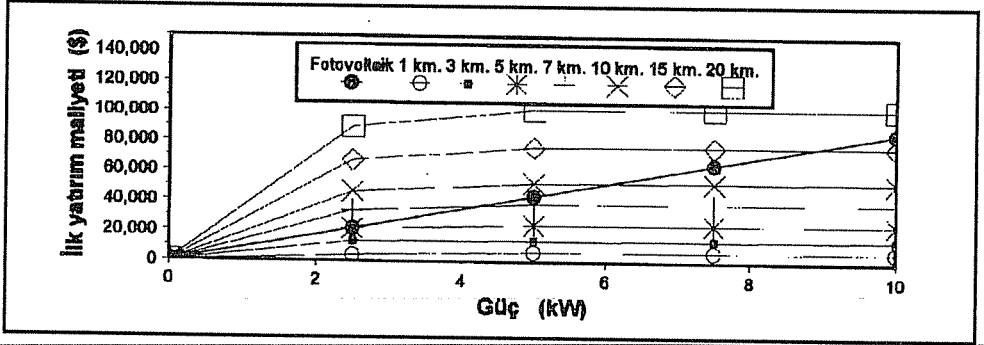
Şekil 2. Senaryo-1 için fotovoltaik sistem ve uzak hat çekimi ilk yatırım maliyeti.



Şekil 3. Senaryo-2 için fotovoltaik sistem ve uzak hat çekimi ilk yatırım maliyeti.

Ancak sabit bir mesafe için gerekli güç artarsa, belirli bir güç değerinden sonra fotovoltaik sistemin üstünlüğünden bahsetmek mümkün olmaz. Bu durum Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu şekildeki güç gereksinimi Senaryo-2 temel alınarak elde edilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi, 5 km'nin altındaki mesafelerde gerekli güç ne olursa olsun uzak hat çekimi fotovoltaik sisteme göre daha ekonomiktir. Ancak 5 km'den

sonra belirli bir güce kadar fotovoltaik sistem maliyeti daha düşük olurken, kritik bir noktadan sonra hat çekimi tekrar ekonomik hale gelmektedir. Yalnız bu değişimin öngörülen enerji kullanım senaryolarına doğrudan bağlı olduğu gerçeği gözardı edilmemelidir.



Şekil 4. Fotovoltaik sistem ve uzak hat çekimi ilk yatırım maliyetinin güce göre değişimi.

Gelişen teknoloji ile birlikte Watt başına pilin maliyeti her yıl düşmekte ve önümüzdeki yıllarda da düşmeye devam edeceği beklenmektedir. Toplam maliyette yaklaşık %90'lık bir paya sahip olan pil maliyetinin düşmesiyle toplam sistem maliyeti de düşecektir. Günümüzde pahalı olduklarından dolayı çok fazla kullanım alanı bulamamakla birlikte, bu sistemlerin uzun ömürlü olmaları, çevreyi kirletmemeleri, gürültüsüz çalışmaları, bakım gerektirmemeleri ve en önemlisi, enerji kullanımı için para ödenmemesi gibi avantajları nedeniyle yakın bir gelecekte yaygın olarak kullanılmaları beklenmektedir.

4. SONUÇ

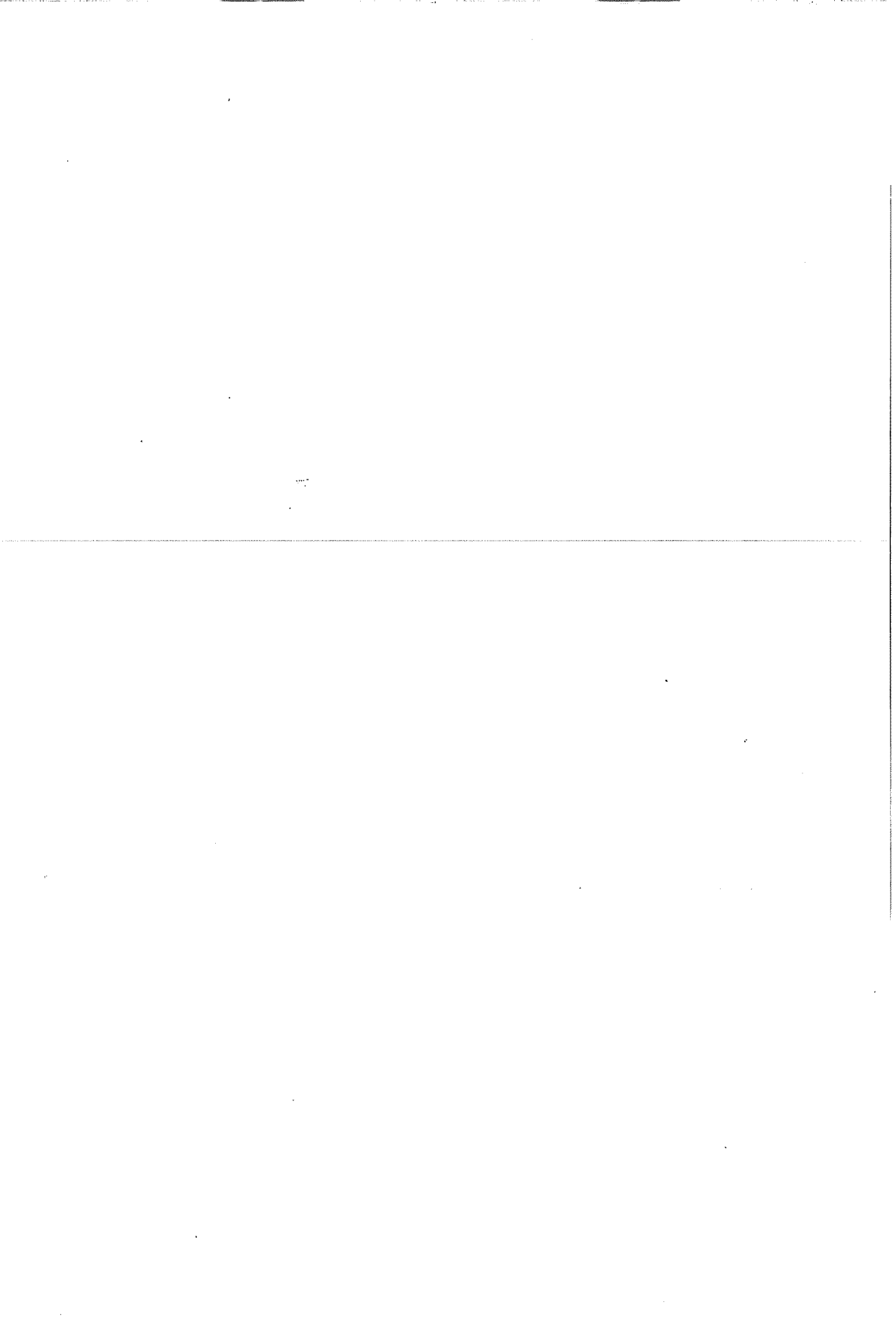
Deneyler sonucunda elde edilen toplam sistem verimi kullanılarak iki değişik elektrik kullanım senaryosuna göre fotovoltaik sistemin ilk yatırım maliyeti çıkarılmıştır. Elde edilen fotovoltaik sistem maliyeti, aynı senaryolara bağlı kalarak şehir elektriği kullanılması ve uzak hat çekimi ilk yatırım maliyeti ile karşılaştırılmıştır. Buradan güneş pili sisteminin elektriğin bulunduğu yerleşim birimlerinde ekonomik olmadığı, ancak yerleşim birimlerinden uzakta, elektrik ihtiyacı olan yerlerde güneş pili sisteminin uzak hat çekimine göre daha ekonomik olabileceği görülmüştür.

Fotovoltaik sistemde kullanılan güneş pillerinin maliyeti oldukça yüksektir. Özellikle toplam maliyette %90'lık bir kısmı pil maliyetinin oluşturması, bu sistemlerin ilk yatırım maliyetinin büyük olmasında önemli rol oynamaktadır. Gelişen teknoloji ile önümüzdeki yıllarda güneş pillerinin daha da ucuzlayacağı beklenmektedir. Kullanılan klasik enerji kaynaklarının sınırlı olduğu düşünülürse, fotovoltaik sistemlerin uzun

ömürlü olmaları, çevreyi kirletmemeleri, gürültüsüz çalışmaları ve en önemlisi enerji kullanımından dolayı para ödenmemesi gibi avantajları sebebiyle önümüzdeki yıllarda kullanımının artması beklenmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. E.I.E., *Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Direktörlüğü, Güneş Pilleri, Ankara, 1992.*
2. Çolak, M. ve Erdiş, F., *Fotovoltaik Prensipleri ile Güneş Enerjisinden Doğrudan Elektrik İretimi, Ege Üniversitesi Araştırma Fonu, Araştırma Raporu, 1989.*
3. Markvart, T., *Solar Electricity, John Wiley and Sons Ltd., 1994.*
4. Büyükalaca, O., *Çukurova Bölgesinde güneş pili ile elektrik üretiminin denenmesi, Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi (Yayınlanmak üzere sunuldu), 1997.*
5. Siegel, M.D., Klein, S.A. ve Beckman, W.A., *A simplified method for estimating the monthly-average performance of photovoltaic systems, Solar Energy, 26, 1981.*
6. Evans, D.L., *Simplified method for predicting photovoltaic array output, Solar Energy, 27, 1981.*
7. Clark, D.R., Klein, S.A. ve Beckman, W.A., *A method for estimating the performance of photovoltaic systems, Solar Energy, 33, 1984.*
8. Bartoli, B., Cuomo, V., Fontana, F., Serio, C. ve Silvestrini, V., *The design of photovoltaic plants : an optimization procedure, Applied Energy, 18, 37-47, 1984.*
9. Barra, L., Catalano, F., Fontana, F. ve Lavoranth, F., *An analytical method to determine the optimal size of a photovoltaic plant, Solar Energy, 33(6), 509-514, 1984.*
10. Groumos, P.P. ve Papageorgiou, G., *An optimal sizing method for stand-alone photovoltaic power systems, Solar Energy, 38 (5), 341-351, 1987.*
11. Edigo, M.A. ve Lorenzo, E., *The sizing of stand-alone PV systems : a review and a proposed new method, Solar Energy Materials and Solar Cells, 26, 51-69, 1992.*
12. Rosenblum, L., *Bölüm 2 : Photovoltaic System Design, Solar Energy in Agriculture, (Energy in World Agriculture Serisi, Ed : Parker, B.F.), Elsevier Science Publishing Co., Newyork, 1991.*
13. Savaş, S., *Soğuk Depoculuk ve Soğutma Sistemlerine Giriş, Cilt 1., Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa, 1987.*
14. Kılıç, A. ve Öztürk, A., *Güneş Enerjisi, Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul, 1983.*
15. Siemens, *Solar Energy Products Catalog and Brochures, Germany, 1996.*
16. Yuasa, *Stationary Type Lead-Acid Battery Catalog and Price List, U.K, 1992.*
17. Mutlu, *Mutlu Aküleri Broşür ve Katalokları, 1996.*
18. Or Elektronik, *Or Elektronik Regülatör, İnvvertör ve Transformatörleri Broşür ve Kataloğu, İskenderun, 1996.*
19. T.E.D.A.Ş., *Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi, Elektrik, Proje ve Tesis Birim Fiyat Kitabı, Ankara, 1996 .*



SAW-GIN ÇİRCİR MAKİNASI PERFORMANS ARAŞTIRMASI-TEORİK YAKLAŞIM

Erdem KOÇ ve Alper YATÇI

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

ÖZET : *Saw-Gin çirçir makinalarında lif pamuk, Roller-Gin makinalarındaki rulo yerine testere ile çekilerek kütlü pamuktan ayrılmaktadır. Çirçirlama işlemi silindirik bir tambur üzerinde dizilmiş bulunan çok sayıdaki testere ve sabit kaburgalar (ızgaralar) arasında gerçekleşir. Bu çalışmada Saw-Gin çirçir makinası ünitelere ayrılarak, çalışma prensibi teorik olarak incelenmiştir. Separatör (kütlü pamuk sevk ünitesi) için teorik modeller oluşturulmuştur. Bu modeller yardımıyla boyutsuz sistem parametreleri elde edilmiştir. Bu parametrelerin makina çalışmasına veya performansına etkileri araştırılmıştır.*

PERFORMANCE INVESTIGATION of SAW-GIN GINNING MACHINES-THEORETICAL APPROACH

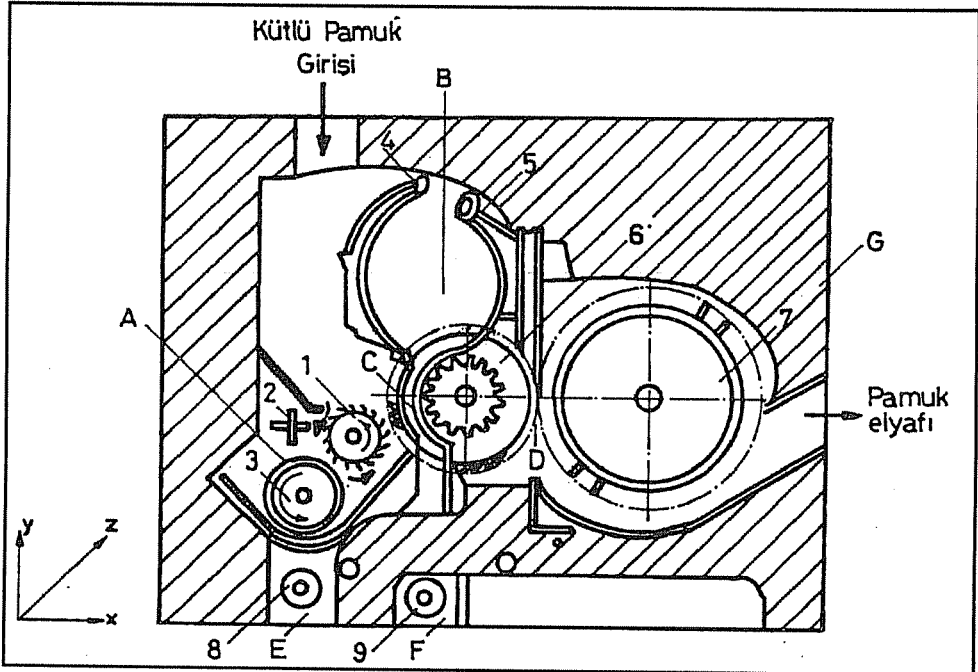
ABSTRACT : *Cotton fibers are seperated from the raw cotton by Saw-Gin machines instead of rollers in Roller-Gin machines. The ginning process is performed between the number of ribs and saw situated on the cylindrical rotor. In this study, the working principle of Saw-Gin ginning machine has been investigated by considering different units. Theoretical models for seperator have been developed. With the help of these models, the non-dimensional system parameters have been obtained. The effect of these parameters on the machine performance and working cycle has been examined.*

1. GİRİŞ

Pamuk yetiştirilmesinde hasadın yapılması ile tarımsal işlemler son bulmaktadır. Pamuk tarladan çiğdi ile beraber toplanmaktadır. Bu şekilde toplanan pamuk, kütlü pamuk olarak adlandırılmaktadır. Kütlü pamuklar bazı işlemlere tabi tutulurlar. Bunlar arasında çırçırılama işlemi (kütlü pamukların lif ve çiğitlerinin birbirinden ayrılması) pamuğun değerlendirilmesinde önemli bir işlem olarak yer almaktadır.

Çırçır işletmeleri, kütlü pamuğu lif ve çiğit olarak iki bölüme ayıran tezgah tipine göre; Roller-Gin (rulolu) tipi ve Saw-Gin (testere) tipi olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Çırçır makinalarından çıkan lif pamuğun adlandırılması da TS-1402'ye göre aynı gruplamada yapılmakta ve Roller-Gin ve Saw-Gin pamuk olarak bilinmektedir. Bu iki tip makinanın çalışma prensipleri birbirinden farklıdır. Genellikle Roller-Gin makinasının yapısı daha basittir. Bununla beraber Roller-Gin işletmelerinde insan gücüne daha fazla ihtiyaç duyulur. Saw-Gin makinası ise daha karmaşık bir yapıya sahiptir.

Saw-Gin çırçır makinalarında lif pamuk, Roller-Gin'deki rulo yerine testere ile çekilerek ayrılmaktadır. Çırçırılama işlemi sonunda testere dişleri arasında kalan elyaf, bir sıyrıcı ile testere dişleri üzerinden alınır. Sıyrıcının tipine göre fırçalı ve havalı sistem olmak üzere iki tipi mevcuttur. Yüksek kapasiteli makinalar için fırçalı tip tercih edilmektedir. Şekil-1 tipik bir Saw-Gin çırçır makinasını göstermektedir (1).



Şekil 1. Saw-Gin Çırçır Makinası.

Şekil-1'den de görüldüğü gibi, Saw-Gin çirçir makinası başlıca 7 kısımdan meydana gelmektedir. Bunlar; temizleme ünitesi (A), kütlü pamuk biriktirme bölgesi (B), çirçirlama işleminin yapıldığı ünite (C), lifin testereler üzerinden alındığı ünite (D), çığit taşıyıcı ünite (E), yabancı madde taşıyıcı ünite (F) ve makina gövdesidir (G), Kütlü pamuk, besleyiciden Saw-Gin çirçir makinasının temizleme ünitesine gelir. Bu ünite, ön kaburga (4), döner iğneli fırça (1), döner fırça (2) ve döner testere (3)'den oluşmaktadır. Ünitenin görevi, kütlü pamuk içerisindeki yabancı maddeleri ayırmak ve testerele (6) düzenli kütlü pamuk akışını sağlamaktır. Kütlü pamuk (1) nolu eleman ile çirçirlama bölgesine (testereler (6) ve ana kaburgalar (5) arasına) doğru sevk edilir. Kütlü pamuktan ayrılan yabancı madde taşıyıcı helezon (9) ile makinadan uzaklaştırılır. Çirçirlama ünitesinde çığidinden ayrılan elyaf testere dişleri üzerinde D ünitesine taşınır. Bu ünite bir döner fırçadan (7) oluşmaktadır. Ok yönünde dönmekte olan fırça, testere dişleri üzerindeki elyafı sıyrarak, çıkışa sevk eder. Testere ve ana kaburgalar arasından geçemeyen çığit ise çığit taşıyıcı helezon (8) üzerine düşer. Çığit, taşıyıcı ünite (E) yardımıyla makinadan uzaklaştırılır.

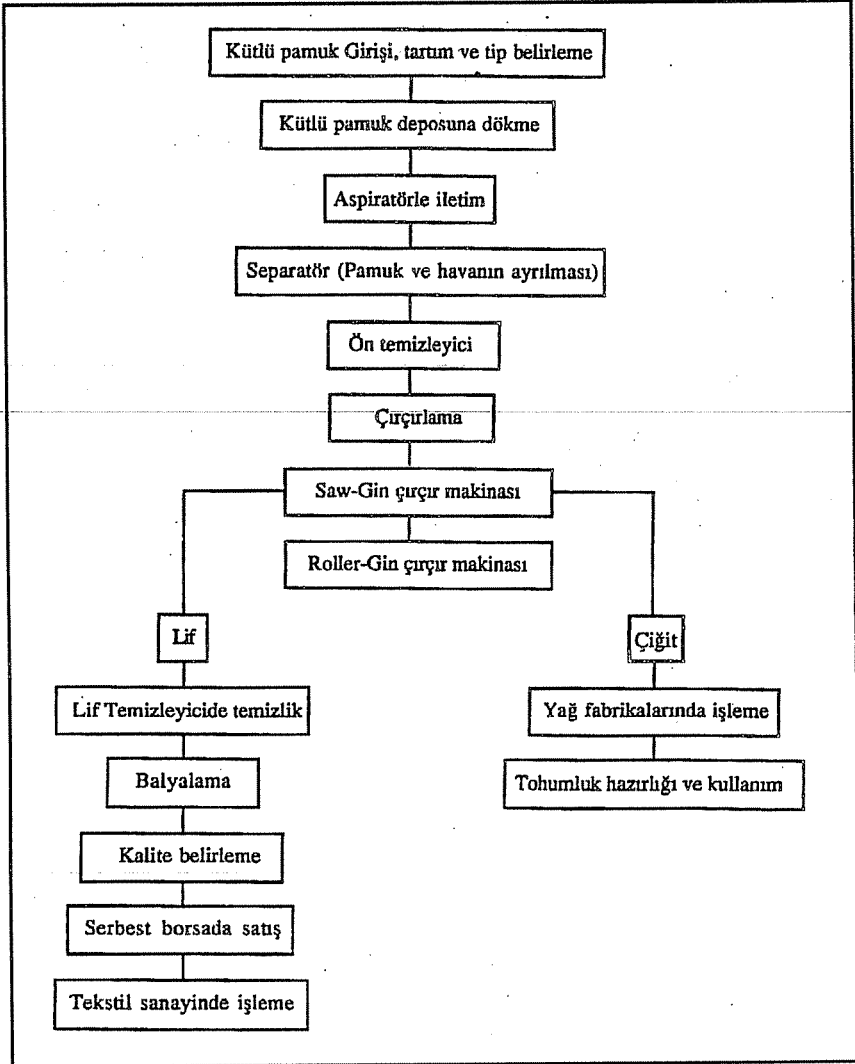
Çirçir tesislerinde işlem akışı Şekil-2'de görülmektedir. Bu çalışmada Saw-Gin çirçir makinası performansına etki eden seperatör (kütlü pamuk sevk ünitesi) çalışma esasları geliştirilen teorik modellerle analiz edilmiştir. Bu modeller ve geometrik büyüklükler yardımıyla boyutsuz çalışma da yapılmış ve boyutsuz sistem parametreleri elde edilmiştir. Bu parametrelerin makinanın çalışmasına olan etkileri araştırılmıştır.

2. SAW-GİN TESİSİ

Şekil-3 Saw-Gin tesisindeki çeşitli üniteleri göstermektedir. 1 nolu ünite kütlü pamuğun depodan vakum yardımıyla alınıp Saw-Gin tesisine getirildiği seperatör ünitesidir. Bu ünitenin temel elemanları Şekil-4'de gösterilmiştir. Kütlü pamuk aspiratör sistemi ile depodan çekilerek işletmeye taşınır. Pamuk-hava karışımının ayrıştırılması gerekli olduğundan pnömatik sistemle depodan çekilen pamuk öncelikle seperatöre sevk edilir. Kütlü pamuk önce seperatörden geçer. Böylece hava ve ince tozlar kütlü pamuktan ayrılır. Ayrılan toz siklona, kütlü pamuk da seperatörün altında bulunan vakum vasıtası ile kütlü temizleyiciye gider.

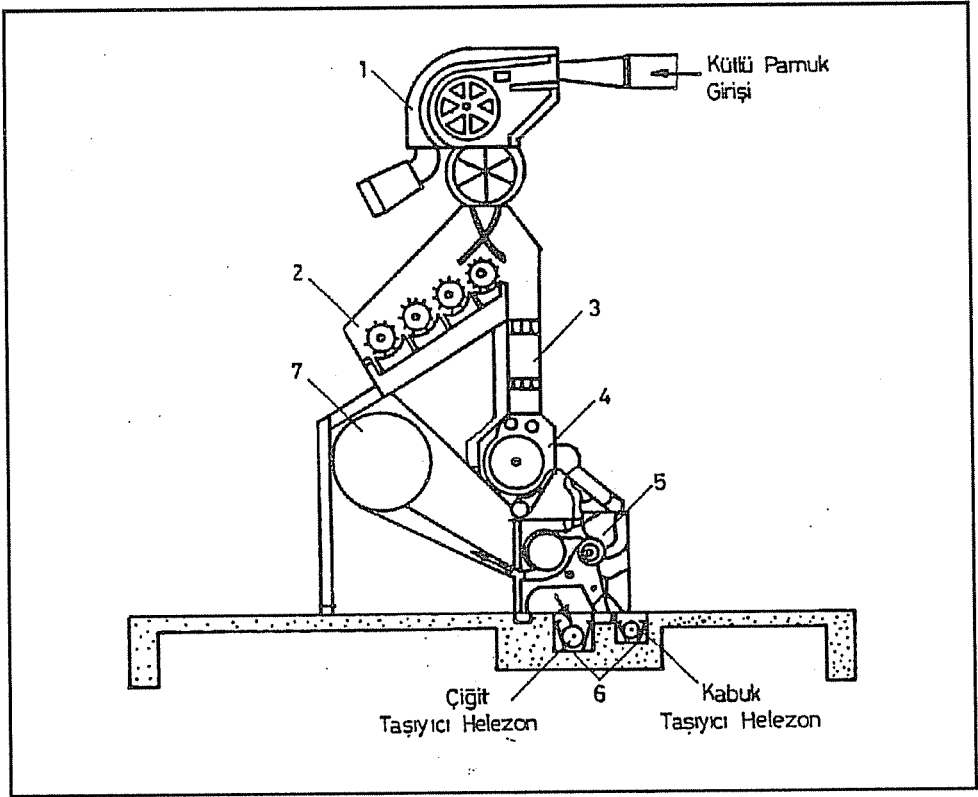
Seperatörün temel elemanları, pervane tipli taşıyıcı, silindirik bir elek ve onun altında bulunan vakumlu besleyicidir. Seperatör iki ana üniteye ayrılarak incelenebilir. I. ünite; belli bir hızda dönen rotor üzerine oturtulmuş pervane tipli taşıyıcı ve elekten oluşmaktadır. Depodan çekilen kütlü pamuk, taşıyıcı ve hava akımı yardımıyla, palet uç bölgeleri ile gövde iç yüzeyi arasında girişten eleğe doğru süpürülmektedir. Kütlü pamuk içerisinde bulunan yabancı maddeler, silindirik elek üzerinde bulunan deliklerden geçerek kütlü pamuktan ayrılmaktadır. II. ünite ise seperatörün ön temizleyici ile bağlantısını sağlayan ünitedir. Bu ünite kütlü pamuk kısmen sıkıştırılmakta ve ön temizleyiciye sevk edilmektedir. I. ünite havadan ve kısmen de

yabancı maddelerden ayrılan kütlü pamuk, II. ünite'deki paletler tarafından süpürülerek temizleyici üniteye aktarılır.



Şekil 2. Çırçır Tesisinde İş Akışı.

Şekil-4 dikkatlice incelendiğinde, seperatörün iki ünitesi arasındaki en belirgin farkın; I. ünite'de kütlü pamuğun taşıyıcı pervane uçları ile gövde iç yüzeyi arasında paletler arasına düşmeden taşınması, II. ünite'de ise paletler arasında taşınması olduğu görülür. Geometrik olarak da I. ünite II. üniteye oranla daha büyüktür. İki ünitenin uyum içinde çalışabilmesi için rotor hızlarının uyumlu olması gerekmektedir.



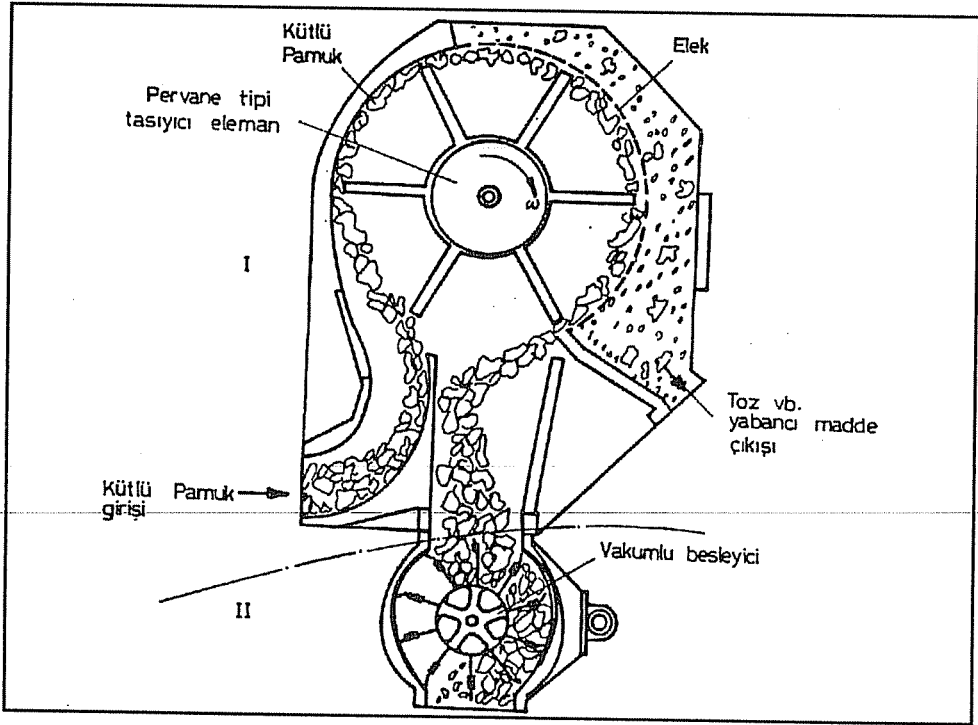
- | | |
|-------------------|------------------------------------|
| 1. Separatör | 5. Saw-Gin Çırçır Makinası |
| 2. Ön Temizleyici | 6. Çiğit ve Kabuk Taşıyıcı Helezon |
| 3. Dağıtıcı | 7. Elyaf Temizleyici |
| 4. Besleyici | |

Şekil 3. Saw-Gin Tesisi.

3. SEPERATÖR ÜNİTESİ DİNAMİK DAVRANIŞI

Mühendislik tasarımında, makina uzuvlarının hareketi, genellikle kinematik analizle önceden belirlenir. Bu durumda, makina elemanlarının önceden belirlenen hareketlerini meydana getirecek kuvvet ve momentlerin bulunması problemi ortaya çıkar. Bu kuvvet ve momentler ise dinamik kuvvetlerin analizi sonucu bulunur. Dinamik kuvvetlerin analizi için, her elemana ait açısız ve doğrusal ivmeler, kütle (m) ve kütleli atalet momentleri (I_m) dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmada, Şekil-4'te görülen I nolu seperatör ünitesinin dinamik davranışı incelenmiştir. Üniteye yer alan, pervane tipi taşıyıcı eleman, güç ünitesinden aldığı tahrik ile kütlü pamuğu süpürmektedir. Bu işlem makina gövdesi ile taşıyıcı



Şekil 4. Seperatör ve Yardımcı Elemanları.

elemanın palet uçları arasında gerçekleşmektedir. I nolu üniteye tahrik veren güç ünitesi, üzerine gelen yükü (pervane tipi taşıyıcı eleman ve kütü pamuk kütlesi) yenmesi gerekmektedir. Şekil-5, I nolu seperatör ünitesi için şematik tahrik modelini göstermektedir. Şekilden de görüleceği üzere elektrik motoru milinden alınan tahrik, kayış-kasnak ile belli bir i çevrim oranında yüke aktarılmaktadır. Şekil-6'da I nolu seperatör ünitesinin geometrik büyüklükleri gösterilmiştir.

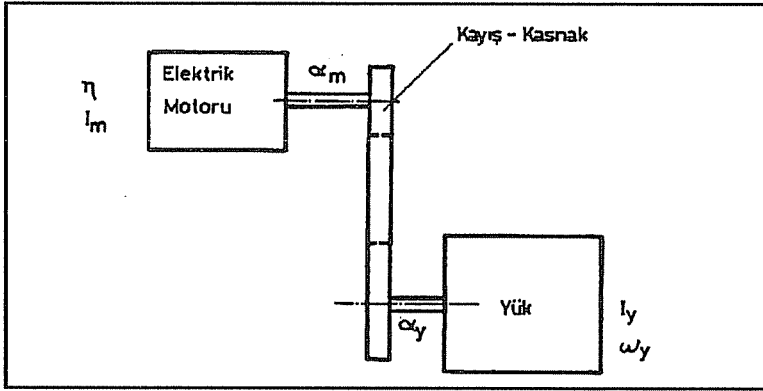
Burada I_A pervane tipi taşıyıcı elemanın kütleli atalet momenti, m süpürülen kütü pamuğun kütlesi, R taşıyıcı elemanın palet yarıçapı ve ω_A ise taşıyıcı elemanın açışal hızıdır. Sistemde palet ağırlıkları ve palet uçları ile gövde iç yüzeyi arasında taşınan kütü pamuk kütlesi, yükü oluşturmaktadır. Sistemde yükün oluşturacağı moment

$$T_y = \frac{1}{2} (I_A + m R^2) \omega_A^2 \quad (1)$$

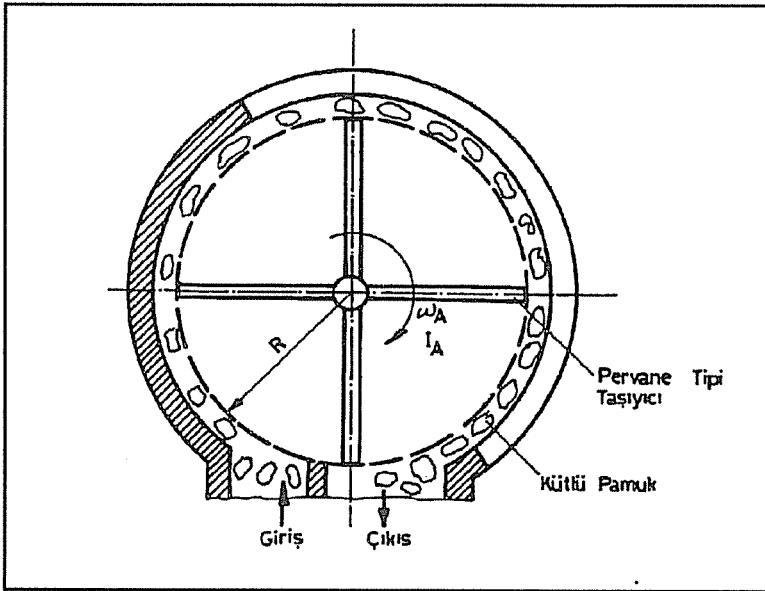
(tork), olmaktadır. Tahrik motoru yükün sebep olduğu momenti (T_y) karşılamak durumundadır. Elektrik motorunun momenti ile yük momenti arasında

$$T_m = \frac{T_y}{i} \quad (2)$$

bağıntısı mevcuttur.



Şekil 5. I Nolu Seperatör Ünitesi Şematik Tahrik Modeli.



Şekil 6. I Nolu Ünitenin Geometrik Büyüklükleri.

Sistemde kayış-kasnak ve millerin kütlelerinden doğacak kütsel atalet momentleri, yük ve elektrik motorunun kütsel atalet momentlerine oranla küçük olduğundan, ihmal edilmiştir. Bu kabul ile sistemin hareket denklemi;

$$\eta T_m i - T_y = I_e \alpha_y \quad (3)$$

şeklinde olacaktır. Burada η motorun verimi, α_y yükün açısal ivmesi ve I_e de sistemin eşdeğer atalet momentidir. Sistemde elektrik motorunun, paletlerin ve kütlü pamuğun

kütlesel atalet momenti eşdeğer yükü oluşturmaktadır. Sistemin eşdeğer kütlesel atalet momenti,

$$I_e = I_m i^2 + I_A + m R^2 \quad (4)$$

şeklinde tarif edilmiştir. Eşitlik (1), (3) ve (4) birlikte değerlendirildiğinde, sistemin moment eşitliğini veren ifade,

$$\eta T_m i - \frac{1}{2} (I_A + m R^2) \omega_A^2 = (I_m i^2 + I_A + m R^2) \alpha_y \quad (5)$$

olarak bulunur. Bu eşitlik yeniden değerlendirildiğinde ($T_m = I_m \alpha_m$ alınıp I_A ile işlem yapıldığında) m kütlü pamuk kütlelerini veren ifade,

$$m = \frac{\frac{I_m}{I_A} (\eta \alpha_m i - i^2 \alpha_y) - \left(\frac{1}{2} \omega_A^2 + \alpha_y \right)}{\frac{R^2}{I_A} \left(\frac{1}{2} \omega_A^2 + \alpha_y \right)} \quad (6)$$

şeklinde bulunur. Burada α_m motorun açışal ivmesidir.

Boyutsuz parametrelerle çalışmanın gösterdiği kolaylık ve esneklik düşünilerek (6) eşitliği boyutsuzlaştırılmıştır. Boyutsuz pamuk kütlesi,

$$\bar{m} = \frac{\frac{I_m}{I_A} \left(\eta \frac{\alpha_m}{\alpha_y} i - i^2 \right) - \left(\frac{1}{2} \frac{\omega_A^2}{\alpha_y} + 1 \right)}{\left(\frac{1}{2} \frac{\omega_A^2}{\alpha_y} + 1 \right)} \quad (7)$$

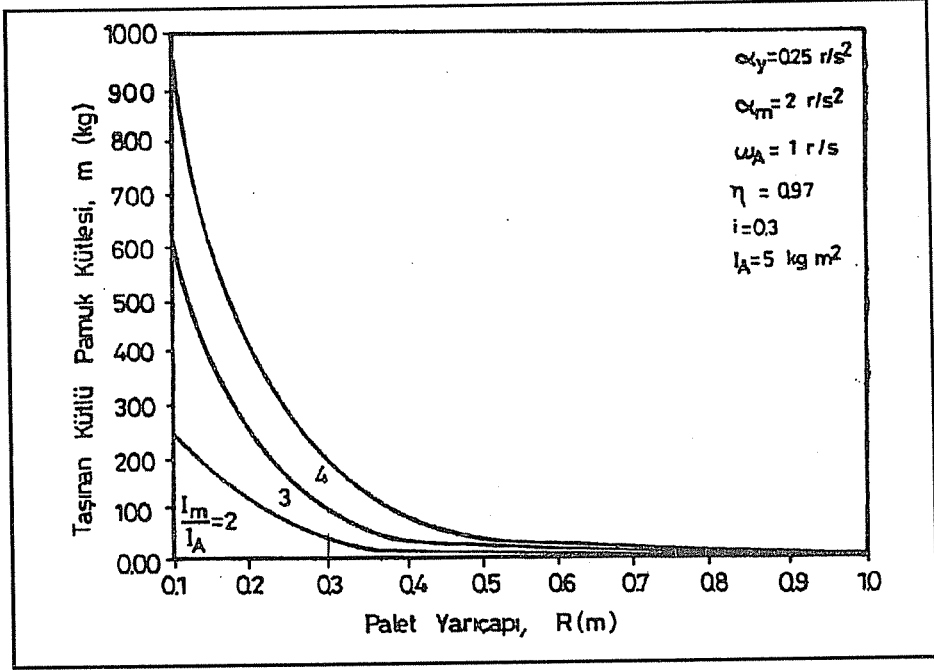
olarak elde edilmiştir. Burada boyutsuz kütlü pamuk kütlesi $\bar{m} = m R^2 / I_A$ şeklinde tanımlanmıştır.

4. TEORİK NETİCELER VE TARTIŞMA

Sistemin dinamik davranışının analizinde son derece önemli bir parametre olan kütlü pamuk kütlelerinin sistem parametrelerine göre değişimi teorik olarak incelenmiştir.

Şekil-7 değişik I_m / I_A oranı değerlerinde palet yarıçapının artışıyla kütlü pamuk kütlelerindeki değişimi göstermektedir. Çalışma parametreleri sisteme uygun olarak $\alpha_y = 0.25 \text{ r/sn}^2$, $\alpha_m = 2 \text{ r/sn}^2$, $\eta = 0.97$, $i = 0.3$, $\omega_A = 1 \text{ r/sn}$ ve $I_A = 5 \text{ kgm}^2$ şeklinde seçilmiştir. R palet yarıçapı 0.1 ile 1 m değerleri arasında değiştirilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, R'nin 0.3 m değerine kadar taşınan kütle değerinde ani bir düşüş bu değerden sonra ise yavaş bir düşüş gözlenmektedir. I_m / I_A değerinin artışı, seçilmiş elektrik motorunun verebileceği torkun (momentin) arttığını ifade ettiğinden, bu değer

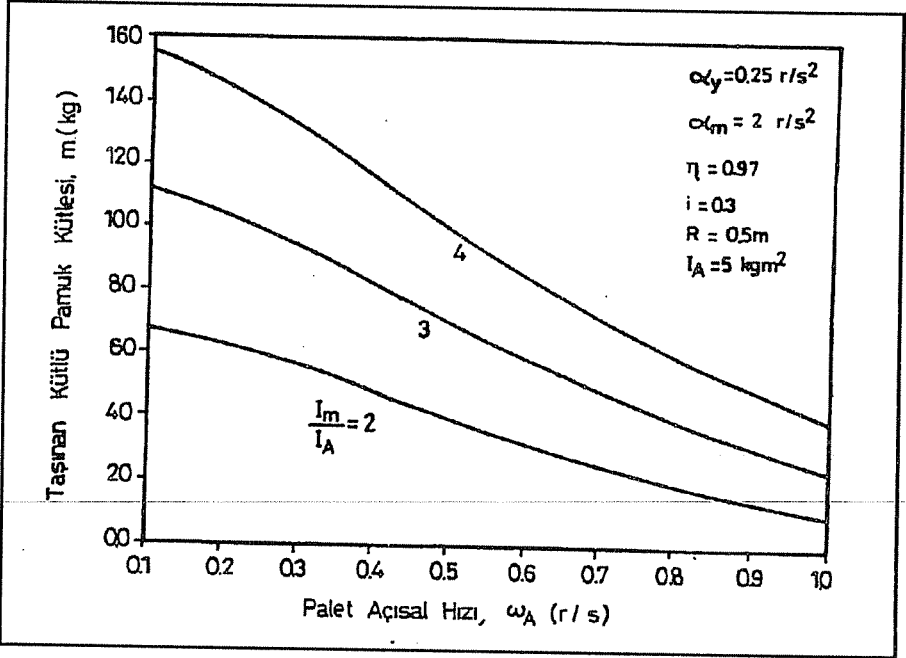
artışı taşınan pamuk kütlelerini de artırmaktadır. Seçilmiş bir elektrik motoru momentinde, R'nin artırılması, taşınması gereken pamuğun oluşturacağı atalet momentini artırmaktadır. Elektrik motorunun vereceği moment ise seçilmiş değer ile sınırlı olduğundan, sistemde taşınan pamuğun kütlelerinde düşüş gözlenmektedir. Seçilmiş $I_m/I_A=3$ oranında, R'nin 0.3 m değerine karşılık 100 kg pamuk süpürülürken, R'nin 0.5 m değerine karşılık bu değer 30 kg'a düşmektedir.



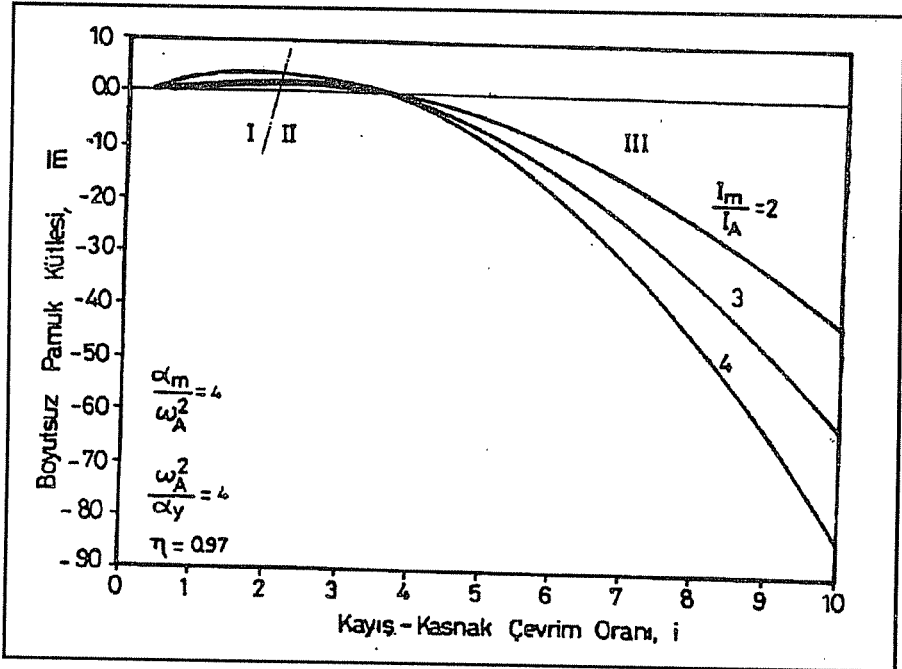
Şekil 7. Kütlü Pamuk Kütleleri ile Palet Yarıçapı Arasındaki Değişim.

Şekil-8 değişik boyutsuz atalet momenti oranında palet açılma hızı ω_A 'nın artışı ile kütledeki değişimi göstermektedir. Palet açılma hızının artışı ile taşınan pamuğun kütlelerinde bir azalma görülmektedir. ω_A 'nın artmasıyla palet ile makina gövdesi arasında daha fazla kütlü pamuk gelecektir. Bu nedenle de taşınacak kütlü pamuk kütlelerinde azalma olacaktır. $I_m/I_A=3$ için $\omega_A=0.2$ r/sn değerinde $m=112$ kg iken, açılma hızının 0.3 r/sn değerinde $m=98$ kg değerine düşmektedir. Bu durumda toplam yük artacağından kütlü pamuklar tam anlamıyla paletler tarafından süpürülemeyecektir. Dolayısıyla taşınan kütlü pamukta bir azalma görülecektir.

Şekil-9, değişik I_m/I_A değerlerinde kayış-kasnak çevrim oranı i 'nin artışı ile boyutsuz pamuk kütlelerindeki değişimi göstermektedir. i 'nin 1'den küçük değerleri için kayış-kasnak ünitesinin sistemde bir hız düşürücü, 1'den büyük i değerleri için de bir hız



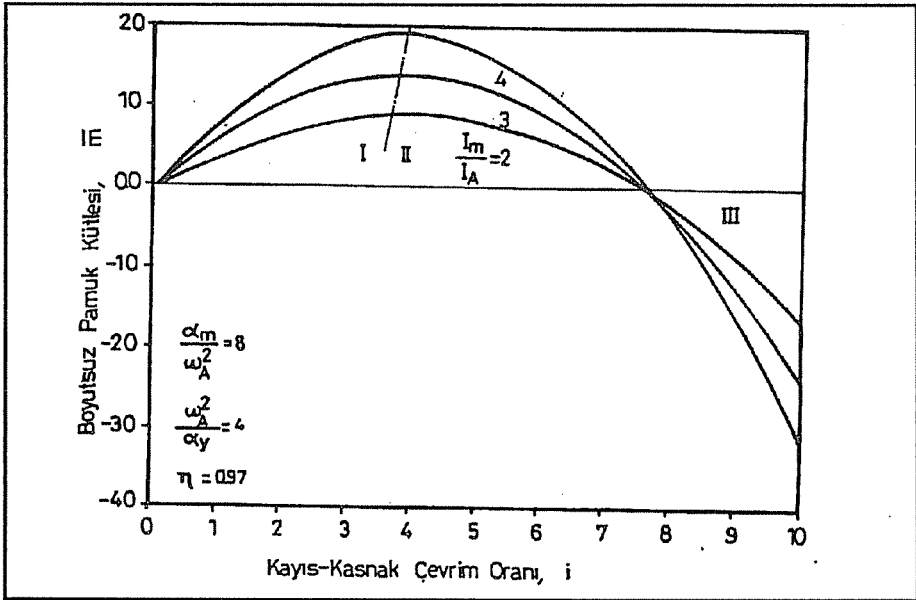
Şekil 8. Kütü Pamuk Kütlesi ile Palet Açıl Hızı Arasındaki Değişim.



Şekil 9. Boyutsuz Pamuk Kütlesi-Kayış-Kasnak Çevrim Oranı Değişimi.

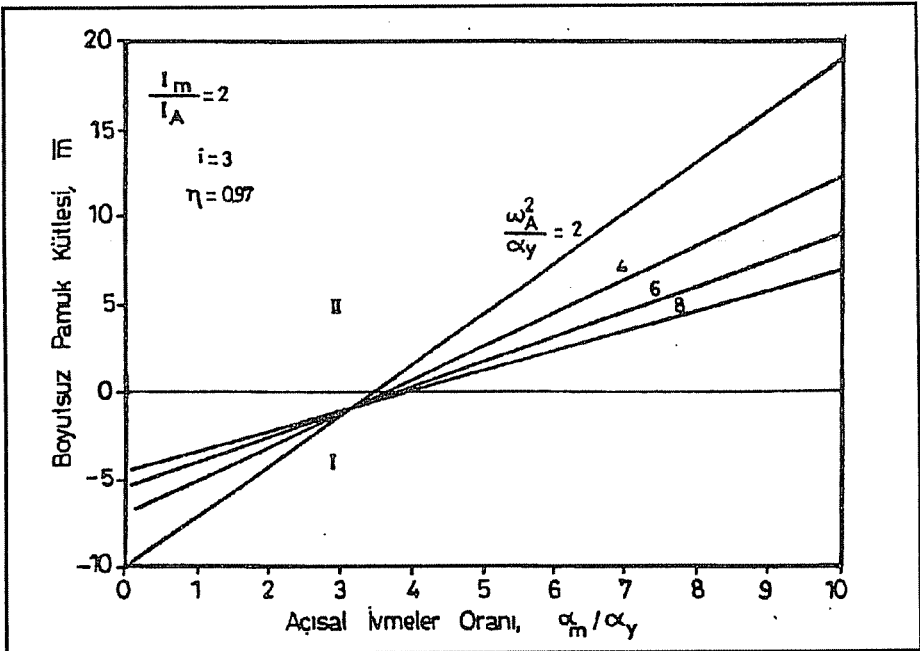
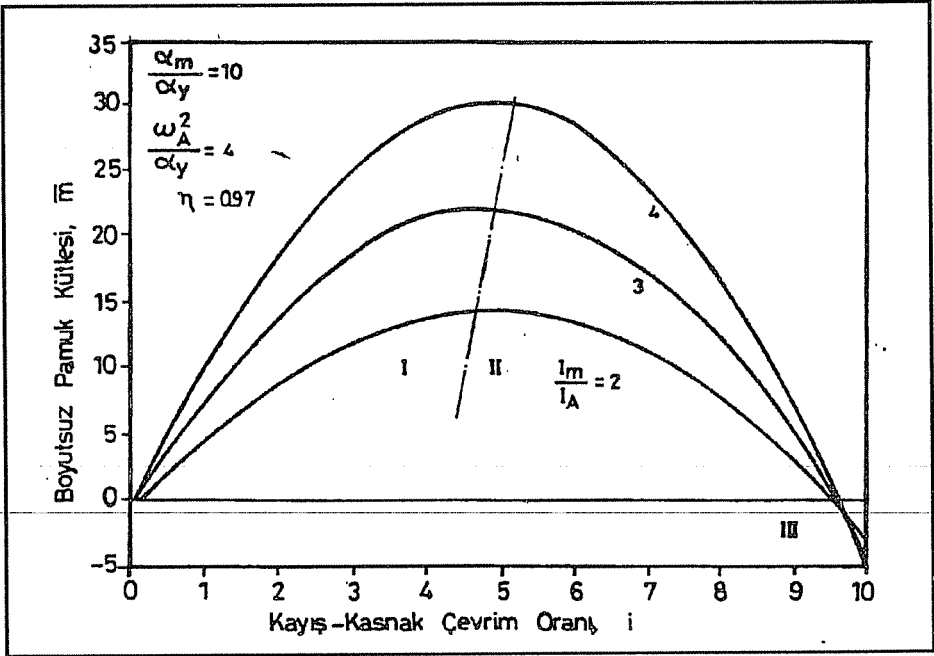
yükseltici olarak görev yaptığı durumlar birlikte incelenmiştir. i çevrimi oranının artışı ile boyutsuz kütle önce artış gösterirken, çevrim oranının belli bir değerinden sonra azalma göstermektedir. Artış gösteren bölge I ve azalmanın olduğu bölge II nolu bölge olarak gösterilmiştir. I nolu bölgede sistemde taşınan pamuğun kütleğinde gözlenen artış, bir limit değerden sonra azalma eğilimi göstermektedir. i 'nin 2'den büyük değerlerinde ise boyutsuz kütle, negatif yönde bir artışı gözlenmektedir. III nolu bölge ise teorik kütle, negatif değerlere ulaştığı bölgedir. Burada negatif değerlerin elde edilmiş olması, sistem tasarımında uygun parametrelerin seçilmediğini ifade etmektedir. Bu nedenle sistem tasarımında mümkün olduğunca I nolu bölge sınırları içerisinde kalınmalı, III. bölgeye isabet eden sistem parametre değerlerinden kesinlikle kaçınılmalıdır.

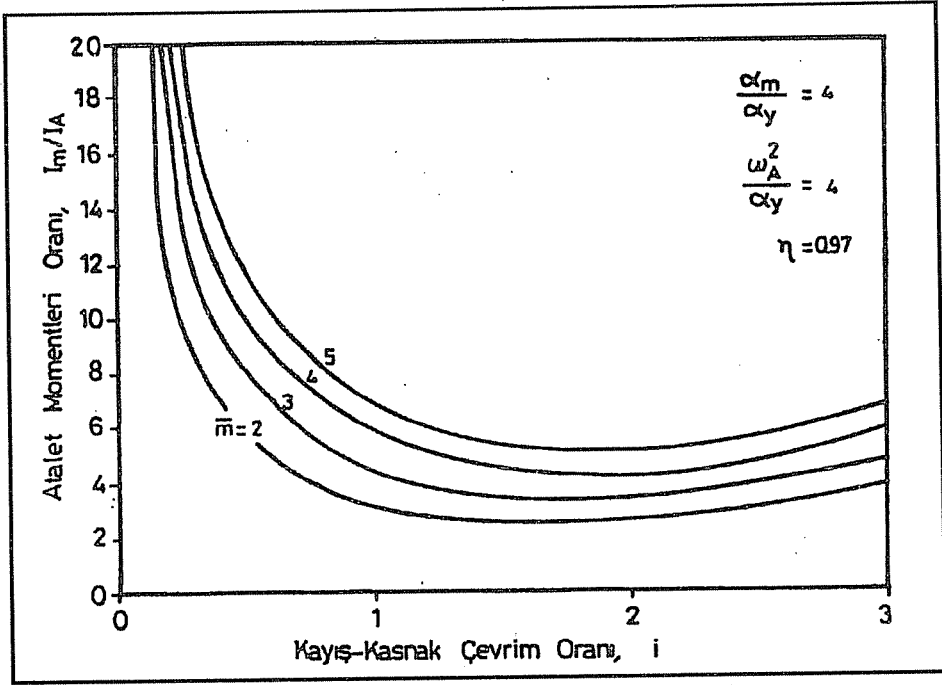
Yük açısız ivmesi (α_y)değerinin sabit tutulup, sistemin çalışmasında önemli bir parametre olan α_m değeri artırılarak dinamik davranış incelenmiş olup, Şekil 10 ve 11'deki değişimler elde edilmiştir. Eğriler incelendiğinde Şekil-9'da elde edilen eğri formunun değişmediği, sadece kütle, sıfır yapan i değerinin değiştiği gözlenmiştir. $\alpha_m / \alpha_y = 4$ için kütle, sıfır yapan i değeri 3.2 iken $\alpha_m / \alpha_y = 8$ ve 16 için bu değer sırasıyla 7.5 ve 9.5 olmaktadır.



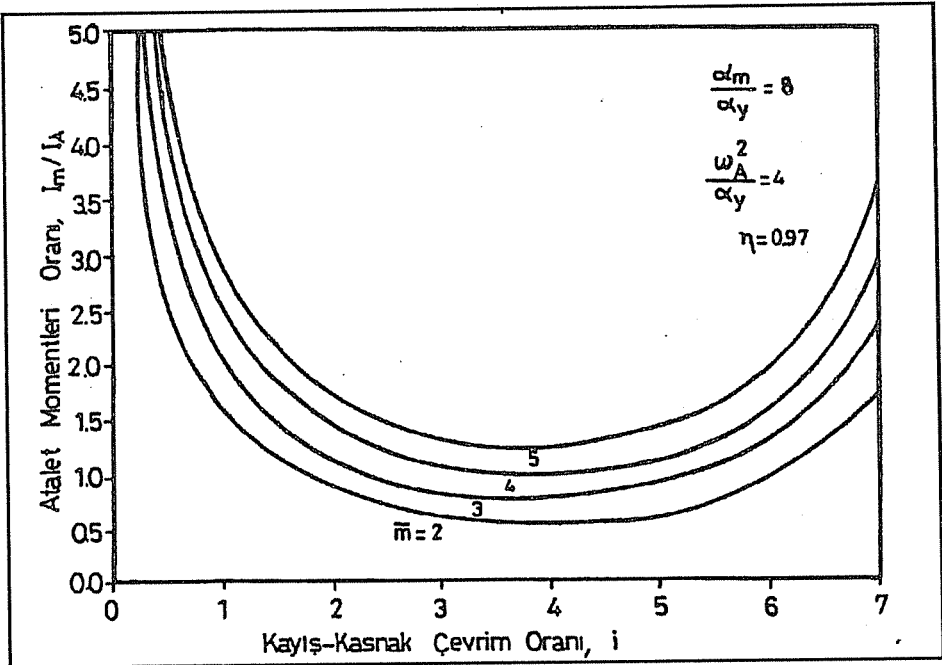
Şekil 10. Boyutsuz Pamuk Kütle-i Kayış-Kasnak Çevrim Oranı Değişimi.

Şekil-12 kütlü pamuk debisinin, değişik ω_A^2 / α_y değerlerinde açısız ivmeler oranı ile değişimini vermektedir. Küçük ivmeler oranında sistem I nolu tercih edilmeyen tasarım bölgesi değerlerini almaktadır. Tasarım parametreleri değerlendirilirken II nolu bölge





Şekil 13. Aalet Momentleri Oranı ile Kayış-Kasnak Çevrim Oranı Değişimi.



Şekil 14. Aalet Momentleri Oranı ile Kayış-Kasnak Çevrim Oranı Değişimi.

sınırları içerisinde kalınmalıdır. ω_A^2 / α_y 'nin artan değerleri için de taşınan pamuk kütlelerinde bir azalma gözlenmektedir. Bu durum motorun yenmek zorunda olduğu yük değerinin artmasından kaynaklanmaktadır.

Atalet momentleri oranlarının çevrim oranıyla değişimi değişik kütlü pamuk kütlelerinde incelenmiş olup, Şekil-13 ve 14'teki değişimler elde edilmiştir. Çevrim oranının belli bir değerine kadar I_m / I_A oranı düşmekte ve sonra artış göstermektedir. Bu durum bütün kütlü pamuk kütle değerlerinde gözlenmektedir. Seçilmiş bir seperatör rotoru atalet momentinde ve kayış-kasnak sisteminin redüktör olarak kullanılmasında elektrik motoru atalet momenti azalırken, hızlandırıcı fonksiyonu yerine getirilirken beklendiği gibi moment artmaktadır. Bu eğriler değerlendirilerek çırçır tesisi kapasitesine göre elektrik motoru seçimi yapılmalıdır.

5. SONUÇ

Seperatör ünitesinin dinamik davranışı analiz edilerek, çevrim oranı, atalet momenti, açısal hız ve açısal ivme parametrelerinin sistemin çalışmasına olan etkileri teorik olarak incelenmiştir. Çevrim oranının artışı ile taşınan kütlü pamuk kütlesi için üç ayrı bölge oluşmaktadır. Bunlar, kütlü pamuğun kütlelerinde artış olan I. bölge, kütlü pamukta azalmanın görüldüğü II. bölge ve kütlü pamuğun taşınmadığı III. bölgedir. II. ve III. bölgeler seçilmiş sistem parametrelerindeki olumsuzluğu ifade etmektedir. Sistem büyüklükleri seçilirken I. bölge sınırları içerisinde kalınması bu çalışmada elde edilen en önemli sonuçtur.

Seperatör ünitesi geometrik büyüklüklerinin ve çalışma parametrelerinin çırçırılacak kütlü pamuk miktarına etkileri teorik olarak incelenmiştir. Teorik eğriler değerlendirilerek çırçır tesisi kapasitesine göre elektrik motoru seçimi yapılabilmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Anthony, W.S., *Performance Characteristics of Cotton Ginning Machinery*, *Trans. of the ASAE*, Vol 33 (4), 1089-1098, July-August 1990.
2. Harmancıoğlu, M., *Rollerlerin ve Sawların ile Çırçırılanan Aynı Pamukların Lif ve İplik Özellikleri Üzerinde Araştırma*, Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No 305, İzmir, 1976.
3. Someren, A., *Çırçırılama Makinaları ve Çırçırılama Üzerinde Bir Araştırma*, T.C. Tarım Bakanlığı Bölge Araştırma Enst. Md., Yayın No 29, Adana, 1980.
4. Someren, A., *Pamuk Çırçırıcısının El Kitabı*, Ankara, 1980.

LEVHALI TİP ÇAPRAZ AKIŞLI ISI DEĞİŞTİRGEÇLERİNİN İNCELENMESİ

R.Tuğrul OĞULATA ve Füsun DOBA

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

ÖZET : *Günümüzde yüksek enerji fiyatları ve artan talep, enerji tasarrufunu zorunlu kılmaktadır. Bu amaçla, konutlarda ve endüstride atık enerji uygulamaları geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bu çalışmada atık enerji geri kazanım sistemlerinde verimli kullanılmaları nedeniyle, çapraz akışlı levhalı tip ısı değiştirgeci üzerinde ağırlıklı olarak durulmuştur. Çapraz akışlı levhalı tip bir ısı değiştirgeci tasarlanmış, laboratuvar şartlarında imal edilmiş ve ısı değiştirgecinde bir seri deneyler yapılmıştır.*

CROSS-FLOW HEAT EXCHANGERS AND TESTING OF ITS PLATE TYPE

ABSTRACT : *Nowadays, the high price of energy and the increase in demand lead to saving in energy. For this purpose, applications of waste energy can be used in residences and industry. In this study, plate type heat exchangers have been introduced because of its effective use in waste heat recovery systems. A cross-flow plate type heat exchanger has been investigated and manufactured in laboratory conditions and a number of experiment has been carried out on the heat exchanger effectiveness.*

1. GİRİŞ

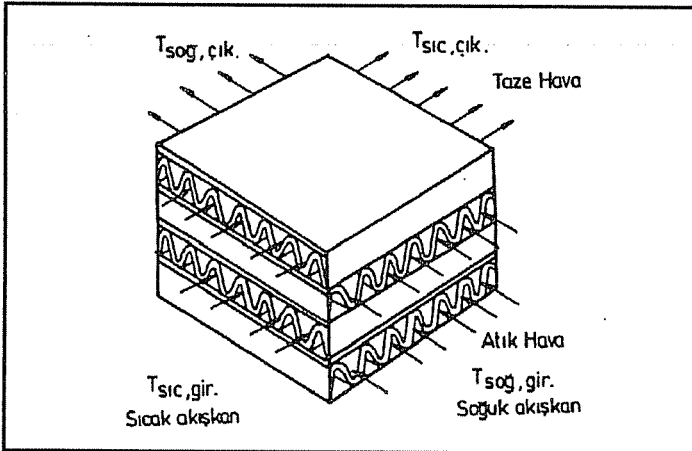
Son yıllarda ülkemizde enerji darboğazları ile beraber enerji birim fiyatlarının giderek artması, enerjide verimli kullanımı zorunlu hale getirmiştir. Bu amaçla enerjinin tüketildiği her yerde, özellikle ısı uygulamalarda kayıpların azaltılması ve enerjinin kullanılmayan bölümünü belirten ekserjinin minimuma indirilmesi, tasarrufa yönelik yapılacak uygulamalarla gerçekleştirilebilir. Atık ısı geri kazanım sistemlerinde amaç; herhangi bir işlemde enerji harcanarak belirli bir ısı ve nem seviyesine getirilen ve sonra dış ortama atılmak zorunda kalan akışkan için harcanılan enerjinin, olabildiğince çok kısmının iç ortama alınan akışkana aktarılabilmesidir (1).

Atık enerji geri kazanım sistemlerinde en önemli kısım, ısı değiştirgeçleridir. Enerji geri kazanımı için günümüzde reküperatif (doğrudan iletimli) tip ısı değiştirgeçleri uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Reküperatif tip ısı değiştirgeçlerinde sıcak ve soğuk akışkanlar katı bir yüzey tarafından ayrılmakta ve ısı sıcak akışkandan soğuk akışkana bu yüzey vasıtasıyla doğrudan iletilmektedir. Uygulama yeri ve şekline göre reküperatif ısı değiştirgeçleri pek çok şekilde dizayn edilmektedir. Son yıllarda levhalı tip ısı değiştirgeçleri atık ısı geri kazanım sistemlerinde geniş kullanım alanı bulmuştur. Levhalı tip ısı değiştirgeçleri; tekstil endüstrisinde, kurutucularda, gıda, metal ve kimya endüstrisinde, gaz türbinlerinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

2. ÇAPRAZ AKIŞLI ISI DEĞİŞTİRGEÇLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

2.1. Çapraz Akışlı Isı Değiştirgecinin Çalışması ve Konstrüksiyon Çeşitleri

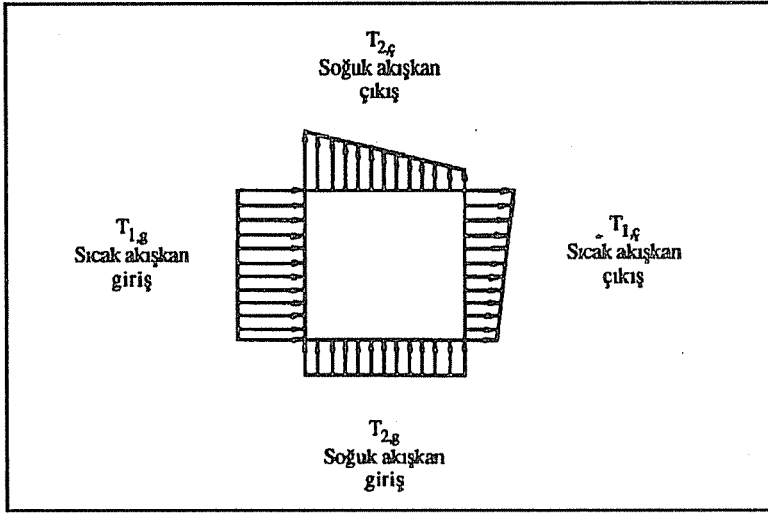
Çapraz akış prensibiyle çalışan reküperatif tip levhalı ısı değiştirgecine sahip atık ısı geri kazanım sisteminde, sistemden atılan ve sisteme alınan hava birbirine değmeyen bitişik yüzeylerden geçmekte ve bu esnada ısı transferi gerçekleşmektedir (2). Çapraz



Şekil 1. Çapraz Akışlı Levhalı Tip Isı Değiştirgeci

akışlı ısı değıştirgeçlerinde iki akışkan, biri diğere dik olacak biçimde aktığından, ısı değıştirgeci çapraz akışlı olarak isimlendirilmektedir. Şekil 1'de çapraz akışlı levhalı tip ısı değıştirgeci görülmektedir.

Şekilden görüldüğü gibi herhangi bir işlem sonucu oluşan atık hava, ısı değıştirgecinin bir yöndeki kanallarından geçerken, ısını kanal duvarları aracılığıyla diğere yöndeki kanallardan geçen taze havaya aktarmaktadır. Bu suretle atık havanın ısı yükünden yararlanmış olmaktadır. Şekil 2'de çapraz akışlı ısı değıştirgecindeki akışkanların sıcaklık değışimleri görülmektedir.

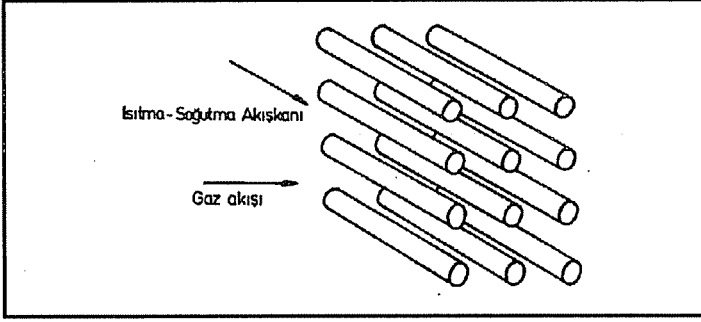


Şekil 2. Çapraz Akış İçin Sıcaklık Değışimleri

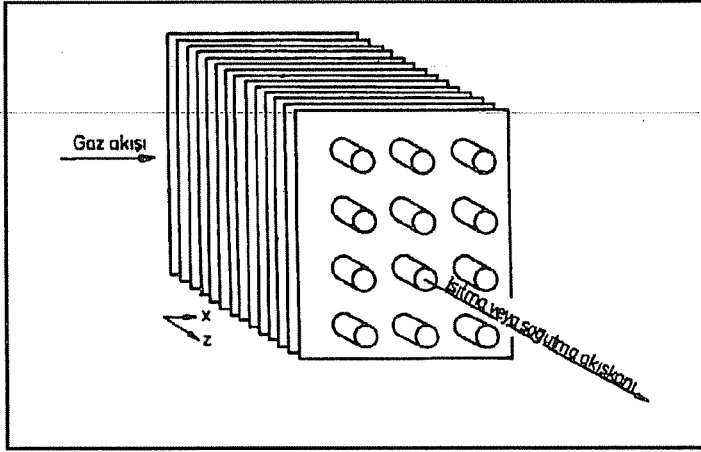
Bu tip ısı değıştirgeçleri genel olarak hava veya gaz ısıtma-soğutma işlemlerinde kullanılmaktadır. Çapraz akışlı ısı değıştirgeçleri kullanım yerine göre değışik konstrüksiyonlarda imal edilebilmektedir. Şekil 3'te akışkanlardan birinin, birbirinden ayrı kesitlerden geçtiği bir konstrüksiyon tipi görülmektedir. Isı değıştirgeci, boru demetine yönlendirilmiş gaz ile borular içerisinden geçen ısı yüklü diğere akışkan arasında görev yapmaktadır (3).

Diğere bir konstrüksiyon tipi de Şekil 4'te gösterilmektedir. Bu tip ısı değıştirgecinde gaz akışı kanatçıklı boru demetine doğru olmakta, ısı yüklü akışkan ise kanatçıklar arasına yerleştirilmiş ayrı kanallardan (boru veya değışik kesitli kanallar) geçmektedir. Özellikle iklimlendirme sistemlerinde, evaporatör ve kondansörlerde ısı transfer cihazı olarak geniş kullanım alanları bulunmaktadır (3).

Çapraz akışlı ısı değıştirgeçleri, ısı transfer yüzeyi büyüklüğüne göre de değışik konstrüksiyonlarda bulunmaktadır. Kompakt ısı değıştirgeci denilen bu tip ısı değıştirgeçlerinde yüzey alanı yoğunluğu (β) $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 'ten büyük olmaktadır. Bu, ısı

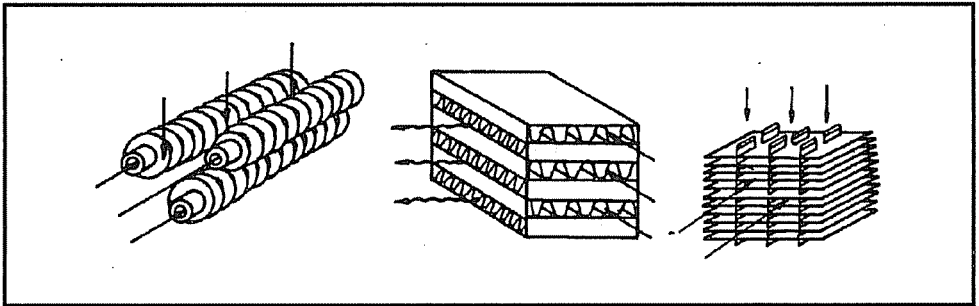


Şekil 3. Borulu Tip Demetli Çapraz Akışlı Isı Değiştirgeci



Şekil 4. Boru-Levha Bağlantılı Çapraz Akışlı Isı Değiştirgeci

değiştirgeci birim hacminde, büyük ısı transfer yüzeyinin olması anlamını taşımaktadır (4). Şekil 5'te kompakt ısı değiştirgeçleri için ısı transfer matrisi (Isı transfer kütlesi) çeşitleri görülmektedir (5).



a. Dairesel boru kanaflı matris b. Düz levha kanallı matris c. Yassı (düz) boru kanaflı matris

Şekil 5. Kompakt Isı Değiştirgeçlerinde Matris Çeşitleri

2.2. Çapraz Akışlı Isı Değişirgeçlerinde Malzeme Seçimi

Rekuperatif tip çapraz akışlı ısı değişirgeçlerinde, ısı transferine maruz kalan akışkanlar birbirine karışmamaktadır. Bu tip ısı değişirgeçleri bir çok şekil, malzeme, boyut ve akış biçiminde yapılabilmektedir. Isı transfer elemanı olarak kullanılan malzeme; kağıt, cam, seramik ve metaller olmak üzere çok çeşitli olabilmektedir. Malzeme seçiminde ısıl iletkenlik, maliyet, hafiflik, yüzey düzgünlüğü ve korozyona dayanıklılık gibi kriterlerin yanında, atık havanın şartları da gözönünde bulundurulmaktadır. Alüminyum, korozyon direnci, imalat kolaylığı, ısı transfer özelliği, yanmama, dayanıklılık ve maliyet nedeniyle en yaygın kullanılan levha malzemesidir. Çok yüksek sıcaklıktaki atık gazlardan yararlanılmak istenildiğinde ise seramik malzemeler tercih edilmektedir. Yoğuşma ihtimalinin olabileceği yerlerde ince plastikler, kirli ve korozyon yapıcı atık gazların kullanıldığı yerlerde de cam malzemeler, düşük maliyetli uygun çözümler olarak kullanılabilir (6). Sıcaklığın 200 °C'yi geçmesi halinde ve maliyet fazlalığının gözardı edildiği durumlarda da çelik alaşımları kullanılabilir (7).

Isı değişirgeçlerinde, bazı durumlarda aynı konstrüksiyon içinde farklı malzemeler de kullanılabilir. Birlikte genellikle malzemelerin ayrı ısıl genişmeleri problemlerinden sakınmak için, aynı malzemedan imal edilmeleri tercih edilmektedir. Egsoz sıcaklığının 220 °C'nin altında olması durumunda ısı değişirgeci genel olarak alüminyum malzemedan imal edilmektedir. Alüminyum üniteler için korozyon ve temizleme probleminin bulunduğu durumlarda ise, maliyeti fazla olmasına rağmen bakır malzeme tercih edilmektedir. Sıcaklığın 200 °C'yi geçtiği durumlarda da genellikle çelik malzeme ile imalat gerçekleştirilmekte ve yüzeylerde korozyonu önlemek için özel kaplama teknikleri kullanılmaktadır (7).

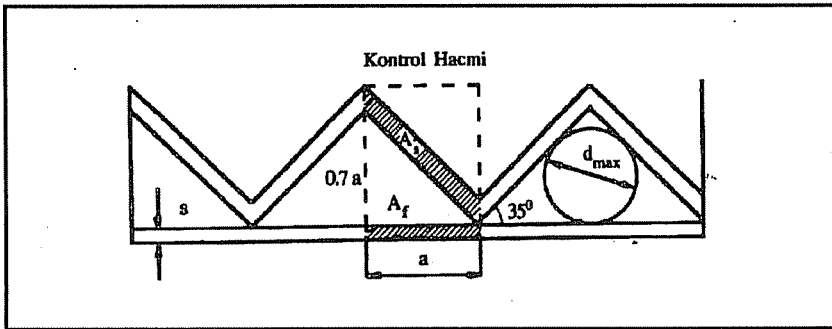
2.3. Çapraz Akışlı Levhalı Tip Isı Değişirgecinin Avantaj ve Dezavantajları

Sabit parçalardan oluşan levhalı ısı değişirgecinde, levha tabakaları ile taze ve atık hava kanalları birbirinden sızdırmaz bir şekilde ayrılmıştır. Isı transferi doğrudan sıcak atık hava ile soğuk taze hava akımı arasında gerçekleşmektedir. Hava akımları arasında yalnızca levhadan oluşan bir ısı transfer yüzeyi mevcuttur ve diğer ısı değişirgeçlerindeki gibi ikincil dirençler (sıvı pompalanması, gazların yoğuşması veya buharlaşması vb..) bulunmamaktadır (7). Basitlik, sistemin hareketli olmaması, uzun ömürlülük, düşük yardımcı enerji gereksinimi, hava akımları arasında sızıntı olmaması, emniyetli kullanıma katkıda bulunan avantajlardandır (6). Bu tip ısı değişirgeçleri; temiz ve atık hava kanallarının birbirinden tamamen ayrı olması nedeniyle, özellikle kirli ve zararlı atık havanın kullanıldığı işletmelerde oldukça önem kazanmaktadır. Bu nedenle %100 temiz havanın istendiği yerlerde çapraz akımlı levhalı tip ısı değişirgeçleri tercih edilmektedir. Bu sistemlerde genel olarak %60 dolaylarında, küçümsenmeyecek oranda bir ısı geri kazanımı sağlanmaktadır (6).

Levhali ısı değiştirgeçlerinde sıcak ve soğuk akışkanlar sürekli aynı yönde ve farklı kanallardan aktığından, özellikle atık havanın bulunduğu ve zaten dar olan kanallarda hava içindeki yabancı maddelerin birikmesine neden olmaktadır. Kanal kalınlığının ısı iletim katsayısı düşük birikintilerle artması, ısı transferini olumsuz yönde etkilemektedir. Atık havanın bir filtre ile temizlenerek ısı değiştirgeçine gönderilmesi ve sık sık temizliğinin yapılması gerekmektedir (6). Yüksek basınç düşümüne sebep veren bir sistem olduğundan, fanlara fazla yük getirir. Metre küp saat hava bazında, en çok yer tutan sistem olarak da dikkat çekmektedir (8).

3. İMALATI YAPILAN ÇAPRAZ AKIŞLI ISI DEęİŐTİRGEÇİ

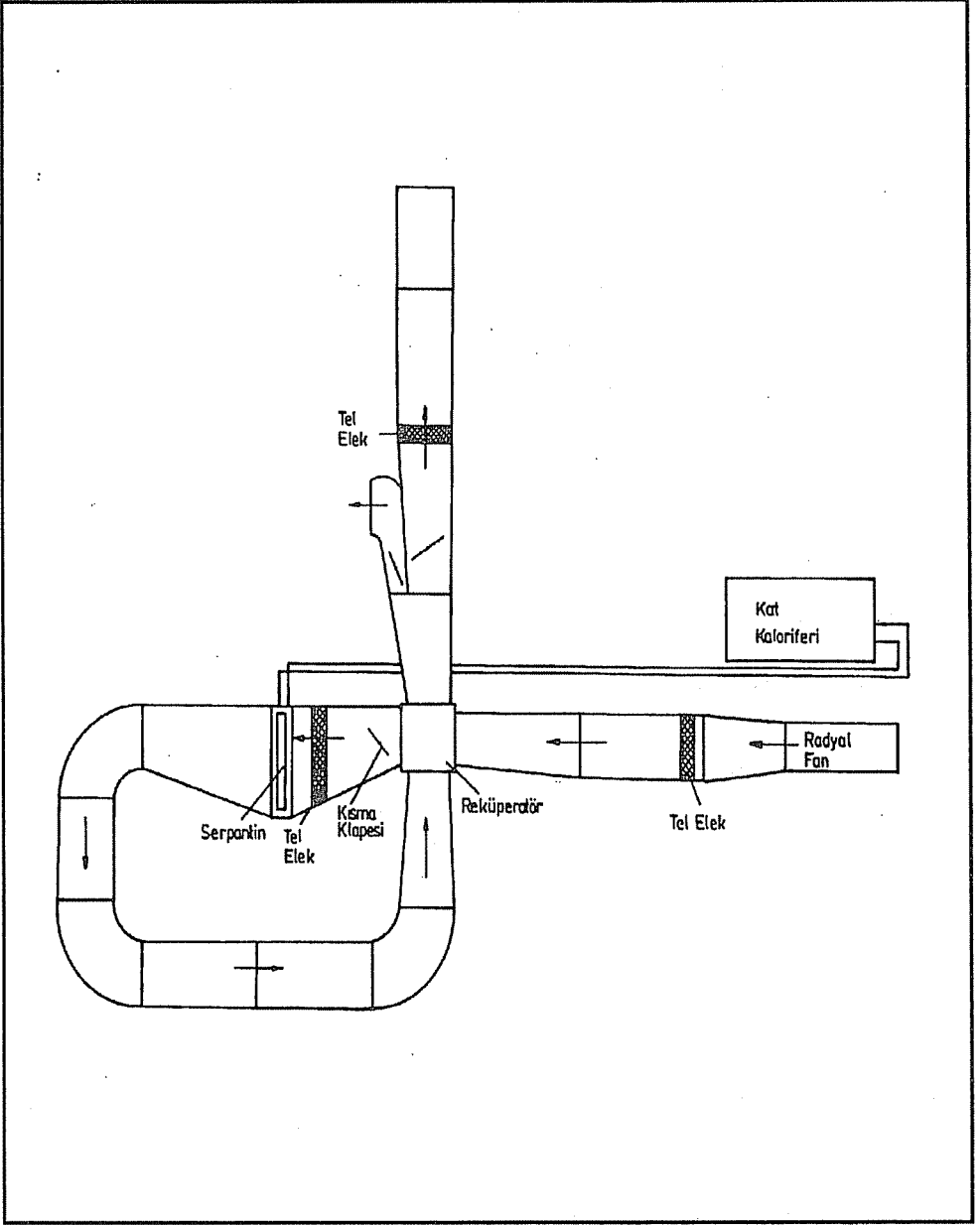
DeneySEL değerlere ulaşmak amacıyla laboratuvar şartlarında levhali tip bir ısı değiştirgeçinin tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Sözkonusu ısı değiştirgeçinde matris malzemesi olarak, 0.35 mm kalınlığında alüminyum levhalar seçilmiştir. Isı transfer kütlesi (matris) özellikle ısı transfer yüzeyini artırmak ve imalat kolaylığı nedeniyle ikizkenar üçgen profilli olarak düşünölmüştür, Şekil 6.



Şekil 6. Kanal Geometrisi

İkizkenar üçgenin taban uzunluğu $2a$ ve kenarları $1.22 a$ olup, $a=1.7$ mm olarak tasarlanmıştır (2). İkizkenar üçgen profilli levhalar, alüminyumdan düz levhalarla birbirinden ayrılarak, üst üste çapraz akış sağlayacak şekilde küp biçimli çerçeve içerisine yerleştirilerek monte edilmiştir.

İmalatı yapılan levhali tip ısı değiştirgeçinin verim değerlerini tespit etmek amacıyla, Şekil 7'de görölen deney düzeneği kurulmuştur. Deney düzeneği için gerekli olan giriş ve çıkış hava kanalları 0.7 mm kalınlıktaki galvanizli sacdan imal edilmiştir. Eşanjörtin temiz hava tarafındaki ilk kanalın içerisine 10000 kcal/h kapasiteli kat kaloriferinden gelen sıcak suyun dolaştığı serpantin yerleştirilmiştir. Kanal içinde düzgün bir hız dağılımı elde edebilmek amacıyla fan çıkışından hemen sonra ve serpantin öncesi tel elekler yerleştirilmiştir. Deney düzeneğine yerleştirilen kısma klapesi yardımıyla farklı hızlarda ölçüm yapma imkanı sağlanmıştır (2). Isı değiştirgeçinin ısı verimliliğini



Şekil 7. Deney Düzenegi

hesaplayabilmek için eşanjöre giren ve çıkan akışkanların sıcaklıkları ve hava hızları ölçülmüştür. Ölçüm yöntemi (2)'de detaylı olarak açıklanmaktadır. Deneyler kat kaloriferi su sıcaklığının 60 °C, 70 °C ve 80 °C değerleri için klape tam açık ve yarı açık konumda iken yapılmıştır. Isı değiştirgecinde, üç farklı termostat ayarı için tespit edilen etkinlik değerleri pek değişiklik göstermemekle beraber, en yüksek etkinlik klape yarı açık konumda iken yaklaşık %73, klape tam açık konumda iken de %69 olarak belirlenmiştir (2).

4. ÇAPRAZ AKIŞLI ISI DEĞİŞTİRGEÇİNDE ETKİNLİK TESPİTİ

Isı değiştirgeçlerinin performans belirlenmesinde ve konstrüksiyon dizaynında en önemli kriter olan etkinlik (verim); gerçek durumda transfer edilen ısının (Q), ideal durumda (ısıyı dirençsiz iletme halinde) transfer edilen ısıya (Q_{max}) oranı şeklinde ifade edilmektedir. Buna göre etkinlik Bayazıtoğlu ve Özışık (4) tarafından

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{max}} \quad (1)$$

eşitliği ile tanımlanabilmektedir. Eşitlikteki Q ve Q_{max} değerleri ise,

$$Q = C_{sic}(T_{1,g} - T_{1,\varphi}) = C_{soğ}(T_{2,\varphi} - T_{2,g}) \quad (2)$$

$$Q_{max} = C_{min}(T_{1,g} - T_{2,g}) \quad (3)$$

olarak hesaplanabilmektedir. Burada 1 indisi ısı değiştirgeçindeki sıcak, 2 indisi soğuk akışkanı göstermek üzere,

$$C_{sic} = (mc_p)_1 \quad (4)$$

$$C_{soğ} = (mc_p)_2 \quad (5)$$

$$C_{min} = (mc_p)_{min} \quad (6)$$

$$C^* = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (7)$$

bağıntıları verilmiştir. Burada C_{min} ve C_{max} sırasıyla C_{sic} ve $C_{soğ}$ ısı kapasitelerinden küçük ve büyük olanı sembolize etmektedir. Böylece eşitlik (1) de verilen etkinlik ifadesi,

$$\varepsilon = \frac{C_{sic}(T_{1,g} - T_{1,\varphi})}{C_{min}(T_{1,g} - T_{2,g})} = \frac{C_{soğ}(T_{2,\varphi} - T_{2,g})}{C_{min}(T_{1,g} - T_{2,g})} \quad (8)$$

şekline getirilebilmektedir. Dengeli çapraz akım hali için $C^*=1$ durumunda eşt.(8), şu şekle dönüştürülmektedir.

$$\varepsilon = \frac{(T_{1,g} - T_{1,q})}{(T_{1,g} - T_{2,g})} = \frac{(T_{2,q} - T_{2,g})}{(T_{1,g} - T_{2,g})} \quad (9)$$

Bu durumda deney düzeneği üzerinde giriş ve çıkış kanalları üzerinde yapılan hava sıcaklık ölçümleri ile laboratuvar şartlarında imalatı yapılmış levhalı tip ısı değiştirgecinin etkinlik değeri basit olarak, değişik çalışma şartlarında tespit edilebilmektedir (6).

Literatürde çapraz akım prensibiyle çalışan levhalı tip ısı değiştirgeci için, C^* ve N_{tu} parametrelerine bağlı olarak tespit edilebilen teorik hesaplamalar için önerilen ampirik eşitlik ise $C^*=1$ durumunda,

$$\varepsilon = 1 - \exp \left\{ (N_{tu})^{0.22} \left[\exp \left(-(N_{tu})^{0.78} \right) - 1 \right] \right\} \quad (10)$$

şeklinde verilmektedir (4). Burada N_{tu} transfer birimi olup,

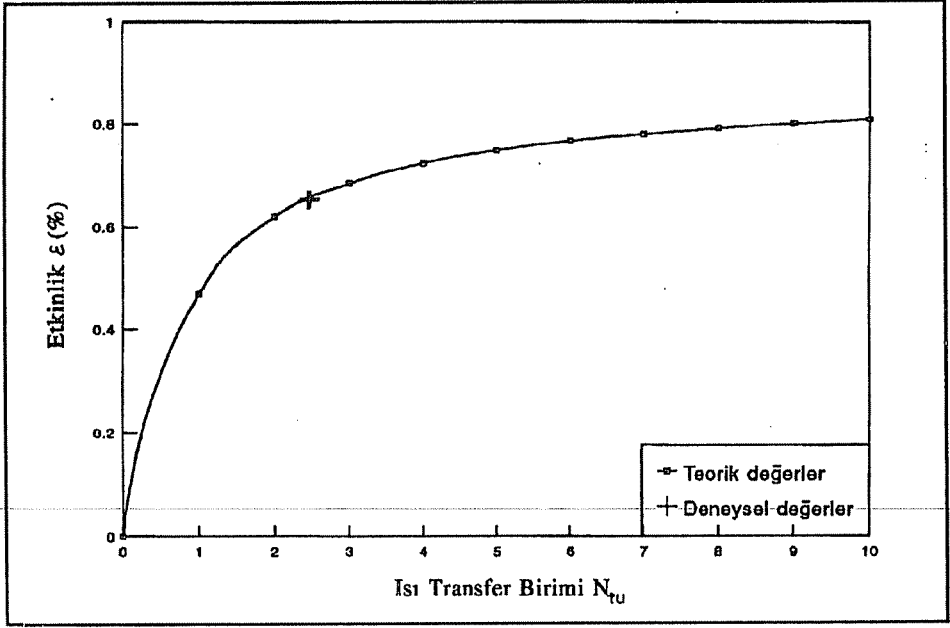
$$N_{tu} = \frac{AK}{C_{min}} \quad (11)$$

eşitliği ile tanımlanmaktadır. Görüldüğü gibi ısı transfer birimi; ısı değiştirgecinin ısı kapasitesinin, akışkanın ısı kapasitesine oranı şeklindedir. Eşitlikteki A toplam ısı transfer alanını, K ise toplam ısı transfer katsayısını göstermektedir. Eşitlik (11)'de yer alan değişkenler referans (5)'te detaylı olarak verilmiştir.

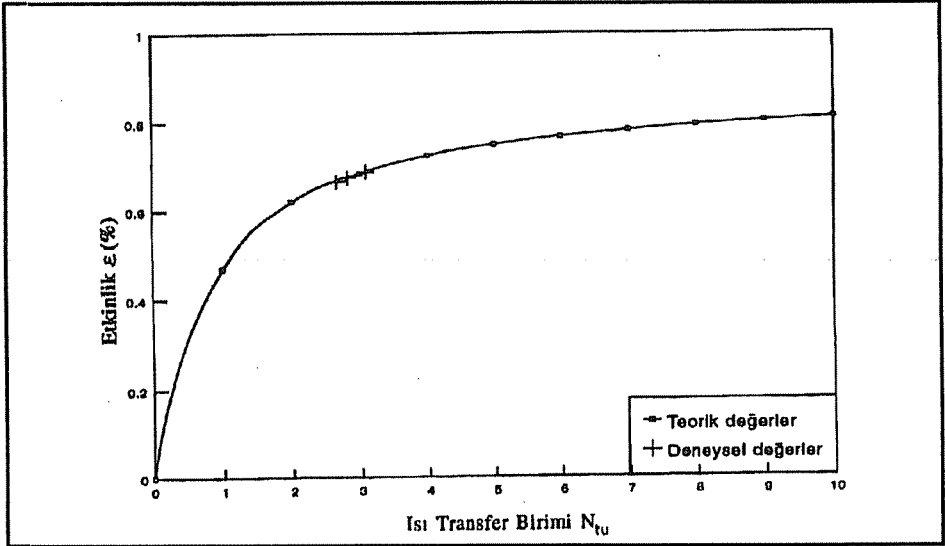
İmalatı yapılan ısı değiştirgecinin etkinlik tespiti amacıyla yapılan ölçüm değerlerinin sonucunda, eşitlik (9) ile tespit edilen etkinlik değerleriyle, eşitlik (10)'da teorik hesaplamalar için önerilen etkinlik değerinin kıyaslanması N_{tu} transfer birimine göre klape tam açık konumdayken Şekil 8'de, klape yarı açık konumdayken Şekil 9'da, farklı giriş havası sıcaklıkları (farklı kat kaloriferi su sıcaklıkları nedeniyle) için gösterilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi deneysel değerlerde %70 dolaylarında gerçekleşen oldukça yüksek etkinlik seviyelerine ulaşılmıştır. Ayrıca yine şekillerden tespit edildiği gibi, deneyi yapılan ısı değiştirgecinin $C^*=1$ dengeli çapraz akış hali için belirlenen etkinlik değerleri, teorik değerlerle çok iyi uyum sağlamak ve transfer birimi arttıkça etkinlik değerinin artacağı anlaşılmaktadır. Zaten ısı transfer alanının veya ısı transfer katsayısının artması, ısı transferini artıracığından, bu beklenen bir sonuçtur.

5. SONUÇ

Atık ısı geri kazanım sistemlerinde etkin kullanılmaları nedeniyle levhalı tip çapraz akışlı bir ısı değiştirgeci, fakültemiz laboratuvar şartlarında imal edilerek uygun bir deney düzeneği ile verim tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Bu tip sistemlerde sıcak ve soğuk akışkanlar arasında başka bir ısı taşıyıcı akışkana gerek kalmadan ısı transferinin



Şekil 8. Etkinliğin Isı Transfer Birimi ile Değişimi (Klape Tam Açık)



Şekil 9. Etkinliğin Isı Transfer Birimi ile Değişimi (Klape Yarı Açık)

doğrudan gerçekleşmesi, imalat kolaylığı, uzun ömürlülük ve basitlik, levhalı tip ısı değiştirgecinin temel tercih ediliş nedenlerinin başında gelmektedir. Taze ve atık

havanın geçtiği kanalların birbirinden ayrı olması nedeniyle akışkanların karışmaması, özellikle %100 temiz havanın istendiği ortamlar için, diğer ısı geri kazanım sistemlerine karşı sözkonusu sisteme üstünlük sağlamaktadır. Laboratuvar şartlarında yapılan ölçümler sonucunda, ısı değiştirgecinin etkinliğinin %70'lere varan bir değere ulaştığı görülmüştür ki bu da, sisteme gönderilen taze havaya atık hava ısı yükünün %70'lik bir kısmının transfer edildiği anlamına gelmektedir. Sonuç olarak; bu tip ısı geri kazanım sistemlerinin özellikle sanayide bilhassa yaygın tekstil endüstrisi ısıl uygulamalarında daha etkin kullanılmaları teşvik edilmeli ve geliştirilmesine çalışılmalıdır.

6. SEMBOLLER

- a :İkizkenar üçgen profilin taban kenar uzunluğunun yarısı (m)
A :Isı transfer alanı (m^2)
 A_f :Akış alanı (m^2)
 A_s :Metal alanı (m^2)
C :Akışkanın ısıl kapasitesi (W/K)
 c_p :Akışkanın özgül ısısı (J/kgK)
d :Çap (m)
K :Toplam ısı transfer katsayısı ($W/m^2 K$)
m :Kütleli debi (kg/s)
 N_{tu} :Isı transfer birimi (-)
Q :Isı transfer miktarı (W)
s :Alüminyum levha kalınlığı (m)
e :Eşanjörün etkinliği (-)
T :Sıcaklık (K)

İndisler

- * :Boyutsuz
1 :Sıcak akışkan
2 :Soğuk akışkan
max :Maksimum
min :Minimum
g :Giriş
ç :Çıkış

7. KAYNAKLAR

1. Atık Isı Geri Kazanımı, Elektrik İşleri Etüd İdaresi, Ankara, 1985.
2. Doba, F., Reküperatif Tip Eşanjörlerin Optimizasyonu ve II. Kanuna Göre Değerlendirilmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Şubat 1996.

3. Holman, J.P., *Heat Transfer*, Mc-Graw Hill Book Company, New York, 1992.
4. Bayazıtıoğlu, Y., Özişik, M.N., *Elements of Heat Transfer*, Mc-Graw Hill Book Company, New York, 1988.
5. Kays, W.M., London, A.L., *Compact Heat Exchangers*, Mc-Graw Hill Book Company, New York, 1984.
6. Oğulata, R.T., Doba, F., Küçük, A., *Levhali Tip Atık Isı Geri Kazanım Sistemleri*, *Termodinamik Dergisi*, Sayı 33, (67-69), Mayıs 1995.
7. Güngör, A., *Enerji Geri Kazanım Sistemleri*, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, (7-20), Aralık 1993.
8. Korun, T., *Binalarda Atılan Havadan Isı ve Nem Geri Kazanım Sistemleri*, *Birinci Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Sempozyumu*, (125-135), Adana.

DELİ HALİL VE YÖRESİ (CEYHAN) KUVATERNER BAZALTLARININ PETROGRAFİK VE HİDROJEOLJİK ÖZELLİKLERİ

Nurettin PELEN

D.S.İ. 6. Bölge Müd. Jeoteknik Hiz. Şub., Adana/Türkiye

Fikret İŞLER

Ç.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : *Kuvaterner yaşlı plato bazaltları şeklinde yayılım gösteren ve yörede Delihalil bazaltları olarak bilinen bazaltlar petrografik ve hidrojeolojik olarak detaylı bir şekilde incelenmişlerdir.*

Pek fazla kalınlık göstermeyen ve Ceyhan, Erzin ve Dört Yol ilçelerinde de yüzeylenme veren bazaltlar üç ayrı fazda oluşmuşlardır. Genelde bol gaz boşluk içerikli olan bazaltlar mikrolitik labrador, olivin ve titanlı ojit minerallerince zengin olup çok taze görünümlüdürler. İkinci fazda gelişen bazaltlarda olivinler kısmen iddingsitleşmiş ve bazı gaz boşlukları da ikincil kalsit minerallerince doldurulmuştur.

Yörede yüzeylenen bazalt ve diğer tüm birimlerden yapılan hidrojeolojik araştırma sonucunda Kuvaterner bazaltlarının kuyu verimlerinin 22-83 l/s, transmissibilite değerlerinin 2923-5576 m³/gün/m ve hidrolik iletkenliklerinin ise 50-150 m/gün arasındaki hidrojeolojik özellikleri ile en iyi konumda olduğu ve yapılan su kimyası analizleri ile de standartlara en uygun içme suyu niteliğinde olduğu tespit edilmiştir.

PETROGRAPHICAL AND HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF QUATERNARY BASALTS DELİHALİL (CEYHAN) AREA

ABSTRACT : *Petrographical and hydrogeological properties of Quaternary basalt which named as "Delihalil basalts" are studied. These basalts which include gas cavity are accured in three phases. They consist of microlitic plagioclase, olivine and augite phenocrystals. The results of hydrogeological investigation of these Quaternary basalts are as fallows; Bore hole yield 22-83 l/s, transmissibility 2923-5576 m³/day/m and hydrolic conductivity 50-150 m/day. As a result of these and chemical analysis, ground water yield from these basalts are good quality.*

1. GİRİŞ

İnceleme sahası Akdeniz bölgesinde, Antakya (Hatay) ve Adana ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Kuzeyde Mustafabeyli beldesi, doğuda Osmaniye, güneybatıda Erzin ilçeleri ile güneyde ise İskenderun körfezi ile sınırlanmıştır. Yumurtalık körfezi ise sahanın güneybatısında yer alır (Şekil 1).

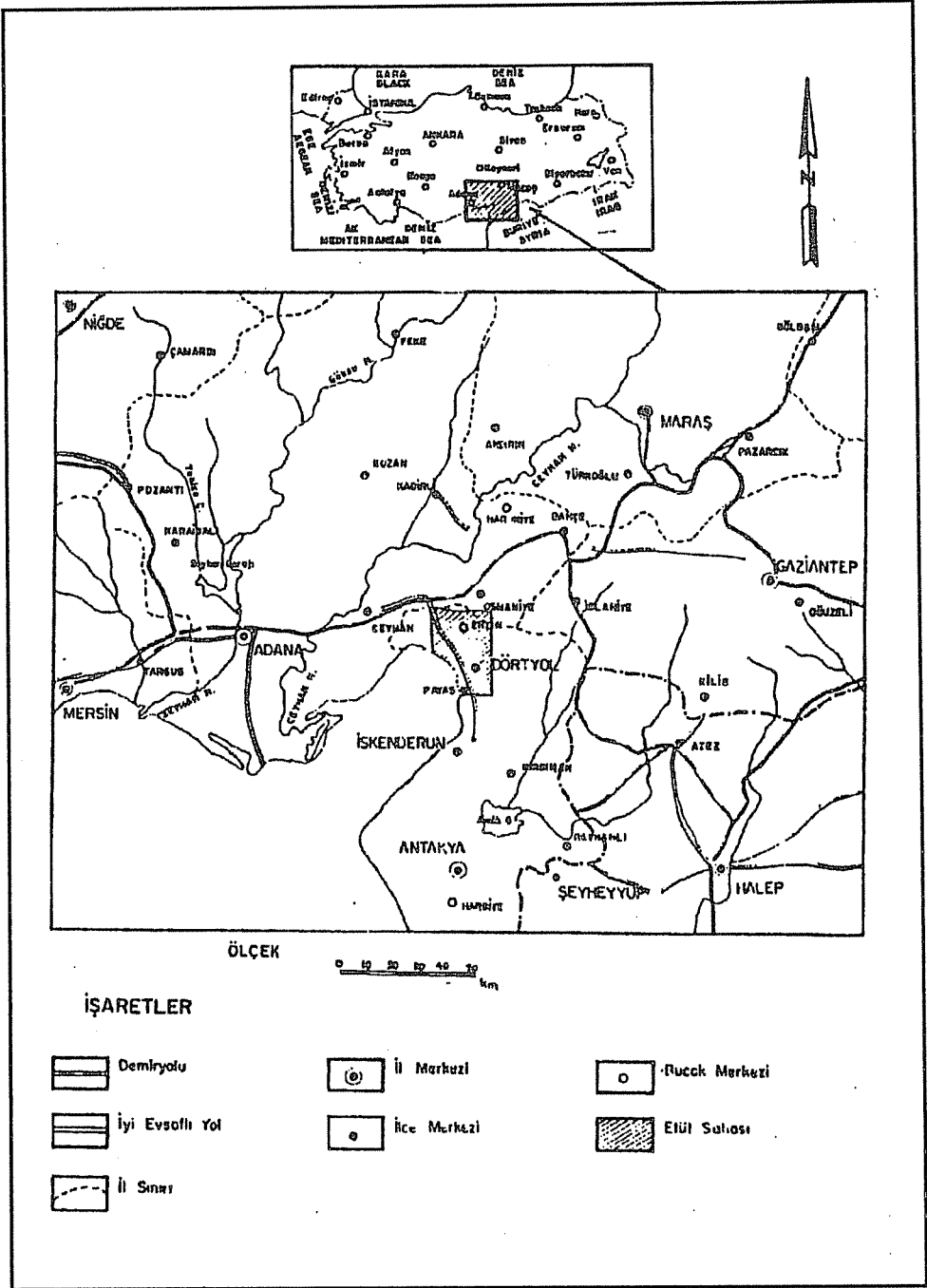
İncelenen bölge içerisinde bazaltlar yaklaşık 100 km² olup toplam inceleme sahası 200 km² civarındadır. Bölge ve yakın çevresinde değişik amaçlı birçok çalışmalar yapılmıştır. Ten Dam (1) İskenderun basenindeki Neojen sedimantasyonunun tanımlanmasını yapmış ve bölgenin petrol olanaklarını incelemiştir. Kuran (2) Dörtüyal ve Erzin ovalarının ilişkin ilk hidrojeolojik araştırmaları yapmıştır. Schmidt (3), Adana baseninde yaptığı çalışmalarda Karataş klastik Fasiyesi ve İsalı Katostatigrafik Fasiyesi tanımlarını yapmıştır. Ertürk (4) yaptığı jeofizik rezistivite çalışmaları ile alüvyon kalınlığının Dörtüyal ovasında 20-30 m, Erzin ovasında ise 25-60 m olduğunu saptamıştır. Günay ve diğ. (5) Dörtüyal ve Erzin ovalarının yeraltı suyu işletmesine uygun sahaları belirtmişlerdir, Schiettecatte (6) Misis grubu olarak tanımlandığı İsalı ve Karataş formasyonlarına Oligo-Miyosen yaşını vermiştir. Türkmen ve Ertürk (7) Erzin ve Dörtüyal ovalarının 1/100.000 ölçekli hidrojeoloji haritasını yapmışlar ve konglomera, bazalt ve alüvyonun kumlu ve çakıllı kısımlarının yeraltı suyu bakımından önemli akiferler olduğunu belirtmişlerdir. Doyuran (8), Erzin ovası için istatistiksel model hazırlamış ve yeraltı suyu düzeyi değişmelerinin yaklaşık % 80-85 civarında yağışa ve pompaja bağımlı olduğunu belirtmiştir. Bilgin ve diğ. (9) ve Bilgin ve Ercan (10) yaptıkları çalışmalarda Delihalil bazaltlarının Kuvaterner yaşta plato bazaltları olduğunu belirtmişlerdir. Şenol ve Kapur (11) Yumurtalık-Botaş çevresindeki bazaltlarda kalış-toprak oluşumu ile içerdikleri kil minerallerini saptamaya yönelik araştırma yapmışlardır. Çetin (12) Dörtüyal-Erzin ovası yeraltı suyunun mevcut durumu ve geliştirme olanakları ile ilgili çalışmalar yapmıştır.

2. STRATİGRAFI VE PETROGRAFI

2.1. Karataş Formasyonu (Tka)

İnceleme alanı içerisinde Turunçlu köyü ve Tüysüz köyü civarlarında, Kısık Boğazi kuzeyinde ve Toprakkale batısında görülür. Çalışma sahasının dışında da geniş yüzeylenme gösterir. Birime ad ilk kez Schiettecatte (6) tarafından verilmiştir. Formasyon genel olarak fliş karakterinde olup kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve çamurtaşı hakim kaya türü olarak görülür. Bu formasyon içerisinde çeşitli yaş ve boyutlarda kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kalkşist, kuvars-muskovit şist, tuf, bazalt ve kumtaşları blok veya olistosromal seviyeler şeklinde yer alırlar. Bilgin ve diğ. (8) formasyonun kumlu kireçtaşı içindeki fosil bulgularına göre birime Alt-Orta Miyosen yaşını vermişlerdir. Bu formasyonun kumtaşı seviyelerinden alınan örneğin mikroskop altında incelenmesi sonucu esas elemanlarının serpantin ve serpantinize peridotit parçaları ile

DELİHALİL VE YÖRESİ KUVATERNER BAZALTLARININ
PETROGRAFIK VE HİDROJEOLÖJİK ÖZELLİKLERİ



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

plajioklas ve parçalarından oluştuğu daha az olarak ta kuvars, volkanik kaya ve kireçtaşı parçaları izlenmiştir.

2.2. Kuzgun Formasyonu (Tk)

Bu formasyon bölgemiz Kısık Boğazının her iki yamacında ve güney doğusunda geniş alanlarda yüzeylenir. Formasyon genellikle kumtaşı, konglomera, marn, silttaşı ve kiltası aralanmasından oluşmuştur. Schmidt (3) çalışmalarında formasyona Kuzgun adını vermiştir. Bilgin ve diğ. (9) bu formasyon içindeki fosil bulgularına göre kuzgun formasyonuna Üst Miyosen-Pliyosen yaşını vermişlerdir. Formasyon içerisinde bulunan fosillerin tatlı su ortamını gösterdiğini ve formasyonun denizden pek uzak olmayan gölssel bir ortamda oluştuğunu belirtmişlerdir.

Türkiye Petrolleri Anonim ortaklığı tarafından Kısık Boğazının güneyinde bu formasyon üzerinde derin petrol sondajları açmıştır. Bu sondaj verilerine dayanarak Kuzgun formasyonunun çalışma bölgesinin içerisindeki kalınlığının 1400 metre olduğu görülmüştür (Şekil 2).

2.3. Haydar Formasyonu (Hpl)

Bu formasyon bol serpantin, serpantinize peridotit, kireçtaşı daha az kuvars ve yer yer çört çakılları içeren karbonat çimentolu, iyi pekişmiş çakıltaşından oluşmuştur. Elemanları iyi yuvarlaklaşmış olup 2 mm ile 20 cm boyutları arasında değişir. Marn mercceklerinin yer yer izlendiği bu formasyon Doyuran (8) tarafından Haydar formasyonu olarak isimlendirilmiş ve formasyonun sahil veya med-cezirin etkin olduğu dar bir körfezde oluştuğu belirtilmiştir. T.P.A.O.'nun 1964 yılında petrol aramak amacıyla açtığı Erzin-1 sondajı bu formasyon içinde 1800 metreye kadar inmiş fakat formasyonunun tabanına varılmamıştır.

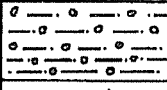

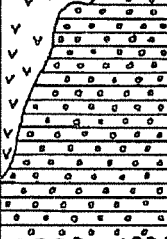
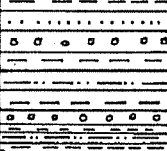
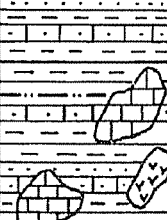
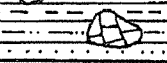
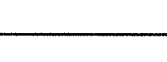
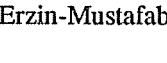


Haydar Formasyonunun yaşı Ten Dam (1), Günay ve diğ. (5) ve Türkmen ve diğ. (7) tarafından Pliyosen olarak kabul edilmiştir.

2.4. Delihalil Formasyonu (B_{1,2-3})

İncelenen bölgenin çok geniş bir kesimine yayılmış olan bu formasyon genellikle ana ve tali volkanlardan püsküren proklastik blok, parça ve külleri ile zaman zaman görülen lav akıntısı şeklindedir. Delihalil Tepe, Domuz Tepe, Kocahama Tepe ve Tüysüz Tepe gibi birçok tepeler bu formasyonun ana veya tali volkan konisi niteliğindedir. Delihalil Tepenin ana volkan konisi olması ve çok geniş bölgelere yayılım göstermesi nedeniyle Doyuran (8) ve Bilgin ve diğ. (9) tarafından Delihalil formasyonu olarak adlandırılmıştır. Formasyonun yaşı Schmidt (3) tarafından Pleistosen, Türkmen ve diğ. (7) Pliokuvaterner, Schiettecatte (6) ve Doyuran (8) tarafından Holosen olarak verilmiştir.

Delihalil formasyonunun fiziksel olarak dış görünümü, gaz boşluğu içerikleri sahadaki

DELİHALİL VE YÖRESİ KUVATERNER BAZALTLARININ
PETROGRAFİK VE HİDROJEOLÖJİK ÖZELLİKLERİ

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	LİTOLOJİ	KALINLIK(m)	SİMGE	AÇIKLAMALAR		
						FORMASYON	LİTOLOJİK TANIM	
S E N O Z O Y İ K	KUVATERNER	HOLOSEN		~60	AGI	ALÜVYON	ÇAKIL, KUM, SİLT VE KİLDEN OLUŞMUŞTUR.	
		PLEYİSTOSEN		~400	B3- B2 - B1	DELİHALİL FORMASYONU	YER YER PRİZMATİK DEBİLİ (B1) BLOKLU (B2) VE GENELLİKLE GAZ BOŞLUKLU TUTTURULMAMIŞ KÜÇÜK PARÇALAR (B3) ŞEKLİNDE BAZALTLAR.	
				~2000	HPI	HAYDAR FORMASYONU	KONGLOMERA : YER YER BANT VE MERCEK ŞEKLİNDE MARN İÇERİKLİ	
		PLİYOSEN	ÜST		~1400	TK	KUZGUN FORMASYONU	KUMTAŞI : KONGLOMERA MARN SİLT TAŞI KİLTAŞI ARDALANMALI
			ORTA		~2500	TKG	KARATAŞ FORMASYONU	KUMTAŞI - MARN - KUMLU KİREÇTAŞI, ÇAMURTAŞINDAN OLUŞAN FİLİŞ İÇERİSİNDE ÇEŞİTLİ YAŞ VE BOYUTTA TEK VEYA OLİSTOSTROMAL SEVİYELER YER ALIR.
	T E R S İ Y E R	NEOJEN	ALT					
								
		MIYOSEN						
								
								

Şekil 2. Dört Yol-Erzin-Mustafabeyli dolayının geliştirilmiş dikme kesiti (ölçsüz).

yayımları ve konumları itibarı ile farklı zamanlarda ve üç safhada oluştuıkları gözlenmiştir. Bunlar haritada B₁, B₂ ve B₃ olarak gösterilmiştir (Şekil 3).

2.4.1. Birinci Evre Bazaltlar (B₁)

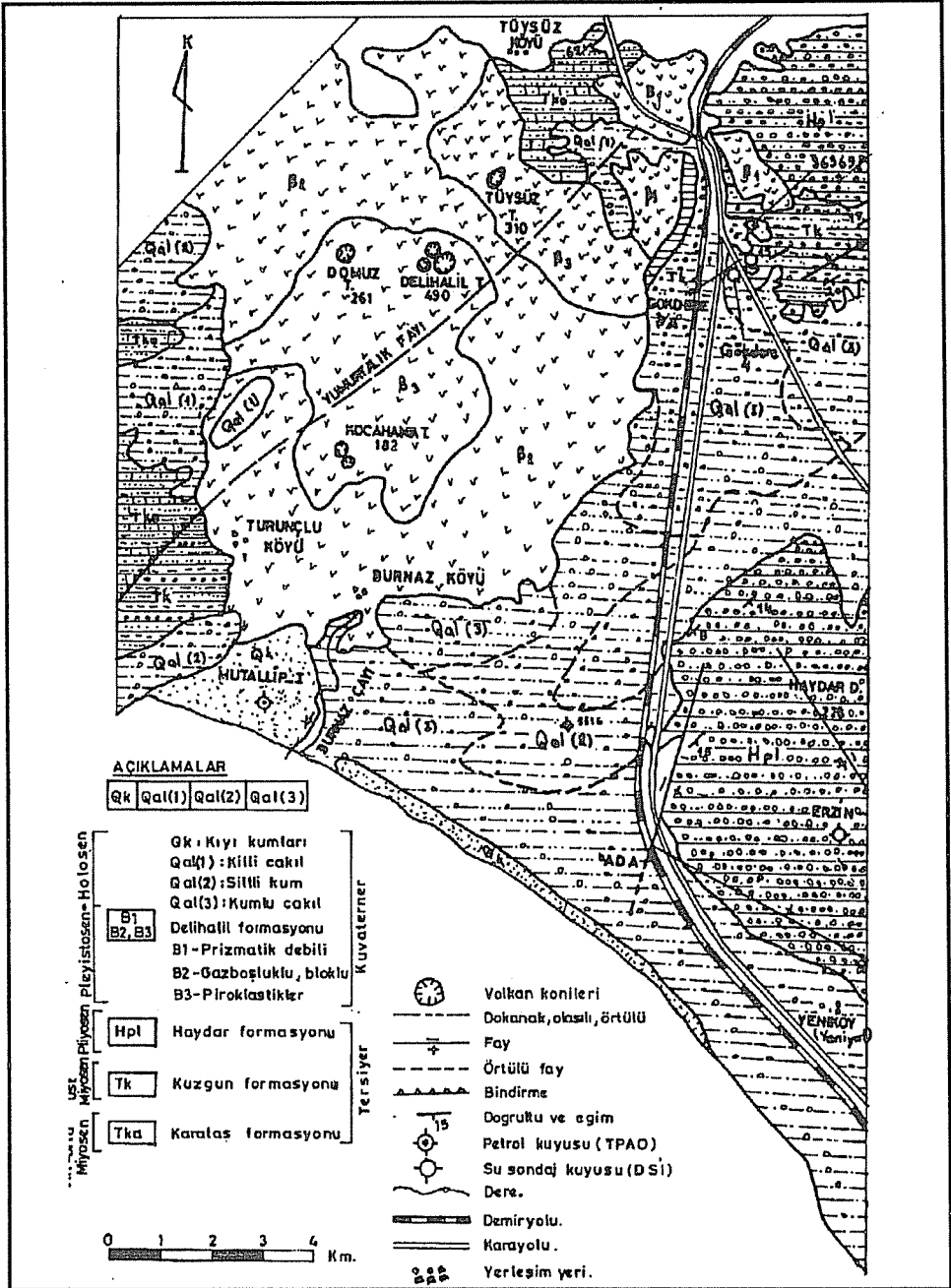
Kısık boğazı ve çevresinde yüzeylenme gösteren birinci evre bazaltlar Karataş, Kuzgun ve Haydar formasyonları üzerine uyumsuzlukla gelirler. Toprakkale batısında bu bazaltların Karataş formasyonu ile dokanaklarında dokanak ilişkileri pişme zonları oluşturmaları ile çok net olarak gözlenmektedir.

Bu yöredeki bazaltlarda aşağıdan yukarı doğru üç farklı durum gözlenmiştir. En altta pek fazla gaz boşluğu içermeyen masif fakat çok kırık ve çatlaklı bir yapı sunan ve kıymık şeklinde kırılma yüzeyleri veren bazaltlar gözlenmiştir. D.S.İ. tarafından su kanalizasyonu için açılan yarmalarda görünür kalınlık 20-25 metre civarında tespit edilmiştir. Bunların hemen üstünde 1 ila 3 metre kalınlığında düzgün kenarlı prizmatik görünüşlü bazaltlar görülür. Bu bazaltlardaki gaz boşlukları bir öncekine göre daha bol ve daha incedir. Prizmatik debili bazaltların üstünde de yaklaşık 5 cm kalınlığında çok güzel halat görünüşlü ve iç içe konsantrik halkalar şeklinde bazalt oluşumları gözlenmiştir.

Yapılan mikroskobik çalışmalar sonrasında hemen hemen hepsinin intergranüler ve mikrolitik porfirik strüktürde oldukları gözlenmiştir. İnce uzun mikrolitler şeklinde izlenen plajioklasların yaklaşık hepsinde albit ikizlenmeleri görülür. Çok taze görünümlü ve herhangi bir alterasyon göstermeyen plajioklasların % 52-54 arasında anortit içeren labrador oldukları tespit edilmiştir. Plajiokastan sonra ikinci hakim minerali olivin oluşturur, küçük olivin kristallerinin yanında muntazam şekilli otomorf olivinler dikkat çekicidir. Alttaki bazaltlar ile üstte halat şekilli bazaltlarda piroksen görülmemesine karşılık prizmatik debi görünüşlü bazaltlarda ise olivinle birlikte ve hemen hemen olivine eşit miktarda çok küçük granüler şeklinde tıtanlı ojitler izlenmiştir. Tek nikelde pembenin tonlarındaki pleokrizma renkleri ile dikkat çekicidirler. Masif ve Prizmatik görünüşlü bazaltların gaz boşluklarında herhangi bir ikincil mineral görülmezken halat görünüşlü bazaltlarda ise bazı gaz boşluklarının çeperlerinde kalsit oluşumları gözlenmiştir. Bu oluşumlar henüz başlangıç safhasında olup boşluk çeperlerinden merkeze doğru gelişme göstermektedirler.

Kısık boğazı ve çevresinde görünür kalınlığı 25-30 metre civarında olan bu bazaltların devamında T.P.A.O.'nın Erzincan'da açmış olduğu petrol arama sondajlarında bazalt kalınlığı olarak 70 metre tespit edilmiştir. Bu çevrede yüzeyleme gösteren sözkonusu B₁ bazaltlarının arazideki konumları, gaz boşluklarının kısmen kalsit minerali tarafından doldurulmuş olması bunların ilk volkan faaliyetleri ile oluşmuş olabileceklerini göstermektedir. Önceki araştırmacıardan Doyuran (8)'de bu bazaltları volkanik faaliyetlerin ilk ürünü olarak kabul etmiştir.

DELİHALİL VE YÖRESİ KUVATERNER BAZALTLARININ
PETROGRAFIK VE HİDROJEOLÖJİK ÖZELLİKLERİ



Şekil 3. Dört yol-Mersin-Mustafabeyli yöresi jeoloji haritası
(Türkmen 1974, Doyuran 1980'den değiştirilerek).

2.4.2. İkinci Evre Bazaltlar (B₂)

Volkanizmanın ikinci evresi olarak ayrılan bu bazaltlar İmraniye köyünün güney ve kuzeyi ile Burnaz köyünün kuzeydoğusunda geniş yayılım gösterirler. Sahadaki görünüşleri birinci evrede oluşan B₁ bazaltlarından farklıdır. Çok az prizmatik debi görülmesine karşılık genellikle bloklu bir yapı hakimdir, gaz boşluğu içerikleride daha fazladır.

Mikroskobik çalışmalar sonrasında B₂ bazaltları birinci evredeki prizmatik görünüşlü bazaltlara biraz uyum sağlar, ince uzun plajioklaslardan sanra yaklaşık eşit miktarda olivin ve titanlı ojit bunlarda da görülmektedir. Yine iri otomorf şekilli olivin taneleri daha küçük taneler şeklinde olivin ve titanlı ojitler bolca izlenir. Bunlarda birinci evre bazaltlarından farklı olarak gaz boşluklarının genişliği ve çokluğu ayrıca olivin tanelerinin kırık ve çeperleri boyunca iddingistleşmenin başlamış olması dikkat çekicidir.

2.4.3. Üçüncü Evre Bazaltlar (B₃)

Bu bazaltlar ana volkan bacası ve diğer tali volkan bacalarında ve yakın çevrelerinde görülürler. Genellikle Delihalil, Tüysüz, Kocahama tepeleri ve çevrelerinde yeralan ve volkanik faaliyetlerin üçüncü evresini oluşturan bu bazaltlar genellikle volkan parçaları, volkan külleri ve lav akıntıları şeklindedir. Volkan parçalarının boyutları 1 ila 6 cm arasında değişmektedir bazan yer yer 30 cm ve daha büyük bloklar ve bombaları görülmektedir. Bu blok ve parçalar üst üste gelmiş ve yığılımlar oluşturmuşlardır, aralarında herhangi bir çimentolanma yoktur hafif dokunuşlarla birbirleri üzerinde kayarak dökülürler: Lav akıntıları yaklaşık 1 metre civarında kalınlık arzederler ve genellikle 2-3 seviye şeklinde görülürler. Bu oluşumlardan volkan faaliyetlerinin püskürmelerden sonra lav akıntısı, tekrar püskürme ve tekrar lav akıntısı şeklinde oluştuğu anlaşılmaktadır.

Ana ve tali bacalardan biraz uzak yerlerde püskürmelerin ince kırıntıları ve külleri görülür. Bunların en güzel görüldüğü yerler Tüysüz köyü güneyinde Kurudere ve derenin üst tarafından geçen Adana-Osmaniye otoyolu şevidir. Burada oluşan tuf seviyelerinin görünür kalınlığı yaklaşık 10 metre civarındadır. Tüfler düzenli bir istiflenme göstermezler kül boyutu içerisinde bir kaç mm kalınlığında taneler yer yer görülürken bu tanelerden oluşan tabakalar da tüfler içerisinde ardalanmalar oluştururlar. Yine tuf seviyesi içerisinde en altta çabuk dağılabilmek özelliğinde olan boyutları 0.5 cm ila 3 cm arasında değişen volkan parçaları yer alır üst taraflarda orta kısımlarda ise toprak oluşumları gözlenmiştir. Daha sonra tekrar tuf seviyeleri görülmüştür. Bu toprak seviyesinden volkanizma faaliyetlerinin bir süre durmuş olduğu düşünülmektedir.

Volkan parçalarında yapılan mikroskobik çalışmalar sonrasında bunların B₁ ve B₂ ye oranla çok daha fazla gaz boşlukları içerdikleri gözlenmiştir. Gaz boşlukları arasındaki kısımlarda ise çok ince iğnemi görünüşlü plajioklas (labrador) mikrolitleri yer

almaktadır, ayrıca bu mikrolitlerle birlikte yine küçük tane veya otomorf iri taneler şeklinde olivinler gözlenmektedir.

3. HİDROJEOLOJİ

3.1. Akarsu ve kaynaklar

İnceleme sahasında sürekli akan tek akarsu Burnaz çayıdır (Şekil 4). Burnaz çayı Burnaz grup kaynaklarının bir boşalımı şeklindedir. Yaklaşık 3.5 km uzunluğunda olan bu çayın ortalama debisi 1667 l/s'dir. Grup kaynak özelliğinde olan Burnaz kaynağı alüvyon/bazalt dokanağında oluşmuş, akım değerleri değişik bir çok gözlerden meydana gelmiştir. En büyük ve en önemli göz Burnaz köyünün güneybatısındadır. Kaynağın maksimum debisi 2040 l/s, minimum debisi ise 1460 l/s tir. İnceleme bölgesinde ikinci bir kaynak ise Yeniköy'ün 3 km kuzeybatısında bulunan ve tipik fay kaynağı özelliğinde olan Say kaynağıdır. Kaynağın maksimum boşalımı 235 l/s, minimum boşalımı ise 41 l/s'tir.

3.2. D.S.İ. İşletme Kuyuları

Devlet su işleri tarafından 1968-1994 yılları arasında işletme amaçlı (arazi sulaması) 38 adet kuyu açılmıştır. Bu kuyuların derinlikleri 34 ila 203 metre arasında değişmektedir. Statik seviyeler 1.75-55 m, verimleri 2-60 l/s, özgül verimleri 2.53-100 l/s/m, transmissibiliteleri 1253-4836 m³/gün/m, EC (Elektrik kondüktiviteleri) değeri ise 814-3103 mikromho /cm'dir.

Belediye, Fabrika ve şahıs kuyuları

İnceleme bölgesi içerisinde BOTAŞ A.Ş.'nin 1, Toros Gübre A.Ş.'nin 2, T.M.O.'nın 1 adet, ayrıca Erzin Belediyesi 4, Zeytinli Belediyesi 1, Yumurtalık Belediyesi 2 ve Sarımaçı Belediyesinin 1 adet olmak üzere çeşitli yerlerde açılmış içme ve kullanma amaçlı kuyuları bulunmaktadır.

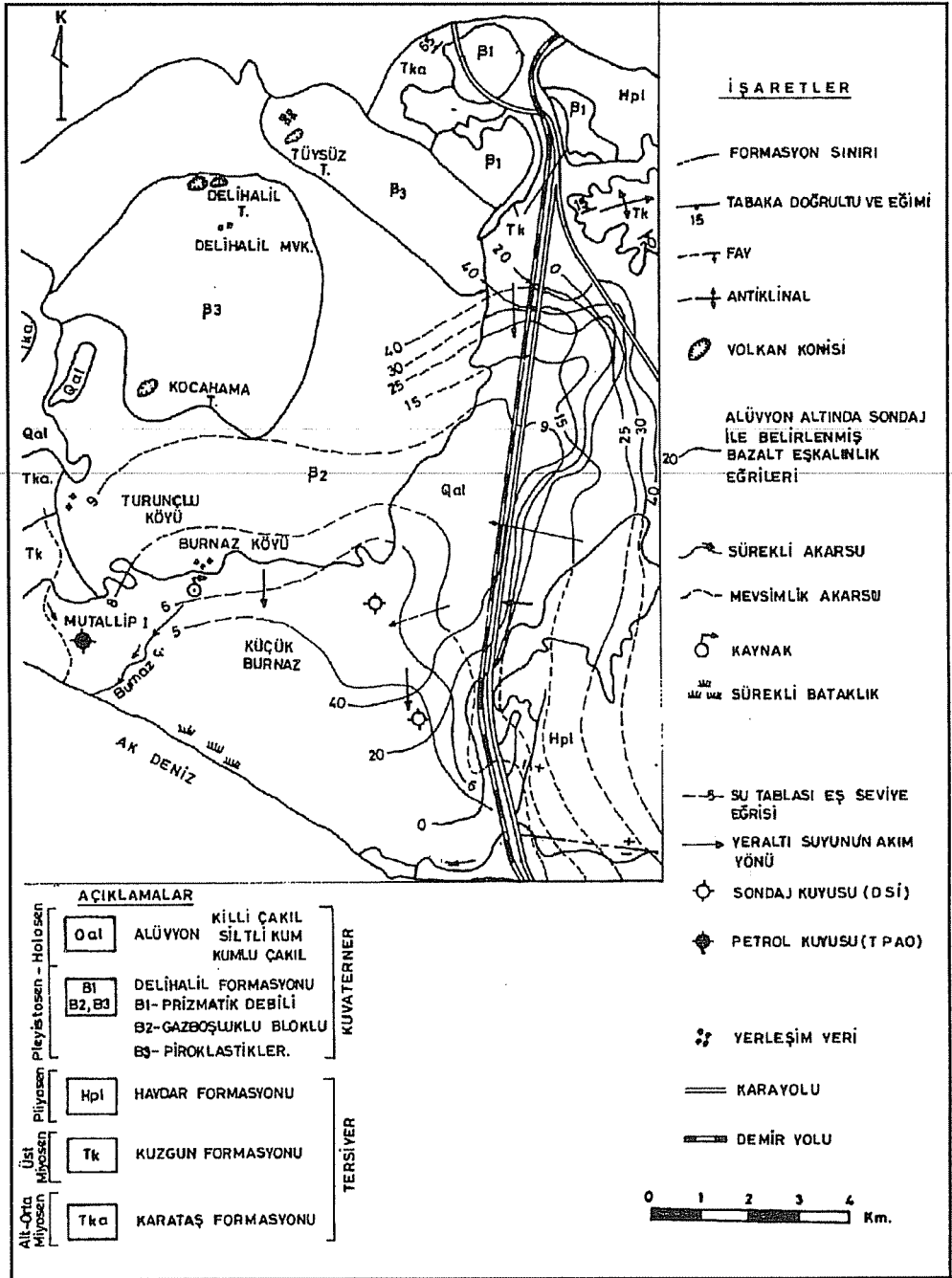
3.3. Akifer oluşturan formasyonlar

3.3.1. Kuzgun Formasyonu

İnce-orta-kalın tabakalı kumtaşı, marn, konglomera ve silttaşı, kiltası ar dalanmasından oluşan bu formasyon ilksel boşluklarının çok az olması nedeniyle akifer, hatta yer yer akifer olmayan geçirimsiz sınırlar oluştururlar. Bu formasyon içinde 1967 yılında açılan kuyunun verimi 2 l/s, 1986 yılında açılan kuyunun verimi ise 14 l/s'tir.

3.3.2. Haydar Formasyonu

Formasyonun ana birimi konglomeradır, konglomera içerisinde yer yer marn bant ve mercikleri yer alır. Konglomeranın ikincil gözenekliliğinin olması nedeniyle önemli miktarda su depolama özelliğine sahip olup iyi bir akiferdir. Bu formasyon üzerinde çok sayıda içme-kullanma amaçlı su sondaj kuyuları açılmıştır. Bu kuyuların verimleri



Şekil 4. Dörtöyol-Erzin-Mustafabeyli yöresi hidrojeoloji haritası.

13.6-60 l/s, özgül verimleri 4.29-8.06 l/s/m, Transmisibilite değerleri 2600-2962 m³/gün/m, hidrolik iletkenlikleri 10-60 m/gün, EC değerleri ise 1020-1555 mikromho/cm arasındadır.

3.3.3. Delihalil Bazaltları

İnceleme bölgesi içerisinde geniş alanlara yayılım gösteren Delihalil bazaltlarının ikinci evrede oluşmuş B₂ ile gösterilen bazaltlar en verimli akifer formasyonunu oluştururlar. Üç safhada gelişen Delihalil bazaltları hidrojeolojik açıdan da farklı özellikler gösterirler.

B₁ bazaltları diğerlerine oranla çok daha masif görümlü ve daha az gaz boşluğu içeriklidir, kırık ve çatlaklar daha azdır, gaz boşluklarının birbirleri ile ilişkileri çok azdır. Bu nedenle iyi bir akifer oluşturmazlar.

B₂ olarak ayrılan bazaltlar ise çok daha fazla gaz boşluğu içerirler, gaz boşlukları birbirleri ile ilintilidir, ayrıca kırıklı ve çatlaklı bir yapısı vardır. Bu nedenle çok iyi bir akifer formasyonu olarak görülürler. Yeşilkent, Yumurtalık ve Erzin belediyelerinin içme ve kullanma kuyularının tümünde B₂ bazaltları geçilmiştir. Bu kuyulardan edinilen bilgilerle B₂ bazaltlarının çok iyi akifer olduğu görülmüştür. Bu formasyon üzerinde açılan kuyuların derinlikleri 40-80 m özgül debileri 6-92.3 l/s/m verimleri 22-83 l/s, transmisibilite değerleri 2923-5576 m³/gün/m, hidrolik iletkenlikleri ise 50-150 m/gün arasında değişmektedir.

B₃ olarak gösterilen bazaltlar ise volkanların püskürtmüş olduğu parçalar şeklinde olması, bu parçaların üst üste yığılması ve çok miktarda gaz boşluğu içermesi nedeniyle bu bazaltlarda su tutulamamakta ve düşen yağışın büyük bir kısmı yeraltına süzülmemektedir. Dolayısıyla B₃ bazaltları B₂ bazaltlarının beslenme sahası olarak düşünülmektedir.

4. SONUÇ

İnceleme sahası içerisinde yüzeyleme gösteren Delihalil bazaltlarının üç ayrı fazda geliştiği ve farklı görünüş ve özellikleri nedeniyle de hidrolojik açıdan da farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir. Bölgemiz içerisinde tüm formasyonlar içinde Haydar formasyonu ile Delihalil formasyonu içindeki B₂ bazaltlarının iyi bir akifer oldukları ortaya konulmuş ve B₂ bazaltlarının hidrolojik özelliklerinin Haydar formasyonundan daha iyi oldukları tespit edilmiştir. Ayrıca akifer olan Haydar ve Delihalil formasyonlarının içerdikleri suyun kimyasal özellikleri incelenmiş yine içme-kullanma ve sulama suyu olarak standartlara en uygun suların Delihalil formasyonu B₂ bazaltlarının suyu olduğu ortaya konulmuştur.

5. KATKI BELİRTME

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu Tarafından FBE 94-77 nolu proje

olarak desteklenmiştir. Yazarlar projenin gerçekleşmesinde ve çalışmaların yapımı sırasında yardımlarını gördüğü tüm kişilere teşekkür ederler.

6. KAYNAKLAR

1. Ten Dam,A., *Sedimentation. Facies and Stratigraphy in the Neogene Basin of İskenderun. Türkiye Jeol. Kurm. Bült.*, 2,49-64, 1952.
2. Kuran,I., *Dörtyol-Erzin Ovası Hidrojeolojik Etüd Raporu, D.S.İ., Rap. No 1904/1, 1958.*
3. Schmidt,G.C., *III. Adana Petrol Bölgesinin Stratigrafik Nomenklatörü, Petrol Dairesi Yayını No 6,s. 47-63,1961.*
4. Ertürk,A., *Dörtyol-Erzin Ovası Jeofizik Etüdü, D.S.İ., Jeol. Tek. Hiz. ve Yas. Daire Başk. Rapor No 1962, 1964.*
5. Günay,G., Tekiner,Y., Gözpınar,G., Türkmen,G., *Dörtyol-Erzin Ovası Rezerv Raporu, D.S.İ. Rap. No 1904/3, 1965.*
6. Schiettecatte,J.P., *Geology of the Misis Mountains, Geology and History Turkey, Irtica Shell Limited, Tripoli, Libya p. 305-312, 1961.*
7. Türkmen,G., Ertürk,A., *Dörtyol-Erzin Ovası Hidrojeolojik etüd Raporu, D.S.İ. Rap No 1904/6, 1974.*
8. Doyuran,V., *Erzin-Dörtyol Ovalarının Hidrojeolojisi ve Yeraltısuyu işletme çalışmaları, O.D.T.Ü. Müh. Mim. Fak. Jeoloji Müh. Doçentlik Tezi, 885 s, 1980, (yayınlanmamış).*
9. Bilgin,A.Z., Elibol,E., Bilgin,Z.R., Beğenilmiş,S., *Ceyhan, Karataş, Yumurtalık, Osmaniye, Haruniye, Kadirli Dolayının Jeoloji Raporu, M.T.A. Enst. Rapor No 7215, 1981.*
10. Bilgin,A.Z., Ercan,T., *Ceyhan-Osmaniye Yöresindeki Kuvaterner Bazaltlarının Jeolojisi, Türkiye Jeol. Kurm. Bült. 24/1, 21-30, 1981.*
11. Şenol,M., Kapur,S., *Yumurtalık (Adana) Bölgesindeki Volkanik Kayalar içinde Kalış-Toprak Oluşumu ve Kil Mineralleri, III. Ulusal Kil Simpozyumu, Bildiriler, s, 189-194, 1987.*
12. Çetin,M., *Dörtyol-Erzin Ovası Yeraltısularının Mevcut Durumu ve Geliştirme Olanakları, Çukurova Üniv. Fen Bilim. Ens. Yüksek Lisans Tezi, 138 s., 1991. (yayınlanmamış).*

**O.A.L. ÇAYIRHAN KÖMÜR İŞLETMESİNDE KÖMÜR KESİMİ,
NAKLİYESİ VE RAMBLE ATIMI GİBİ FAALİYETLER ESNASINDA
OLUŞAN TOZUN AZALTI MASINA YÖNELİK ÇÖZÜMLER**

Abdurrahman DALGIÇ

D.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır/Türkiye

Oktay BAYAT

Ç.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : *Bu çalışma, Orta Anadolu Linyitleri Çayırhan Yeraltı Kömür işletmesindeki toz durumunu incelemek ve toz konsantrasyonunun fazla olduğu durumlarda alınabilecek önlemleri araştırmak amacıyla yapılmıştır.*

Toz yoğunluğunu belirlemek için işletme tarafından bugüne kadar 567 numune alınmış ve toz miktarı belirlenmiştir. Sonuçların değerlendirilmesinde; yapılan tüm ölçümlerin %9.171'i toz eşik sınır değeri olan 10 mg/m³'ü aştığı ve %24.161'i de yüksek risk derecesini ifade eden 5-10 mg/m³ oranları arasında olduğu gözlemlenmiştir. Bu değerler işletme için ciddi tedbirler alması anlamına gelmektedir.

Toz yoğunluğunu azaltabilmek için özellikle toz oluşumunu engellemek veya kaynağına en yakın yerde bastırmak ve çeşitli yerlerde birikmiş halde bulunan tozların girdaplaşım ortamın havasına karışmasını önlenmek gerekir.

**DUST CONTROL TECHNIQUES DURING PRODUCTION, CONVEYING,
RAMBLE ETC. IN MIDDLE ANATOLIAN LIGNITE ESTABLISHMENT,
ÇAYIRHAN UNDERGROUND MINE**

ABSTRACT : *This study has been done to study dust condition at Middle Anatolian Lignite Company Çayırhan Underground Coal Mine and investigate precautions to minimize dust concentration.*

For dust concentration determination up to now, 567 samples were taken from mine. In treatment of these samples, it was seen that, in 9.171% of measurements dust concentration exceeds the Maximum Allowable Concentration which is 10 mg/m³ and in 24.162% of it dust concentration lies in between 5-10 mg/m³ which has a high risk factor. These results are enough for taking serious measures in the mine.

In order to reduce dust concentration in the mine it is necessary to suppress dust formation at or near as possible to its source and prevent dispersing of accumulated dust.

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi, sayısız problemi çözüme kavuşturduğu gibi beraberinde yeni problemler doğurmuştur. Madencilik yapıldığı ilk zamanlarda insanlar, yüzeyde veya sığ derinliklerde çalışıyorlardı. Toplumlar endüstrileşmede ilerledikçe madenlere olan ihtiyaçları arttı ve kısa bir süre sonra çıkarımı kolay olan cevherler tüketildi. Bu gelişim, madencileri daha derin madenlere inmeye zorladı. Böylece madenciler yeryüzünün derinliklerine indikçe yeni problemlerle karşılaştılar.

Günümüzde madenciler derinlikleri 4500 m'ye kadar olan madenleri işleyebilmektedirler. Madencilik tüm aşamalarında ortaya çıkan tozların kontrolü ya toz oluşumunu engellemek ya da tozların mümkün olduğunca kaynağına yakın yerde bastırılması ile mümkün olabilmektedir. Ama madencilikte kesin olan kural, solunabilir tozların konsantrasyonunu azaltmaktır. Çünkü insan vücudu belirli bir limite kadar direnç gösterebilir ve hastalıktan korunabilir. Kabul edilir maksimum toz konsantrasyonu tozun kompozisyonuna bağlı olarak değişebilir. Toz konsantrasyonundaki belirleyici unsur tozların tane boyutudur, çünkü belirli bir boyutun altındaki tozlar sağlığa zararlıdır. Bunun için tozla mücadele edilirken toz konsantrasyonu, ortalama tane boyutu ve kimyasal yapısı tanımlanmalıdır (1).

Türkiye'de kömür ve metal madenlerinde solunabilir toz kontrolü ile ilgili herhangi bir kurum kurulabilmiş değildir. Ancak bir girişim olarak Orta Anadolu Linyit İşletmesi Çayırhan Yeraltı Kömür İşletmesinde tozla mücadele laboratuvarı kurulmuştur.

Bu çalışmada, yukarıda adı geçen işletmedeki tozla mücadele konusu anlatılacaktır. Laboratuvardaki aletler ile toz konsantrasyonu mg/m^3 olarak ölçülmüştür. Sonuçlar, "Toz Eşik Sınır Değeri" ve bazı ülkelerdeki toz sınır değerleriyle karşılaştırılacaktır.

2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada materyal olarak Milli Kütüphane, Üniversite kütüphaneleri (Çukurova, O.D.T.Ü., İ.T.Ü., Dokuz Eylül) ve Y.Ö.K. Dökümantasyon Merkezindeki konu ile ilgili kitap ve süreli yayınlar ile birlikte O.A.L. Çayırhan Kömür İşletmesinin Tozla Mücadele Laboratuvarında mevcut bulunan aletler kullanılmıştır.

O.A.L.'de belirlenen toz ölçüm istasyonlarından elde edilen toz değerleri büyük bir titizlikle incelenmiş ve sorun teşkil eden yerlerdeki çözüm önerileri esas alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

O.A.L.'de tozla mücadele konusunda alınan önlemler ve yapılan bazı denemeler incelenmiş ve uygulanabilecek yeni metotlar hakkında kısaca bilgiler verilmiştir.

Bu araştırma, yeraltındaki bazı noktalarda yapılan toz ölçüm çalışmaları, laboratuvar değerlendirmesi ve literatür taraması şeklinde üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

Ölçüm çalışmaları, O.A.L. Çayırhan Kömür İşletmesi'nde özellikle yüksek toz konsantrasyonunun olduğu noktalarda yapılmıştır. Ölçümler MRE 113-A tipi sabit örnekleyici ve AFC 123 IS tipi portatif örnekleyicilerle yapılmıştır.

Laboratuvar çalışmaları, numune alma işleminden sonra toz örnekleyici içerisinde bulunan filtre üzerindeki toz parçacıkların ağırlığı bulunarak yapılmıştır. Bu işlem için filtreler etüvde 105 °C' de 1 saat boyunca kurutulmuş ve tartılmıştır. Numune alma işleminden sonra tekrar filtre aynı şartlarda etüvde kurutulmuş ve tozla birlikte tartılmıştır. İki ağırlığın farkı mg olarak hesaplanmıştır. Aletin emdiği hava miktarı akış ölçer vasıtasıyla bilinmektedir. Vardiya boyunca açık bırakılan aletin emdiği toplam hava miktarı m³ olarak hesaplanmıştır. Bu iki değer in oranı bize ortamın toz konsantrasyonunu mg/m³ olarak vermiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Madencilikte hazırlık, üretim, doldurma, boşaltma, kırma, eleme ve nakliye faaliyetleri sırasında toz oluşur. Oluşan tozlar sağlığa zararlı ve patlayıcı (özellikle kömür tozu) olabilir. Bu nedenle toz oluşumunu ve ocak havasına karışmasını önlemek için mücadele etmek önemli bir husustur.

Toz miktarının belirlenmesi için uygulanan çeşitli yöntemler ve kullanılan değişik aletler mevcuttur. Toz miktarı ölçümü için hangi aletin nasıl kullanılacağı ve toz miktarının hangi konumda ölçüleceği, gibi durumlar önemlidir. Toz miktarını tanımlamak için değişik birimler kullanılmaktadır. Bunlar; birim hacimdeki partikül sayısı, birim hacimdeki toz partiküllerin ağırlığı, partiküllerin yüzey alanı gibi birimlerdir. Kullanılan birim yapılan işin özelliklerine göre maksimum bilgiyi tanımlamalıdır (2).

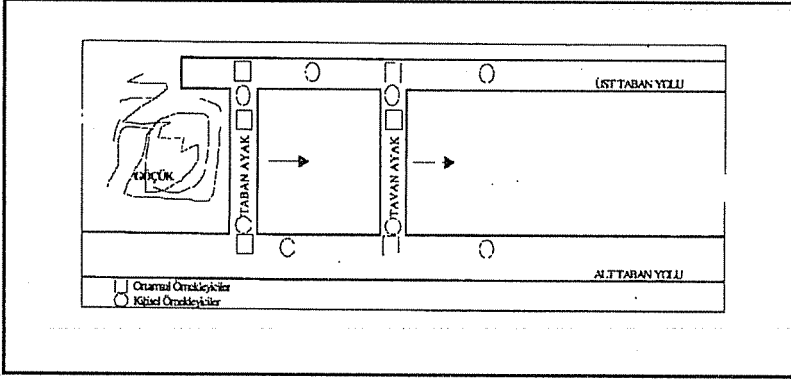
Bir ocaktaki toz miktarını belirlemek amacıyla kullanılan yöntemler, havada asılı durumda iken tozların ölçülmesi veya havada asılı durumda bulunan tozların toplandıktan sonra miktarlarının belirlenmesi gibi yöntemlerdir. Havada asılı durumda bulunan tozları toplamak için çökertme, filtrasyon, çarpma, termal çökertme ve elektriksel çökertme gibi metotlar kullanılmaktadır. Toplanan bu tozun değerlendirmesinde, birim hacimdeki partikül sayısı, birim hacim ağırlığı, partiküllerin ortalama tane boyutu, partiküllerin yüzey alanı, farklı boyuttaki partiküllerin kompozisyonu, partiküllerin mineralojik yapıları gibi bilgiler elde edilmektedir. Böylece tozları bir dizi parametreler şeklinde tanımlamak mümkün olmaktadır. Her zaman belirlenmesi gereken konu, solunan tozun kimyasal ve mineralojik yapısının belirlenmesidir. Çünkü bazı tozlar diğerlerine göre daha fazla tehlikeli olabilmektedir (3).

4. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

Deneyle O.A.L. Çayırhan Yeraltı Kömür İşletmesi'nde yapılmıştır. Deneylelerin amacı çalışma ortamındaki toz konsantrasyonunu belirlemek ve bunun sağlıklı çalışma koşullarını tehdit ettiği yerlerde uygun çözüm tekniklerini araştırmaktır.

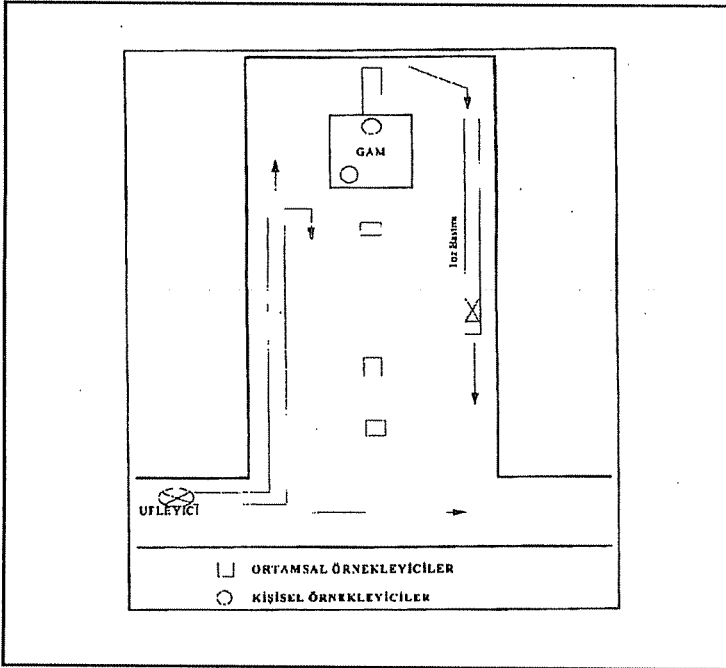
Toz ölçümleri için değişik üretim panolarında, ana nakliye yollarında, hazırlık

bacalarında, transfer noktalarında ve yerüstünde toz konsantrasyonunun fazla olduğu yerlerde yapılmıştır. Mekanize üretim panolarında yapılan toz ölçüm istasyonları Şekil 1'de gösterilen noktalarda yapılmıştır.



Şekil 1. Mekanize Üretim Panolarında Toz Ölçüm İstasyonları.

Üretim panolarında toz ölçümleri için ortamsal örnekleyiciler galerinin merkezine en yakın ve yerden yaklaşık 1.50 m yükseklikteki yerlerde asılı tutularak yapılmıştır.



Şekil 2. Hazırlık Galerilerinde Toz Ölçüm İstasyonları.

Kişisel toz örnekleyiciler ise operatör, bakımcı, malzemeci, tahkimatçı, düğmeci ve bunlar gibi yeraltında çalışan diğer işçiler vasıtasıyla yapılmıştır. Hazırlık galerilerindeki toz ölçüm istasyonları Şekil 2'de gösterilmiştir.

Toz problemi olan yerlerde ölçüm için en uygun istasyon yerleri seçilmiştir. Ölçüm süreleri aynı olmamakla beraber örneklerin alınmasına büyük dikkat gösterilmiştir (4).

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

O.A.L. İşletmesinde 1993-1995 yılları arası toplam olarak 567 ölçüm yapılmış ve değerlendirilmiştir. Ülkemizde toz standartları ile ilgili yönetmenlik maddeleri incelenmiştir. İlgili tüzük maddesi, "İçinde SiO₂ (Kuars) tozu bulunmayan işletmelerde toz miktarı 10 mg/m³'ü geçmemelidir" demektir. Bu tüzük maddesindeki rakam Toz Eşik Sınır Değeri olarak bilinmektedir. Ayrıca toz miktarına göre risk dereceleri belirlenmiştir (Çizelge 1). Toz ölçme deneylerinde toz konsantrasyonu mg/m³ olarak bulunmuştur.

Çizelge 1. Toz Miktarlarına Göre Risk Dereceleri .

Toz Miktarı	Risk Dereceleri
0-2.5 mg/m ³	I
2.5-5.0 mg/m ³	II
5.0-10.0 mg/m ³	III
10.0 mg/m ³	IV

1993-1995 yıllarında yapılan toplam 567 ölçüm sonucunun risk derecelerine göre dağılımı Çizelge 2'de verilmiştir.

Ölçüm sonuçlarının analizinde hemen göze çarpan durum, O.A.L Çayırhan Kömür İşletmesi'nde yapılan ölçümlerin % 9.171'inin çok riskli ortamı göstermesidir.

Toz ölçümlerinin en fazla yapıldığı yerlerin başında üretim panoları gelmektedir. İşletmede yapılan tüm ölçümlerin %72.8'i buralarda gerçekleştirilmiştir. Çok riskli toz ölçümlerinin %82.7'i yine bu yerlerden elde edilmiştir.

Mekanize üretim panolarında makine ile yapılan kazı sırasında açığa çok fazla toz çıkmaktadır. Bu esnada açığa çıkan tozları bastırmak için su fisketeleri kullanılmaktadır. Mekanize Üretim panolarında uygulanan toz bastırma düzenekleri Şekil 3'te gösterilmiştir.

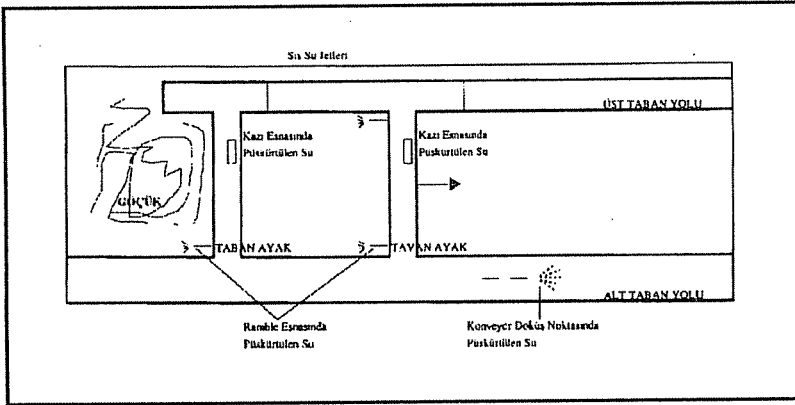
İşletmede toz bastırma için kullanılan diğer bir metot da yaş ve kuru tip toz bastırma ünitelerinin kullanılmasıdır.

Kuru tip toz bastırıcılarda, emilen hava filtreler üzerinden geçirilerek temizlendikten sonra ortama verilir. Toplanan toz, torbalar veya çeşitli tipte konveyörler yardımıyla sistemden alınır.

Çizelge 2. O.A.L.' de Yapılan Toz Ölçümlerinin Risk Derecelerine Göre Dağılımı (3).

Ölçüm Yeri	RİSK DERECELERİ				Toplam
	I	II	III	IV	
Üretim Panoları	174	100	96	43	413
Klavuz + Baca	39	17	31	5	92
Transfer Eleme	18	2	8	2	30
Ana Nakliye	26	-	-	-	26
Ramble	2	-	2	2	6

Bu tip toz bastırıcılarda en yüksek verim toz bastırma işleminin başladığı ilk zamanlarda elde edilir. Filtre üzerinde biriken tozlar ek bir filtrasyon yaparak toz toplama verimini artırır.



Şekil 3. Mekanize Panolarda Kullanılan Toz Bastırma Düzenekleri.

Yaş tip toz bastırıcılarda tozlu hava bir fan tarafından emilerek bu hava üzerine basınçlı su püskürtülür ve hava içerisindeki toz su zerrecikleri tarafından yakalanır. Yaş tip toz bastırıcılarda su içerisine katkı maddeleri konularak toz bastırma verimi artırılabilir. Bastırılacak tozun, suyun ve katkı maddesinin bileşimi oldukça önemlidir. Katkı maddesinin amacı, toz ve suyun temasta kaldığı kısa zaman aralığında suyun toz taneciklerini yakalamasını kolaylaştırmaktadır. Almanya'da kömür tozlarını bastırma amacıyla CaCl_2 katkı maddesi kullanılarak yapılan testlerin sonuçları olumlu çıkmıştır (5).

Üretim panolarında yüksek miktarda toz oluşmasının nedenlerinden biri de ayak boylarının uzunluğudur. Ayak boylarının uzunluğu 220 m'dir. Bunun için oluşan tozlarla mücadele de etkili bir havalandırmanın uygulanması gerekir. İşletmede mekanize olarak çalışan panolarda her ayaktan 700-800 m³/dak. hava geçirilmesi planlanmıştır. Fakat belirtilen hava miktarı üretim yerlerine ulaştırılamamaktadır.

O.A.L. Çayırhan Kömür İşletmesinde yapılan toz ölçümlerin %16.2'i kılavuz sürme ve bacalarda gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin %9.6'sında çok riskli sonuçlar elde edilmiştir.

Bu yerlerde kullanılan klasik havalandırma sistemi gereği üflenen hava miktarının emilen hava miktarından fazla olması nedeniyle bir miktar tozlu hava toz bastırıcıya girmeden arından geri gelmektedir. Arından geri gelen bu hava miktarı galeri uzunluğunun artmasına paralel olarak azalmaktadır.

Üfleleyici havalandırma sisteminde alternatif bir yöntem de Kısa Devre Havalandırma Yöntemidir. Bu sistemde emilen hava üflenen havadan daha fazladır. Kısa Devre Havalandırma sisteminin uygulanması ile birlikte toz konsantrasyonlarında önemli düşüşler tespit edilmiştir. Klasik sistemde Galeri açma Makinesinin operatörünün maruz kaldığı toz miktarı 12.5 mg/m³, galeriyi terk eden toz miktarı 8.1 mg/m³, iken bu oranlar Kısa Devre Havalandırma sisteminde sırasıyla 8.2 mg/m³'e (%34 azalma) ve 6.9 mg/m³'e (%15 azalma) düşürülmüştür (6).

O.A.L. İşletmesinde yapılan ölçümlerin %10.9'u nakliye yollarında gerçekleştirilmiştir. Çok riskli ölçümlerin ise %7.7'si bu yerlerden elde edilmiştir. Toz konsantrasyonu yoğun olarak aktarma noktalarında görülmüştür. Ayrıca kömürün taşınma esnasında ufalanmasından, ana nakliye yollarında işçilerin yürümesinden, tamburla bant arasında kalan kömürün parçalanmasından dolayı toz oluşur.

Tüm alt taban yolları bir sonraki panonun üst taban yolu olarak kullanılacağından her iki ayak arkasında tabanyolu faydalı açıklığı korumak ve konverjans kontrolü için ramble yapılmaktadır. Böylece göçük içine hava kaçakları önlenecek ve yangın riski azaltılmış olacaktır. Konverjansın azaldığı, hava kaçaklarının önlediği iyi bir ramblenin yapılabilmesi ve ramblenin ayak ilerlemeleri ile uyumlu bir şekilde sürdürülebilmesi için pnömatik yolla yapılmaktadır (7).

Ülkemizdeki toz sınır değerleri belirlenirken tozun kuvars içeriği esas alınmıştır. Fakat işletmedeki tozun analizinde kuvars miktarı önemsenmeyecek derecede az çıkmıştır. Toz Sınır Eşik Değeri dikkate alındığında işletmede toz konsantrasyonunun fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden işletmede toz sorunu ile mücadele etmek kaçınılmazdır.

i. İngiltere: İngiltere'de Toz Sınır Değerleri belirlenirken tozun kuvars içeriği dikkate alınmamıştır. Madencilik faaliyetine göre toz sınır değerleri belirlenmiştir. Taş ocakları için Toz Sınır Değeri 3 mg/m³, kömür işletmelerinde 8 mg/m³'tür.

ii. A.B.D: Amerika'daki bütün maden işletmelerinde Toz Sınır Değeri 2 mg/m³'tür

(Cevherin kuvars içeriği %5'ten az).

iii. Rusya: Rusya'daki kuvars tozu içermeyen kömür işletmelerindeki Toz Sınır Değeri 10 mg/m³tür (8).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Taban ayakta yapılan toz ölçümlerinde toz konsantrasyonu tavan ayağa göre daha fazladır. Bu durumun oluşmasının en büyük nedeni ayak içerisinde hava direncini artıran dar kesit oluşumlarıdır. Bunun için ayak içerisinde bulunan pasa yığınları, gereksiz tahkimat üniteleri, hurda demir ve kalıp parçaları gibi atıl maddeler ocak dışına taşınmalıdır.

Çalışma alanlarına gelen hava temiz olmalıdır. Hava akış yönüne göre ayak başlarında yapılan toz ölçümlerinde havanın kirlendiği tespit edilmiştir. Bunun engellenmesi için hava hızı uygun olarak ayarlanmalı ve bant konveyörü, transfer noktaları ve galeri açma makinelerindeki-su-fisketeleri-yeterli-miktarda-tozu-bastırabilmelidirler.

Kılavuz sürme ve galeri açma çalışmalarında uygulanan tali havalandırma sisteminde uygulanan Klasik Üfleyci Havalandırma Sistemi yerine Kısa Devre Havalandırma Sistemi (emilen hava tüflenenden havadan daha fazla) uygulanmalıdır. Böyle bir çalışma toz konsantrasyonunu %25-30 düşürecektir.

Havalandırma sistemi için kullanılan vantilatörler yeterli olmasına rağmen çalışma alanlarına gerekli hava miktarı sağlanamamaktadır. Bunun nedeni ocak şebeke analizinin yapılamamış olması ve yeterli hava miktarının hesaplanmamış olmasıdır. Ayrıca ocakta kullanılan ayarlı kapılardan da tam verim alınmamaktadır.

Tamburlu kesicilerde, galeri açma makinelerinde ve transfer noktalarında (toz konsantrasyonunun en yoğun olduğu yerlerde) kullanılan su fisketelerinin çoğu çalışmamakta, çalışanlara ise püskürtme için yeterince su sağlanamamaktadır. Ocakta bulunan su fisketelerinin tümü yenilenmeli ve su şebekeleri yeniden tesis edilmelidir.

Aynayı ıslatmak için kullanılan su jetlerinin sayısı çok azdır. İlave su jetleri uygulamaya konulmalıdır.

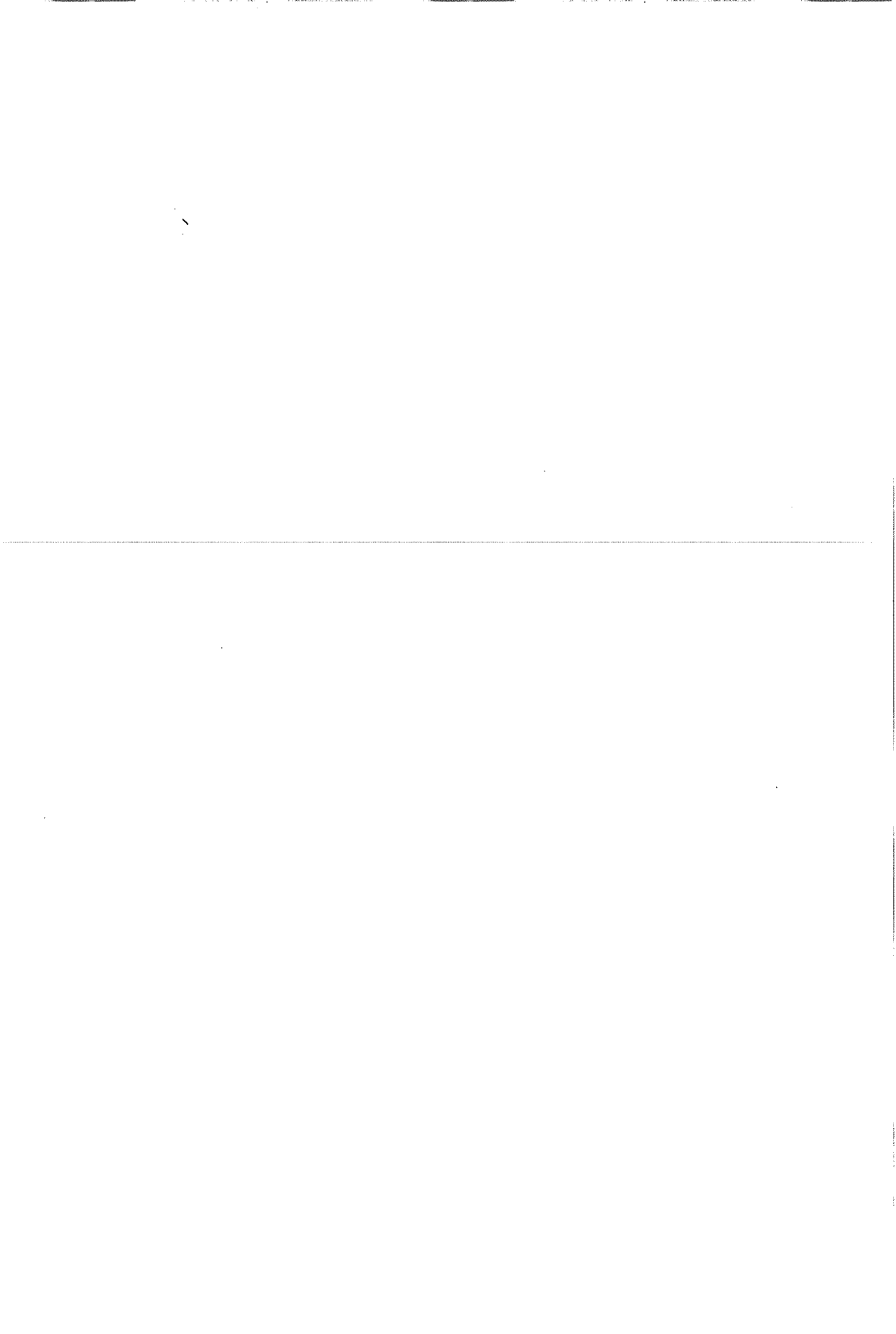
Nakliye donanımları üzerindeki toz bastırma düzeneklerinin hemen hemen hiçbiri çalışmamaktadır. Kömür bir banttan diğerine aktarılırken dökme yüksekliği bazı noktalarda çok yüksektir (yaklaşık 1.5 m). Ayrıca bant yollarındaki aşırı titreşimlerden dolayı kömür ufalanmakta dolayısıyla toz konsantrasyonu artmaktadır. Nakliye sırasında dönmeyen makaraları arızaları hemen giderilmelidir, çünkü bu durumda olan makaralar ortama daha fazla ısı katacaklardır ki bu durum yeraltında istenmeyen bir durumdur.

Ocakta ramble pnömatik yolla yapılmaktadır. Malzemeleri taşıyan borularda çok sayıda hava kaçak yerleri mevcuttur. Bu da bazı yerlerde birikmiş olan tozların girdaplaşarak ortama karışmasını sağlamaktadır. Bunun için pnömatik boruların tamiri yapılmalı ve tamir edilemeyecek durumda olanlar yenisiyle değiştirilmelidir.

Toz miktarının yüksek olmasının nedenlerinden biri de uygulanan üretim yönteminden kaynaklanmaktadır. Ocakta tam mekanize uzun ayak yöntemi uygulanmaktadır. Uygulanan sistem gereği panolar uzun tutulmaktadır (pano boyu yaklaşık olarak 220 m'dir). Pano boyu arttıkça toz konsantrasyonu artmaktadır. Bu yüzden üretim esnasında oluşan toz mümkün olduğu kadar kaynağına en yakın yerde bastırılmalı veya mükemmel bir havalandırma ile ocaktan hemen dışarı atılmalıdır.

7. KAYNAKLAR

1. Stoches,B., Jung,N., *Maden İşletmelerinde Toz ve Silikozla Mücadele*, Çev. Saltoğlu, S., *İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul, s. 557, 1970.*
2. Becker,H., *New Developments in Underground Dust Extraction. Glückauf +Translation, 117 Nr. 12, s. 321-324, 1981.*
3. I.L.O., *Guide to the Dust Prevention and Suppression of Dust in Mining, Tunneling and Quarrying*, Atar S.A., Geneva, s. 421, 1965.
4. O.A.L., *Orta Anadolu Linyitleri Çayırhan Kömür İşletmesi Tanıtım Kılavuzu*, Ankara, s. 15-65, 1995.
5. Bruer,H., *Health in Mines; Synthesis Report on Research in the Third Program, 1971-1976, Commission of European Communities, 1978.*
6. Eyyuboğlu,E.M. ve Ark., *Türkiye 14. Madencilik Kongresi ISBN 975-395, s. 1-7, 1995.*
7. Dautrebande,L., Beckmann,H., *Neue Untersuchungen an Aerosolen. Beitrage zur Silikoseforschung H. 22, Bochum, s. 1-59, 1953.*
8. Saltoğlu,S., *Madenlerde Havalandırma ve Emniyet İşleri*, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul, s. 50-63, 1975.



UZUN HAVALANDIRMALI AKTİF ÇAMUR SİSTEMLERİNDE ARITMA VERİMİNİN İNCELENMESİ*

Ahmet YÜCEER ve Hakan DULKADİROĞLU
Ç.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Bu çalışmada uzun havalandırmalı aktif çamur sisteminin arıtma veriminin bekleme süresi, aktif çamur ve çözülmüş oksijen konsantrasyonu ile değişimi incelenmiştir. Araştırma bir model arıtma tesisinde evsel atıksu eşdeğerinde organik madde içeren sentetik atıksu kullanılarak yapılmış ve arıtma verimi giriş ve çıkış KOİ değerleri ölçülerek gözlenmiştir. Deneylerin sonucunda, hidrolik bekleme süresinin 18 saatten 36 saate ve çözülmüş oksijen konsantrasyonunun 2 mg/L'den 5 mg/L'ye yükseltilmesinin arıtma verimini belirgin şekilde etkilemediği, aktif çamur konsantrasyonunun 2000 mg/L'den 5000 mg/L'ye yükseltilmesinin ise çok az etkilediği görülmüştür. Buna bağlı olarak, dizayn parametreleri için literatürde çok geniş aralıkta değerlerin verildiği bu sistemlerin, ön yatırım ve işletme maliyetlerinin en düşük seviyede tutulabilmesi için iyi analiz edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

INVESTIGATION OF TREATMENT EFFICIENCY IN EXTENDED AERATION ACTIVATED SLUDGE SYSTEMS

ABSTRACT : In this study, variation of treatment efficiency with retention time, activated sludge and dissolved oxygen concentrations were investigated using extended aeration system. The investigation was carried out in a model treatment plant using synthetic wastewater in which the organic matter content roughly equal to moderate municipal wastewater. Treatment efficiency of the system was observed by measuring influent and effluent COD. According to results of the study, increasing retention time from 18 hours to 36 hours, DO concentration from 2 mg/L to 5 mg/L and MLSS concentration from 2000 mg/L to 5000 mg/L have a little effect on treatment efficiency. In the literature, design parameters of these systems are seen in very large range. Consequently, these systems should be well analyzed before application to save investment and operational costs.

* Bu çalışma Ç.Ü. Araştırma Fonu tarafından (FBE 94.163) nolu proje ile desteklenmiştir.

1. GİRİŞ

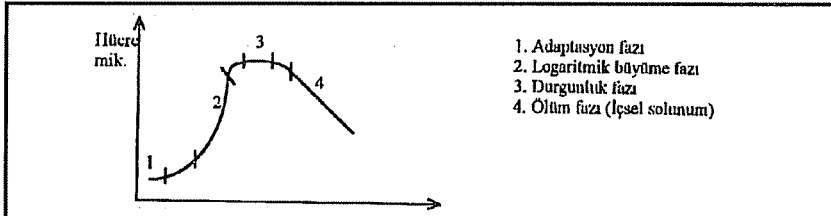
Uzun havalandırmalı aktif çamur sistemleri yavaş ayrışan organik maddeler içeren atıksuların arıtılması veya evsel atıksuların arıtımında çamur oluşumunun azaltılması amacıyla kullanılan sistemlerdir. Bunun yanında, yatırım ve işletme maliyetlerinin düşük, bakım ve işletiminin kolay olması gibi avantajlarından dolayı küçük yerleşim birimlerinde tercih edilmektedir (1, 2).

Bu çalışmada, uzun havalandırmalı aktif çamur sistemleri ile evsel atıksuların arıtımında, arıtma veriminin farklı işletme koşullarıyla değişimi incelenmiştir. Bu amaçla bir model arıtma tesisinde orta karakterli evsel atıksuya eşdeğer organik yüke sahip sentetik atıksu kullanılarak, arıtma veriminin hidrolik bekleme süresi, aktif çamur ve çözülmüş oksijen konsantrasyonları ile değişimi, giriş ve çıkış KOİ değerlerine bağlı olarak araştırılmıştır.

2. UZUN-HAVALANDIRMALI TESİSLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi, aktif çamurdaki organik maddelerin büyük oranda okside olmasını sağlamak amacıyla atıksu ve aktif çamur karışımının uzun süre havalandırıldığı bir arıtma yöntemidir. Bu sistemde genellikle atıksu ızgara ve kum tutucudan geçirildikten sonra ön çökeltme uygulanmadan havalandırma havuzuna verilir. Burada uygulanan uzun süreli havalandırmadan sonra son çökeltmeyle atıksudan ayrılan aktif çamur, uygulanan çamur yaşına bağlı olarak büyük oranda havalandırma havuzuna geri verilir (1, 2, 3).

Uzun havalandırmalı aktif çamur sistemleri, klasik aktif çamur sistemlerinden farklı olarak, içsel solunum fazında işletilir. Şekil 1'deki bakteriyel büyüme eğrisinden görülebileceği gibi, aktif çamur sistemlerinde oksidasyon süresinin artmasıyla çamur hacmi azalmaktadır. Ancak, oksidasyon süresinin çok artırılması sistemde aşırı çamur birikmesine ve çıkış suyuyla beraber çamur kaçarak arıtma veriminin düşmesine neden olabilir. Bunun yanında, bu sistemlerde çamur üretiminin çok az olduğu ve 8-12 aylık periyotlarla çamur atılmasının yeterli olacağı bildirilmektedir (4). Yapılan çalışmalar, bu sistemlerde biriken fazla çamurun, aktif olmayan ve başlıca polisakkaritlerden oluşan biyolojik olarak inert maddelerden meydana geldiğini ortaya koymuştur (3). Dolayısıyla sistemden atılan fazla çamur tasfiyeye gerek kalmadan kurutma yataklarına verilebilmektedir.



Şekil 1. Bakteriyel büyüme eğrisi.

Bu sistemin diğer bir avantajı ise, yüksek verimle arıtma yapabilmesi ve aşırı organik yüklere karşı dayanıklı olmasıdır.

Bu sistemlerde, çamur geri devir oranı yüksek uygulandığı ve sistemden çok az çamur atıldığı için MLSS konsantrasyonu klasik aktif çamur sistemlerine oranla yüksek olmaktadır (5). Bunun sonucunda ise mikroorganizmalara yeterli miktarda oksijen temin edilebilmesi ve katı maddelerin askıda tutulabilmesi için daha fazla oksijene (havaya) ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum da enerji sarfiyatının ve dolayısıyla işletme maliyetinin artmasına neden olmaktadır.

Tablo 1'den görülebileceği gibi, uzun havalandırmalı aktif çamur sistemleri için çeşitli kaynakların belirttiği dizayn değerleri çok geniş sınırlar içerisinde değişmektedir. Ele alınan atıksu özelliklerinin belirtilmediği bu kaynaklara göre, örneğin hidrolik bekleme süresi 16-120 saat, aktif çamur konsantrasyonu 2000-6000 mg/L arasında uygulanabilmektedir. Arıtma tesisi dizaynı sırasında bu parametreler için seçilecek değerlerin, tesisin performansı ile yatırım ve işletme maliyetlerini önemli ölçüde etkileyeceği açıktır. Bekletme süresinin 16 saat yerine 32 saat seçilmesi, iki kat büyüklükte bir havalandırma havuzu ve havalandırma kapasitesi, buna bağlı olarak da daha fazla enerji gerektirecektir. Bundan dolayı tesis dizayn edilirken atıksu özellikleri, ön yatırım ve işletme maliyetleri gözönünde bulundurularak en uygun değerler ortaya konmalıdır.

Tablo 1. Uzun havalandırmalı sistemler için dizayn parametreleri.

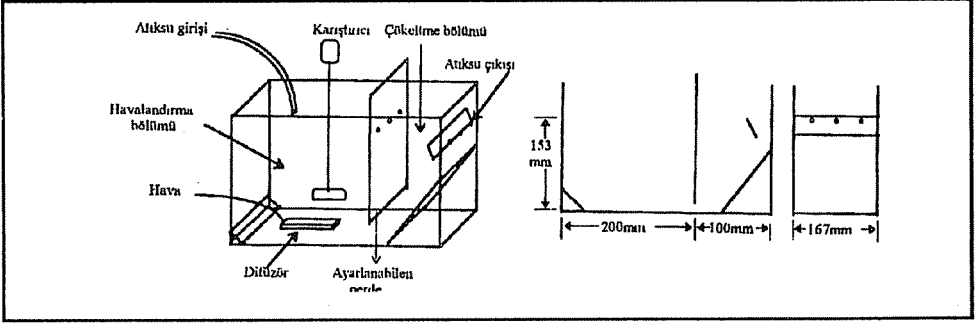
Kaynak	F/M Oranı (kgBOD/ kgMLSSgün)	Çamur yaşı (θcgün)	MLSS (mg/L)	V/Q (saat)	Yüzey yükü (m ³ /m ² .gün)	Çamur yükleme (kg/m ² .gün)	Savak yükü (m ³ /m.gün)	SVI (mL/g)
Metcalf ve Eddy,1991	0.05-0.15	20-30	3000-6000	18-36	24-32	168	250-375	-
Barnes ve Wilson, 1978	0.05-0.15	-	2000-5000	24-72	22	-	100	-
WPCF Manuel of practise, 1982	0.05	30	2000-6000	16-24	12-65	98-390	125-250	80-150
US EPA,1980	0.05-0.1	20-100	2000-6000	48-120	8-16	98-146	124-372	-
Corbitt, 1989	0.05-0.15	20-40	2000-6000	18-36	-	-	-	-

3. DENEYSSEL ÇALIŞMA

3.1. Materyal ve Metod

Bu çalışmada uzun havalandırmalı aktif çamur sisteminin arıtma veriminin incelenmesi amacıyla sürekli akımlı tam karışımlı bir reaktör kullanılmıştır. Reaktör,

pleksiglas kullanılarak, havalandırma ve çökeltme bölümleri birarada olacak şekilde imal edilmiştir. İki bölüm, yüksekliği ayarlanabilen bir perde ile birbirinden ayrılmıştır. Havalandırma bölümü 5.09 L, çökeltme bölümü 1.91 L olmak üzere reaktörün toplam hacmi 7 L'dir. Reaktörün şekli ve boyutları Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Kullanılan model tesisin şekli ve boyutları.

Deneylerde orta karakterli evsel atıksuya eşdeğer miktarda organik madde içeren sentetik atıksu kullanılmıştır. Sentetik atıksuyun bileşimi Tablo 2'de, kimyasal özellikleri Tablo 3'te verilmiştir. Deneyler sırasında sentetik atıksu günlük hazırlanarak kullanılmıştır.

Tablo 2. Kullanılan sentetik atıksuyun bileşimi (8).

Bileşen	Amaç	Kons. (mg/L)
Glukoz	karbon, enerji	240
Maya ekstraktı	karbon, N	60
NH ₄ Cl	N	90
MgSO ₄ .7H ₂ O	Mg, S	25
FeSO ₄ .7H ₂ O	Fe	1
MnSO ₄ .H ₂ O	Mn	1
CaCl ₂ .2H ₂ O	Ca	1
KH ₂ PO ₄	K, P, tampon	290
K ₂ HPO ₄	tampon	785
Musluk suyu	pH 7.80,	TÇM=340 mg/L

Tablo 3. Sentetik atıksuyun kimyasal özellikleri.

Parametre	Konsantrasyon
KOİ	320 mg/L
BOİ5	200 mg/L
BOİ5/KOİ	0.63
pH	7.2
Elek. İletkenlik	960 µS

Sistemin çamur yaşı sonsuz olarak seçilmiş, dolayısıyla çamur atılmayarak tamamı geri devir ettirilmiştir. Çamur geri devri çökeltme bölümünde çökelen çamurun, havalandırma nedeniyle oluşan karışımın etisiyle, aradaki perdenin altından havalandırma bölümüne geçmesiyle sağlanmıştır. Sistemin kararlı hale gelmesi için, çıkış KOİ konsantrasyonlarının yaklaşık olarak sabit bir değerde kalması beklenmiştir.

Deneyler oda sıcaklığında (ortalama 20°C) yapılmıştır. Sentetik atıksu bileşiminde bulunan tamponlarla pH 7.2 civarında tutulmuştur.

3.2. Deneyler

Yapılan çalışmalarda uzun havalandırmalı aktif çamur model tesisinde arıtma veriminin, aktif çamur konsantrasyonu, çözülmüş oksijen konsantrasyonu ve hidrolik bekleme süresiyle değişimi incelenmiştir.

Deneylerin başlangıcında bir arıtma tesisinden aktif çamur alınarak yoğunlaştırılmış ve reaktöre konmuştur. Daha sonra seyreltme yapılarak çamur konsantrasyonu istenen seviyeye ayarlanmıştır. Üç ayrı çamur konsantrasyonunda çalışılmıştır. Bu değerler 2000, 4000 ve 5000 mg/L civarında ayarlanmıştır. Çözülmüş oksijen konsantrasyonları ise sistemdeki oksijen konsantrasyonu ölçülerek ve hava girişindeki vanayla verilen hava miktarı ayarlanarak istenilen seviyede tutulmaya çalışılmıştır. Her çamur konsantrasyonunda sisteme verilen hava miktarına bağlı olarak 2 mg/L ve 5 mg/L çözülmüş oksijen konsantrasyonlarında 18, 24, 30 ve 36 saatlik hidrolik bekleme süreleri uygulanarak çıkış suyunun KOİ'si ölçülmüştür. Her ölçüm en az üçer defa tekrar edilerek ortalaması alınmış ve arıtma verimi hesaplanmıştır. Deneylerde organik madde tayini amacıyla BOİ5 yerine KOİ testi yapılmasının sebebi, BOİ5 testinin 5 gün süren ve stabilitesinin kolay etkilenen bir deney olması, buna karşılık KOİ testinin daha stabil olması ve 2 saatte belirlenebilmesidir (6). Bunun yanısıra KOİ-BOİ5 arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Giriş sentetik atıksuyunda BOİ5/KOİ=0.63, çıkış sularında ise ortalama BOİ5/KOİ=0.54 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla KOİ'den BOİ5'e dönüşümler kolayca sağlanabilmektedir. Ayrıca reaktördeki fiziksel ve kimyasal şartlar sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik ölçülerek kontrol edilmiştir. Çamur özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çamur hacim indeksi ölçülmüş, üreyen mikroorganizmalar mikroskopla incelenmiştir. Deneylerde uygulanan aktif çamur konsantrasyonu, hidrolik bekleme süresi, günlük organik yük ve F/M oranları Tablo 4'te verilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Bekletme Süresinin Arıtma Verimine Etkisi

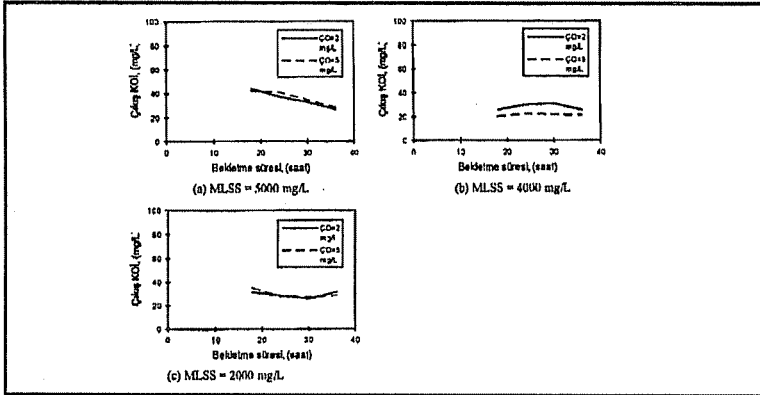
Şekil 3'e bakıldığında, uygulanan 18-36 saat bekleme süresi ve 2000-5000 mg/L MLSS konsantrasyonu aralıklarında çıkış KOİ değerlerinin yaklaşık olarak 20-40 mg/L aralığında kaldığı, böylece arıtma veriminin bekleme süresi ve aktif çamur

Tablo 4. Uygulanan organik yükler ve F/M oranları.

MLSS (mg/L)	Hidrolik Bekletme Süresi, (saat)	Günlük Organik Yük (mgBOİ5/gün)	F/M Oranı (mgBOİ/(mgMLSSgün))
2000	18	1018	0.100
	24	763.5	0.075
	30	610.8	0.060
	36	509	0.050
4000	18	1018	0.050
	24	763.5	0.0375
	30	610.8	0.030
	36	509	0.040
5000	18	1018	0.040
	24	763.5	0.030
	30	610.8	0.24
	36	509	0.20

konstrasyonuyla önemli miktarda değişmediği görülmektedir.

Coackley (1975) yaptığı çalışmalarda, giriş atıksuyundaki BOİ'nin %75'inin havalandırmanın ilk 20 dakikasında giderildiğini tespit etmiştir. Bu çalışmada ise uygulanan havalandırma süreleri ise 18-36 saat arasında olup, 20 dakikanın çok üzerindedir. Dolayısıyla bu uzun havalandırma süresi boyunca organik maddelerin büyük oranda oksidasyona uğradığı söylenebilir. Buna göre daha fazla havalandırma uygulansa bile çıkış KOİ değeri önemli oranda düşmeyecektir. Tablo 1'de ise uzun havalandırma sistemleri için bekletme süresinin çeşitli kaynaklar tarafından 16-120 saat arasında verildiği görülmektedir. Bu sürelerin hangi tür atıksular için olduğu ise kaynaklarda belirtilmemiştir. Ancak elde edilen sonuçlara göre, evsel atıksular gibi zor parçalanmayan organik maddeler içeren ve organik yük yönünden çok kuvvetli olmayan atıksuların bu kadar uzun sürelerde havalandırılmasının arıtma verimi açısından bir fayda sağlamayacağı sonucu çıkarılabilir.



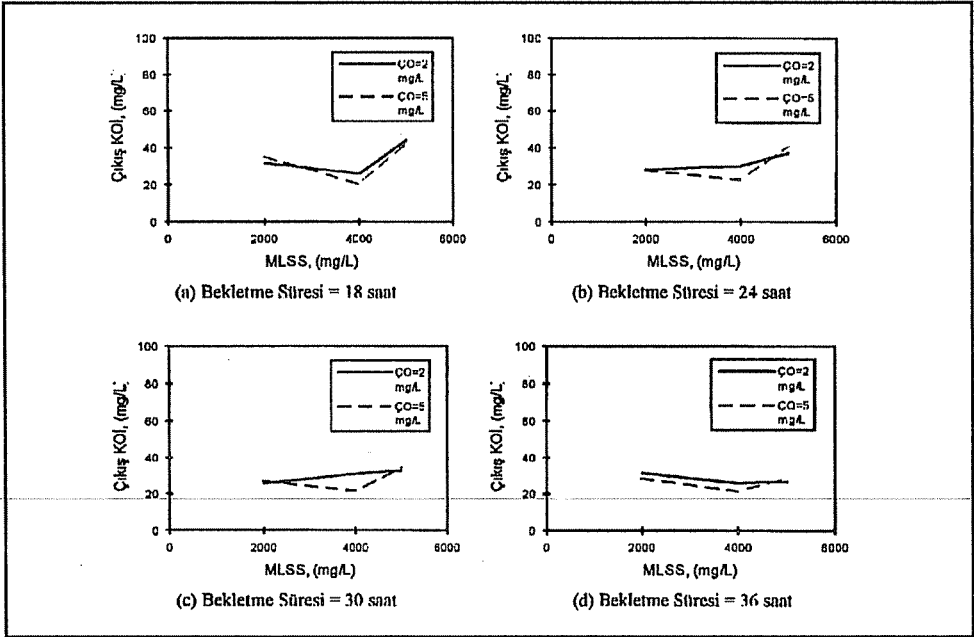
Şekil 3- a,b,c. Farklı aktif çamur konsantrasyonlarında arıtma veriminin bekletme süresi ve oksijen konsantrasyonu ile değişimi.

Diğer taraftan, bekletme süresinin arttırılması F/M oranının düşmesi anlamına gelmektedir. Bu durumda ortamdaki substrat daha kısa sürede tüketilecek ve içsel solunumun baskınlığı artacaktır. Johnstone (1984), F/M oranı 0.048 kgBOİ/kgMLSSgün değerinin altına düştüğünde, uzun havalandırmalı tesislerin bir aktif çamur sisteminden çok aerobik çamur çürütücü gibi davrandığını belirtmiştir. Buna dayanılarak düşük F/M oranlarında aktif çamurun daha fazla stabilize olarak son ürünlere dönüşeceği ve çamur tasfiyesine gerek kalmayacağı söylenebilir. Bu yönden bekletme süresinin uzun olması avantaj gibi görünmektedir. Ancak, deneyler sırasında bekletme süresinin arttırılmasından dolayı F/M oranının çok düştüğü dönemlerde sistemde filamentli bakteriler ürediği tesbit edilmiştir. Jenkins ve arkadaşları (1984), düşük organik yüklemelerin (düşük F/M oranları) filamentli bakterilerin üremesine ve bunun da çamur kabarmasına (bulking sludge) sebep olabileceğini bildirmişlerdir. Çamur kabarması ise çökeltme bölümünden çamur kaçmasına ve dolayısıyla çıkış suyu kalitesinin bozulmasına yolaçabilmektedir. Bu durum dikkate alındığında bekletme süresinin çok uzun uygulanmasının çamur kalitesi açısından dezavantaj yaratabileceği görülmektedir.

Deney sonuçlarını gösteren grafiklere bakıldığında (Şekil 3 ve 4), aktif çamur konsantrasyonu 2000 mg/L'den 5000 mg/L'ye yükseldikçe, çıkış KOİ değerlerinde de küçük bir düşüş meydana geldiği görülmektedir. Bununla beraber çıkış KOİ değerleri birbirine çok yakındır. Aktif çamur konsantrasyonunun artmasıyla arıtma veriminde meydana gelen küçük düşüş ise, aktif çamurun aktivitesinin azalmasına bağlanabilir. Çünkü tesise gelen organik yük sabitken aktif çamur konsantrasyonunun artmasıyla F/M oranı düşmekte ve Johnston (1984)'a göre yüksek F/M oranlarında aktif çamurun aktivitesi artmaktadır. Bunun yanında, çok düşük F/M oranları çamur kabarmasına sebep olabileceğinden dolayı (7), tesise gelen organik yüke bağlı olarak, aktif çamur konsantrasyonunun çok yüksek tutulmaması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Ayrıca aktif çamur konsantrasyonunun yükselmesiyle sisteme verilmesi gereken hava miktarının ve dolayısıyla işletme maliyetinin yükseleceği de gözönünde tutulmalıdır.

4.2. Çözünmüş Oksijen Konsantrasyonunun Arıtma Verimine Etkisi

Şekil 3 ve 4'te, farklı bekletme süreleri ve aktif çamur konsantrasyonlarında uygulanan 2 mg/L ve 5 mg/L oksijen konsantrasyonlarında elde edilen çıkış KOİ değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Dolayısıyla oksijen konsantrasyonunun 2mg/L'den 5 mg/L'ye yükseltilmesinin arıtma verimi üzerinde pek etkili olmadığı söylenebilir. Bu durumun anlaşılabilmesi için sisteme verilen oksijenin ne şekilde kullanıldığıının, yani oksijen ihtiyacının belirlenmesi gerekir.



Şekil 4-a,b,c,d. Farklı bekleme sürelerinde arıtma veriminin aktif çamur ve çözünmüş oksijen konsantrasyonlarıyla değişimi.

Uzun havalandırılmalı sistemlerle evsel atıksuların arıtımında karbonlu bileşikler için oksijen ihtiyacının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikten yararlanılabilir (1):

$$R = aS + bXV \quad (1)$$

R= günlük oksijen tüketimi, (kg/gün)

S= giderilen substrat miktarı, (BOİ₅), (kg/gün)

X= mikroorganizma konsantrasyonu, (MLSS), (kg/m³)

V= havalandırma tankı hacmi, (m³)

Bu eşitlikte a katsayısı birim substratın oksidasyonu için gerekli oksijen miktarını, b katsayısı ise içsel solunum oranını ifade eder. Ilıman iklimlerde ham evsel atıksuların arıtılmasında uzun havalandırılmalı sistemler için karbonlu bileşiklerin oksidasyonunda gerekli oksijen miktarı ise şu eşitlikten yararlanılarak hesaplanabilir (1):

$$R = S + 0.024 X V r_{20} \theta^{(T-20)} \quad (2)$$

Burada;

T= aktif çamurun sıcaklığı, (°C)

r₂₀= 20°C'deki içsel solunum oranı, (mgO₂/gMLSSsaat)

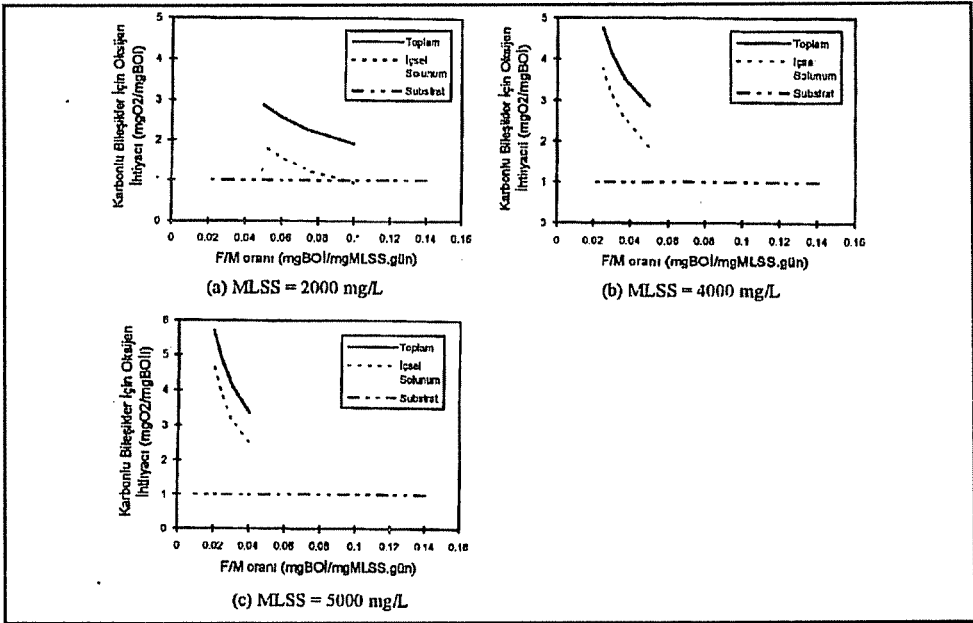
Bu eşitlikte içsel solunum oranını ifade eden b katsayısı, T=20°C için r değeri 3.9 mg/MLSS.saat alınarak hesaplandığında 0.094 bulunur. Bu durumda Eşitlik 1;

$$R=S+0.094XV \quad (3)$$

halini alır. Bu eşitliğin her iki tarafı S ile bölünerek ve F/M oranına eşit olan S/XV terimi U ile ifade edilerek, Eşitlik 3;

$$\frac{R}{S} = 1 + \frac{0.094}{U} \quad (4)$$

şeklinde yazılabilir. Bu eşitlikteki birinci terim sisteme verilen birim organik yük için gerekli toplam oksijen ihtiyacını, ikinci terim substrat için gerekli oksijen miktarını ve üçüncü terim içsel solunumda kullanılan oksijen miktarını ifade etmektedir. Bu üç ifadenin 2000, 4000 ve 5000 mg/L MLSS konsantrasyonlarında, 18, 24,30 ve 36 saatlik bekleme sürelerindeki organik yüklemeler için çizilen grafikleri Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5- a,b,c. Farklı MLSS konsantrasyonlarında F/M oranıyla karbonlu maddelerin oksijen ihtiyacının değişimi.

Bu grafiklere göre, teorik olarak, F/M oranının artmasıyla içsel solunum için gereken oksijen miktarı düşmekte, substrat için gerekli oksijen ise sabit kalmaktadır. F/M oranı düşürüldüğünde ise içsel solunumun baskınlığı artmakta ve sisteme verilen oksijenin büyük kısmı içsel solunumda kullanılmaktadır. Bunun sonucunda çamur daha fazla stabilize olmakta ve çamur üretimi azalmakta, oksidasyona uğrayan substrat miktarı ise artış göstermemektedir (1). Diğer taraftan Vosloo (1970), belirli miktardaki mikroorganizmanın, belirli şartlar altında, sisteme fazla miktarda oksijen temin edilse bile, ancak sınırlı miktarda organik maddeyi okside edebileceğini ifade etmiştir. Oksijen konsantrasyonu kritik değerin üzerinde olduğunda substrat giderimine sınırlayıcı etki yapmamaktadır. Bu teorik bilgilerle, deneylerde elde edilen sonuçlar paralellik göstermekte, çözülmüş oksijen konsantrasyonunun 2 mg/L'den 5 mg/L'ye yükseltilmesi arıtma verimini belirgin şekilde artırmamaktadır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada bir uzun havalandırılmalı aktif çamur model arıtma tesisinde, orta karakterli evsel atıksu özelliklerine benzetilerek hazırlanan sentetik atıksu kullanılarak arıtma veriminin çeşitli parametrelerle değişimi incelenmiştir. Deneylerden elde edilen bulgular değerlendirildiğinde ortaya çıkan sonuçlar şunlardır:

1. Bekletme süresinin, 18 saatten 36 saate yükseltilmesinin çıkış suyu KOİ konsantrasyonunu belirgin şekilde etkilemediği tespit edilmiştir.
2. Çözülmüş oksijen konsantrasyonunun 2 mg/L'den 5 mg/L'ye yükseltilmesiyle çıkış KOİ konsantrasyonu belirgin bir değişme göstermemiştir.
3. Aktif çamur konsantrasyonunun 2000 mg/L'den 5000 mg/L'ye yükseltilmesi arıtma verimini çok az miktarda düşürmüştür.
4. Bekletme süresi, çözülmüş oksijen ve aktif çamur konsantrasyonları, uygulanan aralıklarda arıtma verimini önemli ölçüde etkilememekle beraber, bu parametreler sistemin sağlıklı çalışması ve çamur üretiminin azaltılabilmesi yönünden önemlidir.

Sonuç olarak, bu tür arıtma tesislerinin ön yatırım ve işletme maliyetlerinin en düşük seviyede tutulabilmesi için sistemin iyi analiz edilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

6. KAYNAKLAR

1. Johnstone, D. W. M., *Oxygen Requirements, Energy Consumption and Sludge Production in Extended-Aeration Plants. Water Pollution Control*, 83, 1, 100-115, 1984.
2. Gemmell, J. S., Herbert, J. C., *The Design and Operation of an Extended Aeration Plant in Western Canada. Water Pollution Control*, 84, 4, 535-543, 1985.
3. Middlebrooks, E. J., Jenkins, D., Neal, R. C., Phillips, J. L., *Kinetics and Effluent Quality in Extended Aeration. Water Research*, 3, 39-46, 1969.

4. EPA, *Design Manuel: Onsite Wastewater Treatment and Disposal Systems*. 625/1-80-012, 143-155, 1980.
5. Corbitt, R. A., *Standart Handbook of Environmental Engineering*. McGraw-Hill, Inc, 1989.
6. Argaman, Y., Hucks, C. E., Shelby Jr, S. E., *The Effects of Organotion on the Activated Sludge Process*. *Water Research*, 18, 5, 535-542, 1984.
7. Coackley, P., O'Neill, J., *Sludge Activity and Full-Scale Plant Control*. *Water Pollution Control*, 401-411, 1975.
8. Bisogni Jr., J. J., Lawrence, A. W., *Relationships Between Solids Retention Time and Settling Characteristics of Activated Sludge*. *Water Research*, 5, 753-763, 1971.
9. Metcalf and Eddy, *Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse*. McGraw-Hill Inc., Third Edition, 1991.
10. Jenkins, D., Richard, M. G., Neethling, J. B., *Causes and Control of Activated Sludge Bulking*. *Water Pollution Control*, 455-472, 1984 .
11. Vosloo, P. B. B., *Some Factors Relating to the Design of Activated Sludge Plants*. *Water Pollution Control*, 486-495, 1970.

Proje Yönetiminde Parasal Kaynak Dengelenmesinin Paket Program Yardımıyla Çözümü <i>Leveling Financial Resource on Project Management by Using Software</i> M.Emin ÖCAL, Nuran KAYA	115
Zemin-Yapı Etkileşimi Problemlerinin Sonlu-Sonsuz Elemanlar Modeli ile Statik Analizi <i>Static Analysis of Soil-Structure Interaction Problems Using Finite and Infinite Elements</i> Beytullah TEMEL, Erhan KIRAL	127
Segman Yerleştirilmiş Borularda Navier-Stokes Denklemlerinin Nümerik Çözümü <i>Numerical Solution of Navier-Stokes Equations in Tubes with Inserted Rings</i> Tuncay YILMAZ, Yasin VAROL	141
Isıtma ve Soğutma Amaçlı Isı Pompası Sisteminin Tasarımı ve Tanıtılması <i>Design and Introducing of a Heat Pump System for Heating and Cooling Purposes</i> Tuncay YILMAZ, Muammer ÖZGÖREN	155
Döner Tip Rejeneratör Etkinliğinin Transfer Birimi Sayısı ve Isıl Kapasite Oranı ile Değişimi <i>Variation of Rotary Regenerator Effectiveness with the Number of Transfer Unit and Heat Capacity Rate</i> Şaban ÜNAL, Tuncay YILMAZ.....	167
Çukurova Bölgesi İçin Küçük Ölçekli Fotovoltaik Sistem Tasarımı <i>Analysis of Photovoltaic Electricity Production in Adana</i> Orhan BÜYÜKALACA, Mustafa KARAÇORLU.....	181
Saw-Gın Çırcır Makinası Performans Araştırması-Teorik Yaklaşım <i>Performance Investigation of Saw-Gin Ginning Machines-Theoretical Approach</i> Erdem KOÇ, Alper YATÇI.....	195
Levhali Tip Çapraz Akışlı Isı Değiştirgeçlerinin İncelenmesi <i>Cross-Flow Heat Exchangers and Testing of Its Plate Type</i> R.Tuğrul OGULATA, Füsün DOBA	209
Delihalil ve Yöreşi (Ceyhan) Kuvaterner Bazaltlarının Petrografik ve Hidrojeolojik Özellikleri <i>Petrographical and Hydrogeological Characteristics of Quaternary Basalts Delihalil (Ceyhan) Area</i> Nurettin PELEN, Fikret İŞLER.....	221
O.A.L. Çayırhan Kömür İşletmesinde Kömür Kesimi, Nakliyesi ve Rumble Atımı Gibi Faaliyetler Esnasında Oluşan Tozun Azaltılmasına Yönelik Çözümler <i>Dust Control Techniques During Production, Conveying, Rumble etc. in Middle Anatolian Lignite Establishment, Çayırhan Underground Mine.</i> Abdurrahman DALGIÇ, Oktay BAYAT	233
Uzun Havalandırılmalı Aktif Çamur Sistemlerinde Arıtma Veriminin İncelenmesi <i>Investigation of Treatment Efficiency in Extended Aeration Activated Sludge Systems</i> Ahmet YÜCEER, Hakan DULKADİROĞLU	243