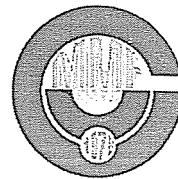




ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ



ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT
VOL 21

SAYI
NO. 1-2

Haziran/Aralık
June/December

2006

ISSN 1019-1011

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Temperature Distribution of Multipass Tig Welded AISI 304L Stainless Steels <i>Paslanmaz AISI 304L Çelik Sacların Çok Pasolu Tig Kaynağında Isı Dağılımı</i> Uğur EŞME, Melih BAYRAMOĞLU	1
Investigation of White Layer Formation in Liquid Nitriding of AISI 1030 and 4140 Steels <i>AISI 1030 ve 4140 Çeliklerin Sıvı Nitrasyonunda Beyaz Tabaka Oluşumunun Araştırılması</i> Funda KAHRAMAN, Mustafa Kemal KÜLEKÇİ, Uğur EŞME	15
Effect of Welding Process on Microstructure of Stainless Steels <i>Paslanmaz Çeliklerde Kaynak İşleminin Mikroyapıya Etkileri</i> Uğur EŞME	25
Akdeniz Bölgesinde Yatay Düzleme Gelen Günlük Toplam Güneş İşinimini Modellenmesi <i>Modelling of Daily Global Solar Radiation on a Horizontal Surface in the Mediterranean Region</i> Hüsamettin BULUT, Orhan BÜYÜKALACA, Tunç YILMAZ	33
Tekstil İşletmelerinde Maliyet Hesaplamları-Dokuma Kumaş Maliyeti <i>Cost Calculation in Textile Mills-Woven Fabric Cost</i> Emel KAPLAN, Erdem KOÇ	45
Böşluklu Deprem Perdelerinde Güçlendirici Kiriş Konumunun Önemi <i>The Importance of the Location of Stiffening Beams in Coupled Shear Walls</i> Murat BİKÇE, Engin EMSEN, Orhan AKSOĞAN	63
Kırılan Dalga Çarpmasına Maruz Düşey Plakların Dinamik ve Eşdeğer Statik Analizi <i>Dynamic and Equivalent Static Analysis of Vertical Plates Exposed to Wave Breaking</i> M. Salih KIRKGÖZ, Banu YÜKSEL	71
Yatay Bir Dairesel Silindir Etrafındaki Akımda Hız Alanının Deneysel ve Teorik İncelenmesi <i>Experimental and Theoretical Investigation of Velocity Field of Flow Around a Horizontal Circular Cylinder</i> M. Salih KIRKGÖZ, A. Alper ÖNER	85
Türk Deprem Yönetmeliği 98'de Önerilen Yatay Öteleme Koşullarının İrdelenmesi <i>A Study on the Limitation of Story Drifts used in Turkish Earthquake Code 98</i> Cengiz DÜNDAR, İ. Fatih KARA, Berkay DİLMAÇ	99

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDISLIK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ**

Çukurova University, Journal of Faculty of Engineering and Architecture

Sahibi

Tuncay YILMAZ

Cukurova Üniversitesi

Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanı

Editör

Mesut ANIL

YAYIN KURULU

Mesut ANIL

Melih BAYRAMOĞLU

Hasan ÇETİN

Recep YURTAL

Osman BABAARSLAN

YAZI İNCELEME KURULU (Editorial Board)

(SÜREKLİ)

i.Deniz AKÇALI (Ç.Ü.)
Ahmet AYHAN (S.Ü.)
A.Feyzi BİNGÖL (F.U.)
İlhan ERHAN (M.S.Ü.)
Cahit HELVACI (D.E.Ü.)
Erdal KEREY (İ.U.)
Erdem KOC (C.Ü.)
İşık ÖZPEKER (İ.T.Ü.)
Hamit SERBEST (C.Ü.)
İbrahim UZMAY (E.U.)
Cengiz YETİŞ (Ç.Ü.)

Orhan AKSOĞAN (C.Ü.)
Sedat TEMUR (S.Ü.)
Cavit DEMİRKOL (C.Ü.)
Aziz ERTUNC (C.Ü.)
M.Baki KARAMÍS (E.Ü.)
Salih KIRKGÖZ (C.Ü.)
Güven ÖNAL (İ.T.Ü.)
Kazım PIHTILI (F.U.)
Bedri TUC (G.Ü.)
Servet YAMAN (C.Ü.)
Tuncay YILMAZ (Ç.Ü.)

(Bu Sayıda Görüşlerinden Yararlanılan Diğer Hakemler)

Hüseyin AKILLI (C.Ü.)
M.Sami AKÖZ (C.Ü.)
H.Murat ARSLAN (C.Ü.)
Ali BERKTAY (S.Ü.)
Faruk Fırat CALIM (M.K.Ü.)
Nihat ÇELİK (C.Ü.)
Hakan GÜNEYLİ (C.Ü.)
Ahmet GÜZEL (C.B.Ü.)
Cafer KAYADELEN (N.Ü.)
Emel LAPTAŞLI ORAL (M.K.Ü.)
Mustafa MAMAK (Ç.Ü.)
Erol ÖZER (M.Ü.)
Zeliha SELEK (C.Ü.)
Sükru SU (E.U.)
Şavaş ŞENER (M.Ü.)
A.Kamil TANRIKULU (C.Ü.)
Fundu YILDIRIM (M.Ü.)

Murat AKSOY (C.Ü.)
Mehmet ARDIÇLOĞLU (E.Ü.)
Mesut BAŞIBÜYÜK (C.Ü.)
Murat BİKÇE (M.K.Ü.)
Hanife ÇANAKÇI (G.Ü.)
Abdulkadir EKSİ (C.Ü.)
Kemal GÜRBÜZ (C.Ü.)
Tefruk HAKTANİR (E.Ü.)
Ali KESKİN (M.Ü.)
Mustafa LAMAN (C.Ü.)
Veysel ÖZCEYHAÑ (E.Ü.)
Galip SECKİN (C.Ü.)
Metin Hakan SEVERCAN (N.Ü.)
Beşir ŞAHİN (C.Ü.)
A.Hanıza TANRIKULU (C.Ü.)
Fatih ÜNES (M.K.Ü.)
A.Azim YILDIZ (Ç.Ü.)

YAZISMA ADRESİ

Ç.Ü., Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Dergi ve Yayın Kurulu Başkanlığı

01330 Balcalı / ADANA

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

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

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ**



**ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE**

CILT 21
VOL

SAYI
NO

1-2

Haziran/Aralık
June/December

2006

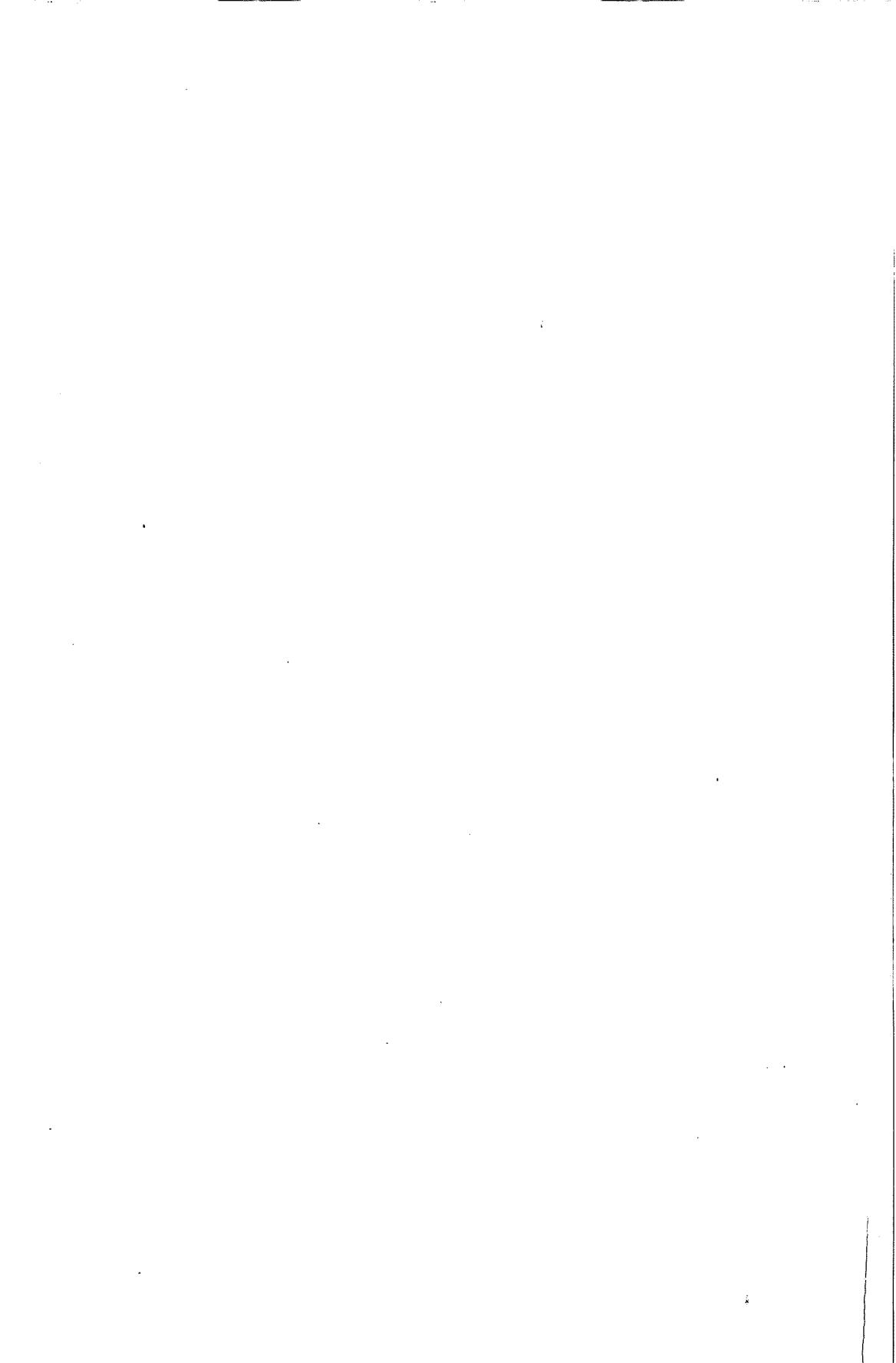
ISSN 1019-1011

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Temperature Distribution of Multipass Tig Welded AISI 304L Stainless Steels <i>Paslanmaz AISI 304L Çelik Sacların Çok Pasolu Tig Kaynağında Isı Dağılımı</i> Uğur EŞME, Melih BAYRAMOĞLU	1
Investigation of White Layer Formation in Liquid Nitriding of AISI 1030 and 4140 Steels <i>AISI 1030 ve 4140 Çeliklerin Sıvı Nitrasyonunda Beyaz Tabaka Oluşumunun Araştırılması</i> Fundu KAHRAMAN, Mustafa Kemal KÜLEKÇİ, Uğur EŞME	15
Effect of Welding Process on Microstructure of Stainless Steels <i>Paslanmaz Çeliklerde Kaynak İşleminin Mikroyapıya Etkileri</i> Uğur EŞME	25
Akdeniz Bölgesinde Yatay Düzleme Gelen Günlük Toplam Güneş Işınınının Modellenmesi <i>Modelling of Daily Global Solar Radiation on a Horizontal Surface in the Mediterranean Region</i> Hüsamettin BULUT, Orhan BÜYÜKALACA, Tuncay YILMAZ	33
Tekstil İşletmelerinde Maliyet Hesaplamları-Dokuma Kumaş Maliyeti <i>Cost Calculation in Textile Mills-Woven Fabric Cost</i> Emel KAPLAN, Erdem KOÇ	45
Böşluklu Deprem Perdelerinde Güçlendirici Kiriş Konumunun Önemi <i>The Importance of the Location of Stiffening Beams in Coupled Shear Walls</i> Murat BİKÇE, Engin EMSEN, Orhan AKSOĞAN	63
Kırılan Dalga Çarpmasına Maruz Düşey Plakların Dinamik ve Eşdeğer Statik Analizi <i>Dynamic and Equivalent Static Analysis of Vertical Plates Exposed to Wave Breaking</i> M.Salih KIRKGÖZ, Banu YÜKSEL	71
Yatay Bir Dairesel Silindir Etrafındaki Akımda Hız Alanının Deneysel ve Teorik İncelenmesi <i>Experimental and Theoretical Investigation of Velocity Field of Flow Around a Horizontal Circular Cylinder</i> M. Salih KIRKGÖZ, A. Alper ÖNER	85
Türk Deprem Yönetmeliği 98'de Önerilen Yatay Öteleme Koşullarının İrdelenmesi <i>A Study on the Limitation of Story Drifts used in Turkish Earthquake Code 98</i> Cengiz DÜNDAR, İ. Fatih KARA, Berkay DİLMAÇ	99

Yeni Bir Yük Kontrollü Üç Eksenli Deney Düzeneği ile Gerilme İzli Üç Eksenli Basınç Deneyleri <i>Using a New Load Controled Tri-Axial Test Apparatus in Stress Path Triaxial Test</i>	M. Arslan TEKİNSOY, Taha TAŞKIRAN	113
Tarsus/Yenice Kılinde Düzlemsel Anizotropik Elastik Parametrelerin Saptanması <i>Determination of Cross-Anisotropic Elastic Constants of Tarsus/Yenice Clay</i>	M. Arslan TEKİNSOY, Taha TAŞKIRAN	123
Çelik Yapıların SAP2000 Programı ile Analiz ve Tasarımı <i>Analysis and Design of Steel Structures by using SAP2000</i>	Sinem KOCABAŞ, Beytullah TEMEL	139
Bileşik Kesitli Akarsu Yataklarında İki Boyutlu Yöntemlerle Debi Tayini <i>Determination of Discharge Capacity of Compound Channels with 2-D Methods</i>	Mustafa MAMAK, Galip SEÇKİN	153
Konveksiyon-Difüzyon Problemlerinin Sonlu Hacim Yöntemi ile Analizi <i>Analysis of Convection-Diffusion Problems with Finite Volume Method</i>	Eyüp Gökmen FİLİNTE, Mustafa MAMAK	163
Kıyıya Dik Doğrultudaki Sediment Taşımının Deneysel İncelenmesi <i>Laboratory Investigation of Cross-Shore Sediment Transport</i>	M. Sami AKÖZ, Mustafa DEMİRCİ	177
Yapay Sinir Ağları ve Regresyon Teknikleri ile Botan Çayı Aylık Taşınan Sediment Miktarının Modellemesi <i>Modelling of Monthly Sediment Transport Amount of Botan Stream using Neural Networks and Regression Techniques</i>	Nizamettin HAMİDİ, Mustafa DEMİRCİ	193
Diyarbakır İli, Yeni Mücavir Alanın Rezidüel Kilinin Şişme Potansiyelinin İrdelenmesi <i>Evaluation of Swelling Potential of Residuel Clay of New Settlement Area in Diyarbakır Province</i>	Taha TAŞKIRAN	209
Beton Davranışında Mikromekanik Modelleme <i>Micromechanical Modelling in Concrete Behavior</i>	Murat ÖRNEK, Babür DELİKTAŞ, Ferhun Cem CANER, Mustafa DEMİRCİ	217
Akarsularda Kati Madde Miktarının Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmini <i>Modeling River Suspended Sediment Yield using Artificial Neural Networks</i>	Murat ÇOBANER, Burhan ÜNAL, Özgür KİŞİ, Serap ÜNAL	229
İplik Eğirmede Bilgisayar Destekli Proses Kontrol <i>Computer Aided Process Control in Yarn Spinning</i>	Emel Ceyhun SABİR, Ömer ERDOĞAN	237
Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Örtü Reaktöründe Siyanür Giderimi <i>Cyanide Removal in Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor</i>	Turan YILMAZ, Ahmet YÜCEER	255

Derin Deniz Deşarjında Kirlilik Dağılımının Bilgisayar Destekli İncelenmesi <i>Investigation of Pollution Dispersion of Deep Sea Discharge by Supported with Computer Modeling</i>	267
Zeyrek Alper KOCAMIŞ, Galip SEÇKİN	
Bazı Tekstil Boyalarının Sulu Çözeltiden Giderilmesinde Su Bitkisi (<i>Potamogeton Natans</i>)'ın Adsorbent Olarak Kullanılması <i>The use of Aquatic Plant (<i>Potamogeton Natans</i>) as an Adsorbent for the Removal of Some Textile Dyes from Aqueous Solutions</i>	277
Olcayto KESKINKAN, Ahmet YÜCEER	
Personel Eğitim İhtiyaç Değerlendirmesi İçin Bir Karar Destek Yazılımı Uygulaması <i>A Decision Support Software Application for Personnel Training Needs Assessment</i>	289
Esra GÜNDÜZ, Oya H.YÜREGİR	
Çamlıhayaya (Tarsus Kuzeyi) Güney Kesiminin Stratigrafisi <i>Stratigraphy of Southern Çamlıhayaya (North of Tarsus)</i>	301
Mehmet GÖK, Cavit DEMİRKOL, Ulaş İnan SEVİMLİ	
Fayların Zeminler Üzerindeki Etkisi: Kuzey Anadolu Fay Zonu Gerede (Bolu) Segmenti <i>The Effect of Faulting on Soils: Gerede (Bolu) Segment of The North Anatolian Fault Zone</i>	315
Hasan ÇETİN, Osman GÜNAYDIN, Mustafa FENER	
Handere Kilinde Su İçeriği ve Kompaksiyon Enerjisinin Mukavemet Etkisi <i>The Effect of Water Content and Compaction Energy to Strength in Handere Clay</i>	323
Arzu PALALI, Ergül YAŞAR, Ahmet DEMİR	

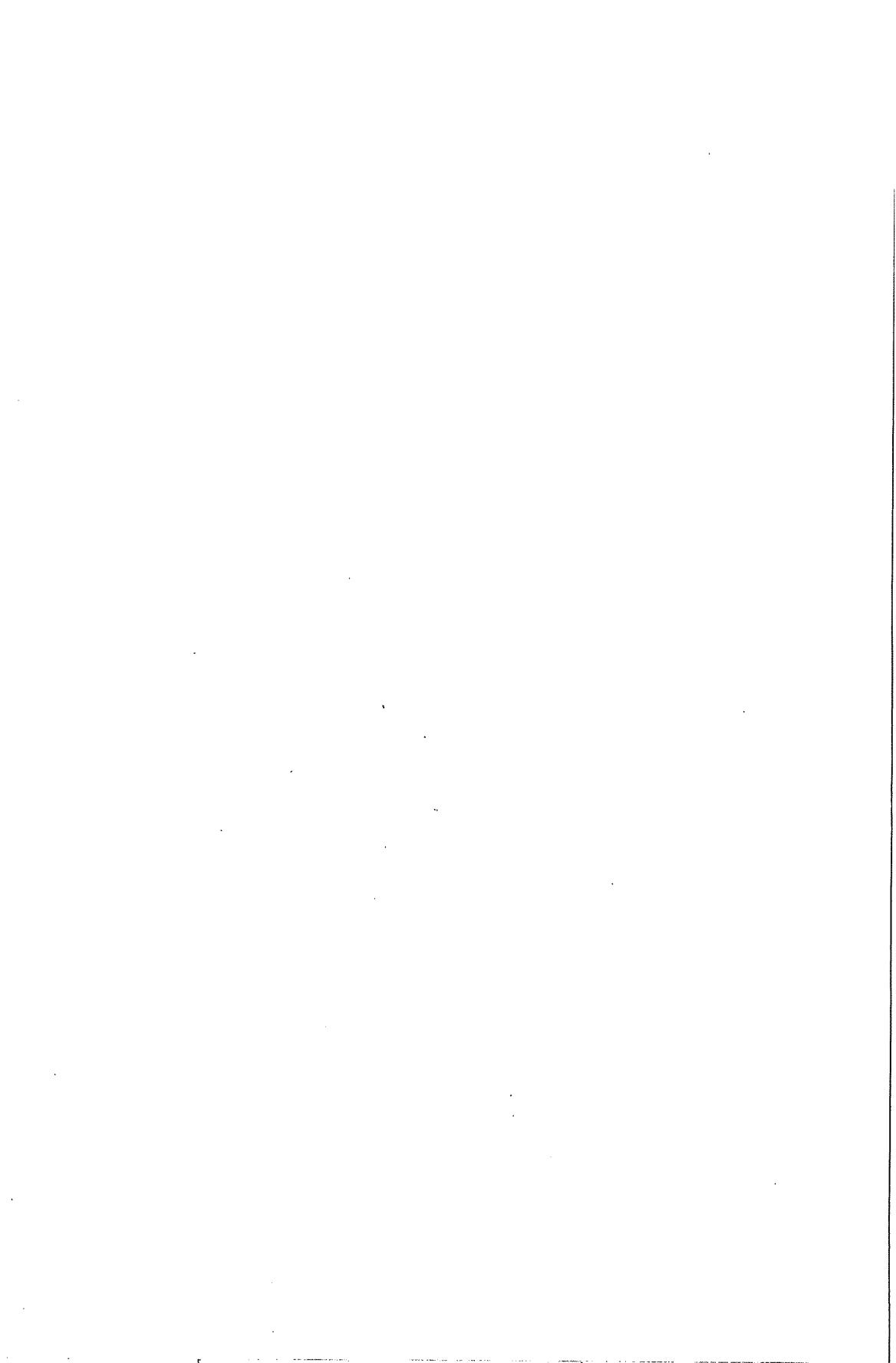


ÖNSÖZ

Fakülte Dergimizin 21. cilt 1. ve 2. sayısını birlikte yayınıyoruz. 2006 yılına ait bu ciltde 3'ü İngilizce ve 24'ü Türkçe olmak üzere 27 adet makale yer almaktadır. Bundan sonra yayınlanacak olan 2007 yılı 1. sayısını da Haziran ayında yayımlamayı planlıyoruz. Dergimize değerli öğretim elemanlarımızın güncel çalışmalarını bekler, gösterdikleri ilgiye teşekkür ederiz.

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

Yayın Kurulu



TEMPERATURE DISTRIBUTION OF MULTIPASS TIG WELDED AISI 304L STAINLESS STEELS

Uğur EŞME and Melih BAYRAMOĞLU

C.U., Faculty Department of Mechanical Engineering, Adana/Türkiye

ABSTRACT : *Tungsten inert gas welding (TIG) is one of the most important material-joining processes widely used in industry. AISI type 304L stainless steel plates with 8 and 10 mm thicknesses are widely used in the fabrication of pressure vessels and other components. These plates are mostly joined together by multipass welding methods. The temperature distribution that occurs during multipass welding affects the material microstructure, hardness, mechanical properties and the residual stresses that will be present in the welded material. Very limited experimental data regarding temperature distribution during multipass welding of plates is available in the literature. Experimental work was carried out to find out the temperature distribution during multipass welding of the AISI 304L stainless steel plates. The temperature distribution curves obtained during the experiments are presented. Average maximum temperature rise during each pass of welding is calculated and plotted against the distance from the weld pad centre line. From these plots, the maximum temperature rise expected in the base plate region during any pass of welding operation can be estimated.*

PASLANMAZ AISI 304L ÇELİK SACLRARIN ÇOK PASOLU TIG KAYNAĞINDA ISI DAĞILIMI

ÖZET : *TIG kaynağı, endüstride paslanmaz çelik sacların kaynağından kullanılan en önemli kaynak çeşitlerinden biridir. Paslanmaz çelik boru ve basıncı kap imalatında kullanılan paslanmaz çelik türü 8 ve 10 mm kalınlığında AISI 304L'dir. Bu tür çeliklerin kaynağından genel olarak çok pasolu kaynak işlemi tercih edilir. Çok pasolu kaynak işleminde, malzeme üzerinde oluşan ısı dağılımı malzemenin mekanik özelliklerini ve sertliğini etkileyerek malzeme içerisinde artık gerilmelere sebep olur. Literatürde çok pasolu kaynak alanında yapılmış çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada, AISI 304L paslanmaz çeliğin çok pasolu TIG kaynağında oluşan ısı dağılımını bulmak için deneysel çalışmalar yapılmış olup, malzemeye ait ısı dağılımları zamanla bağlı olarak grafiksel olarak gösterilmiştir. Isı dağılımını bulmada kullanılan isıl eleman çiftinin kaynak hattı bölgесine olan uzaklığa göre her bir kaynak pasosu için ortalama maksimum ısı yükselmeleri hesaplanmış olup sonuçlar grafiksel yöntemlerle analiz edilmiştir. Bu çalışma ile AISI 304L paslanmaz çelik sacların çok pasolu kaynağında kaynak hattı boyunca olan ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) genişliğini önceden belirlenemekle beraber mikro yapıda olası değişiklikler ve bozunmalar da kaynak öncesi tahmin edilebilmektedir.*

1. INTRODUCTION

Welding is one of the most important material-joining processes widely used in industry. Plates of different thicknesses are used for the fabrication of components, depending upon the applications. Among the plates, low carbon steel and AISI type 304L stainless steel plates are widely used in the fabrication of pressure vessels and other components. In most of the applications, the plates are welded using multipass welding methods [1]. The temperature distribution that occurs during multipass welding affects the material microstructure, hardness, mechanical properties and the residual stresses that will be present in the material after cooling to room temperature. Very limited experimental data regarding temperature distribution during multipass welding of plates is available in the literature [2]. In this paper, the temperature distribution obtained experimentally during multipass welding of plates with 8 and 10 mm thicknesses are presented.

2. EXPERIMENTAL WORK

2.1. Workpiece

The material of plates selected for the experiments is AISI type 304L stainless steel. Typical chemical composition of the materials used in this experimental work are given in Table 1. Two plates of size 120x150 mm (thickness of 8 and 10 mm) which would form a single V-groove joint between them were used during the experiments to make a finished weld pad.

Table 1. Chemical composition of the workpiece [3]

Material	Percent Composition (%)								
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Ni	Cu
AISI304L	0.02	1.52	0.02	0.017	0.53	18.09	0.25	8.49	0.11

The two plates to be welded were tacked together at both ends before commencing welding with a uniform gap of 1.5 mm between the plates, as is the general practice in industrial fabrication.

2.2. Filler Metals

The thickness of the part to be welded will determine the need for filler metal. Material thinner than the 4.2 mm can be successfully welded without filler metal additions. Filler metal when needed, can be added manually in straight length or automatically. AWS A5.9 ER308L filler metal was used in the temperature measurement during multipass welding of stainless steels. The chemical composition of the filler metal used in welding of 8 mm and 10 mm thickness specimens are shown in Table 2.

Table 2. The composition of filler metal used in multipass welding [4]

Workpiece	Filler Type	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	S	P
AISI 304L	ER308L	0.030	0.40	1.80	10.5	20.0	0.30	0.25	0.030

2.3. Electrode

In this study, AWS A 5.12-80 EW Th-2 Thoriated Tungsten (red color coded) was used as an electrode material. The shape and corresponding dimensions of the electrodes used in the experiments are shown in Figure 1.

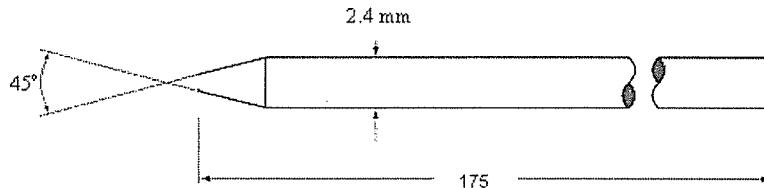


Figure 1. Electrode shape and dimensions used in the experiments

2.4. Mechanical Welding Robot

The designed mechanical welding robot, shown in Figure 2, was arranged for the linear movement on the weld pad center line. Some modifications were made on the system to adapt according to the TIG welding process.

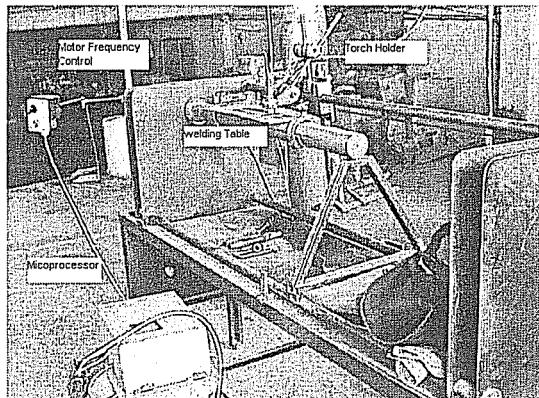


Figure 2. Welding robot used in the experiments

In order to determine the velocity of the welding torch over the weld path centerline, the frequency calibrations were adjusted from 10 Hz to 70 Hz. The calibration of the velocity and frequency control of the welding robot was made and the related velocity-time graph of robot is shown in Figure 3 and Figure 4 respectively.

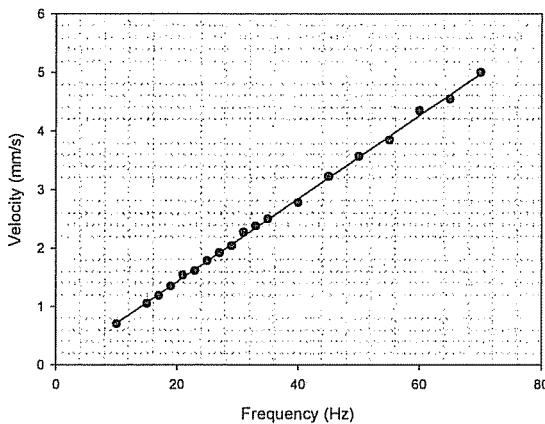


Figure 3. Calibrated torch velocity-frequency control

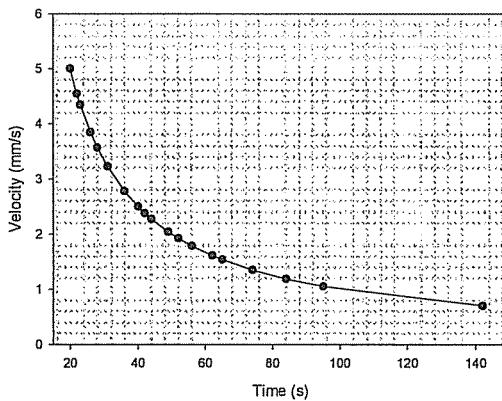


Figure 4. Calibrated torch velocity-frequency control

2.5. Measurement of Temperature Distribution

K type thermocouples (T/C) were used to measure the temperature distribution during multipass welding of AISI 304L stainless steels. These thermocouples withstand high temperatures about more than 1600 °C. Arrangement employed in the measurement is shown in Figure 5.

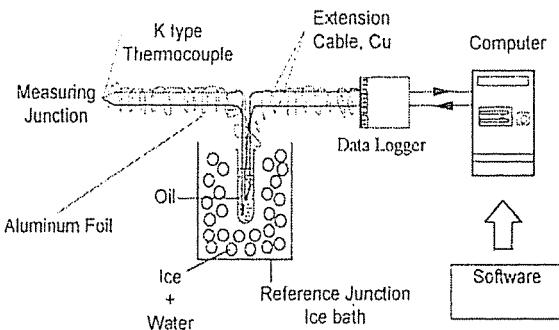


Figure 5. Temperature measurement arrangement used in the experiments

Measuring junction (MJ) was placed into a measuring point to sense the temperature at that point. There are some desired properties from a measuring junction such as good electrical contact, low electrical resistance, and high mechanical strength. Welding, soldering, brazing, or twisting is some manufacturing processes for MJ. In this study, twisting method was used.

The other end of the thermocouple is replaced into a small oil-filled tube, which is placed into ice-water mixture to supply 0 °C reference junction (RJ). Copper wires were used to connect to measurement instrument.

The electromotor-force (emf) produced by the thermocouples is in the level of mV and measured by a data logger. The data stored in the computer in the form of mV was later converted to degree Celsius using the calibration curve shown in Figure 6, and FORTRAN program was written.

Various reading on the system was performed using a P.A. Hilton Multichannel Data logger. The measured parameters are outputs of the thermocouples and voltage and current transducers. The data logger's interface is a multi channel analog and digital unit with both input and output capability. Command and data are transfer via 8 wires RS 232 serial link using ASCII character string sent and receive by a controlling computer as shown in Figure 7.

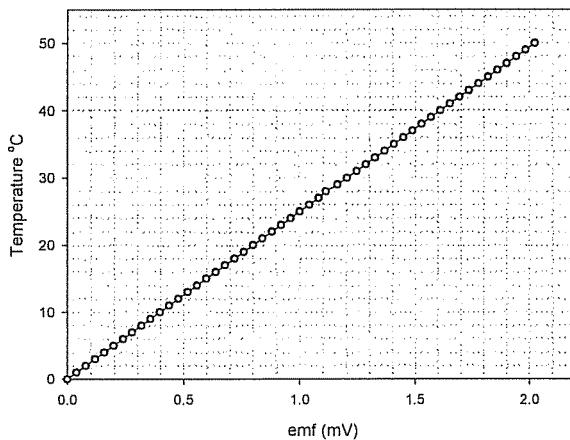


Figure 6. Calibration curve for K type T/C used in the experiments



Figure 7. Data logger system used in the experiments

The thermocouples were fixed to the workpiece by using eight special screws which was arranged not to damage thermocouple during the measurement. Mounting condition of the thermocouples were mounted to the workpieces as shown in Figure 8.

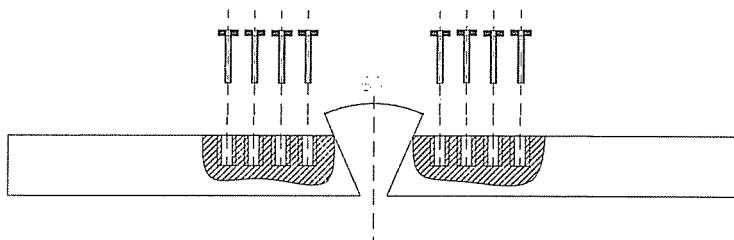


Figure 8. Thermocouple mounting position for temperature distribution

2.6. Location of Thermocouples on the Workpieces

Two plates of size 150x120 (thickness of 8 and 10 mm) which would form a single V-groove (60°) joint between them were used during the experiment to make a finished weld pad. The two plates to be welded were tightened on the welding table with a clamping device to prevent any lack of rigidity under the welding torch which is connected to the welding robot.

Thermocouples were fixed in the middle region of the plate, at mid plane level. Temperatures were measured at different distances from the weld pad centre line on both the left and right side plates of the weld pad. The dimensional details of plates used in the experiments and the positions where thermocouples were fixed are shown in Figure 9.

The TIG welding parameters used in this study are listed in Table 3. The selection of welding parameters were made on the basis of the workpiece material to be welded and thickness.

99.99% pure argon gas was used as a shielding gas in the experiments with the given flow rate in Table below. A time gap of 2 min was waited between the each passes. This duration was utilized to ensure that the thermocouple connections to the workpieces were not disturbed during the welding.

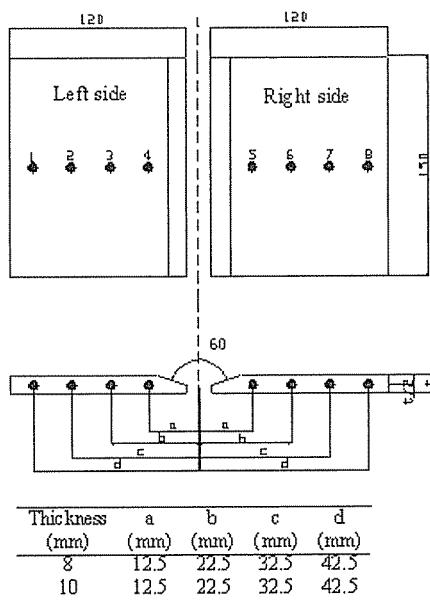


Figure 9. Workpieces used for the temperature distribution experiments

Table 3. Welding parameters during multipass welding

Material (AISI)	Thickness (mm)	Current (A)	Electrode diameter (mm)	Gas flow (l/min)	Pass number	Welding speed (mm/s)	Microprocessor Frequency (Hz)	
304L	8	160	2.4	12	1	1.785	25	
					2	1.612	23	
					3	1.538	22	
					4	1.351	19	
	10	180		15	1	1.923	27	
					2	1.785	25	
					3	1.612	23	
					4	1.538	22	
					5	1.351	19	
					6	1.190	17	

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The temperature distribution obtained on the left and right side plates during welding of 8 mm and 10 mm AISI 304L thick stainless steel plates are shown in Figure 10, Figure 11, Figure 12 and Figure 13 respectively.

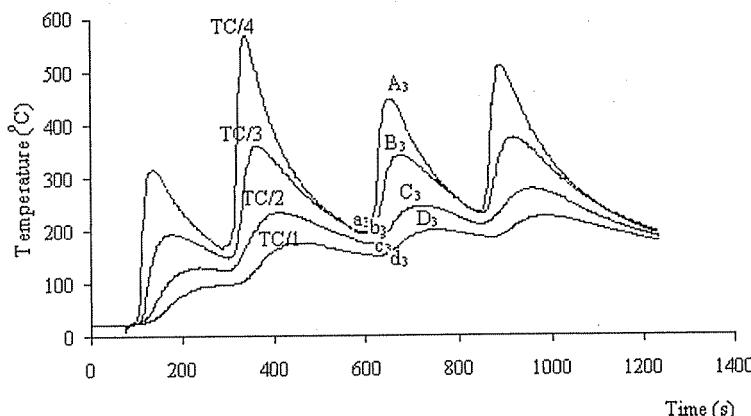


Figure 10. Temperature distribution on the left side plate of 304L 8 mm

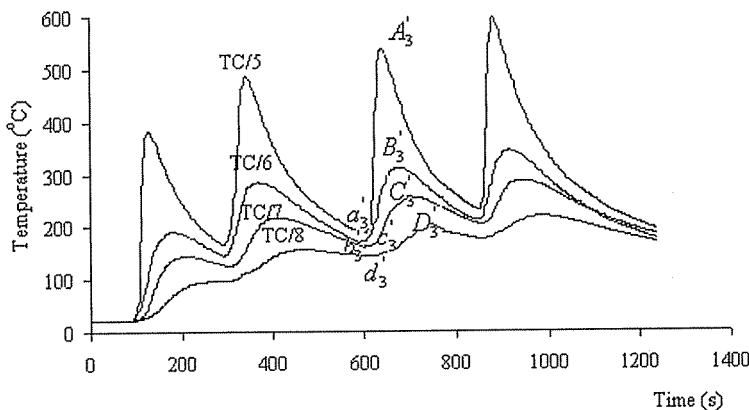


Figure 11. Temperature distribution on the right side plate of 304L 8 mm

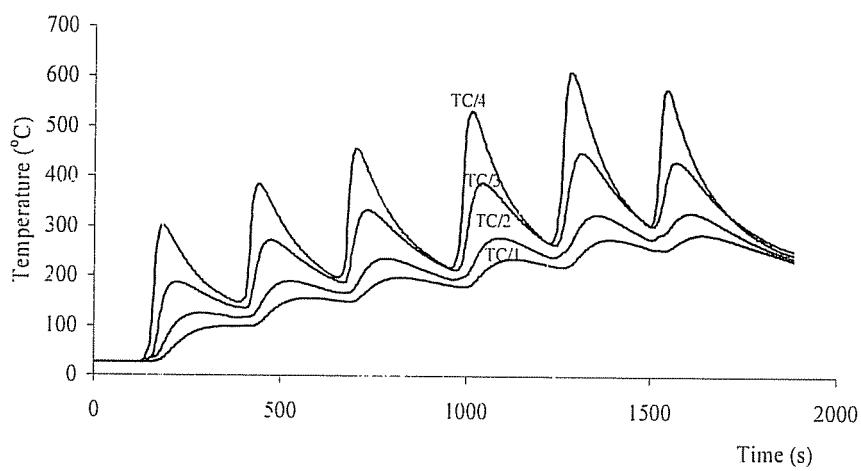


Figure 12. Temperature distribution on the left side plate of 304L 10 mm

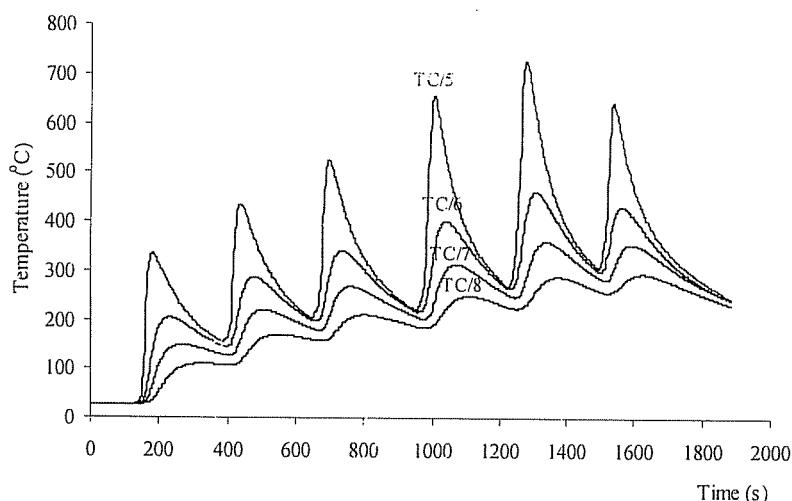


Figure 13. Temperature distribution on the right side plate of 304L 10 mm

During each pass of the weld, the temperature at the measuring point increases, reaches a maximum value then decreases. The point that is nearest to the weld pad center line reaches the highest maximum temperature.

In multipass welding, weld passes are laid along different weld lines, parallel to the weld pad center line, in the V-groove joint between the plates. However, in some cases (in industry), the weld pass may be laid closer to the left or right side, to fill V-groove with a filler material. For example, pass no 2 and 3 in 304L 8 mm (left side), Figure 9, because of the maximum temperature indicated by the thermocouples located on the left side plated were lower than the temperature measured on the opposite plates for the same pass.

The average maximum temperature rise is the average of maximum and minimum temperature differences for the same pass and same thermocouple locations of left and right side plates. As shown in Figures 14 and 15, the average value of maximum temperatures indicated by the thermocouples, for the same pass, located at the same distance from the weld centre line (left or right side of the plate) gave the representative values of the maximum temperatures obtained.

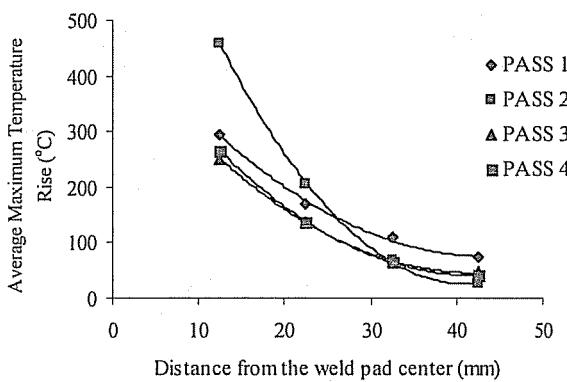


Figure 14. Average maximum temperature rise at different points for 304L 8 mm

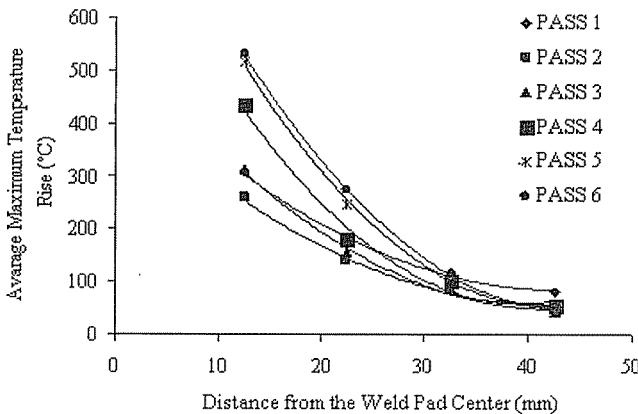


Figure 15. Average maximum temperature rise at different points for 304L 10 mm

From these curves, it may be seen that the average maximum temperature rise uniformly varies with the distance from the weld pad centerline.

4. CONCLUSIONS

Experimental temperature distribution data have been established in AISI 304L stainless steel plates with 8 and 10 mm thicknesses, for practical multipass welds. Using this data, the maximum temperatures that will be attained at different points in the base plates can be estimated, during different passes of weld. Knowing of average maximum temperature rises may be useful in the estimation of maximum temperatures attained by different regions of the base plate during multipass welding. Likely changes in the microstructure and consequent degradation in mechanical properties can also be estimated from this information. The following conclusions can be derived from the experimental results.

1. During each pass of the TIG welded thick steel sheet, the temperature at the measuring point increased, reached a maximum value (peak temperature) and then decreased. The point nearest to the weld pad centerline reached the highest maximum temperature.
2. A time gap of 2 min was given between two passes in the experimental work. It can be seen from the experimental results (for instance in Figure 11) that during the cooling phase of any pass, the cooling rate is steep during the initial stage but not as steep in later stages. This time gap of 2 min given in the experimental work is a representative value of the time duration between passes in practical welds.
3. The average value of maximum temperatures indicated by the thermocouples, for a particular pass, located at the same distance from the weld centre line (on the left or

right side plate) will give representative values of maximum temperatures at the referred distance during that pass.

4. The distances indicated in the temperature distribution plots (Figures 10-13) are as measured from the weld pad centre line. However, it can be noted that since the temperatures were measured at a mid-plane level, the distances between the weld fusion point and the points of measurement will be less than these values.
5. The difference between the highest and lowest values of temperature ($A_3 - a_3$) for the same thermocouple will give the maximum temperature rise attained at the point of measurement during that pass. Likewise, the maximum temperature rise ($A'_3 - a'_3$) attained by a measurement point located at the same distance from the weld pad centre line, on the other plate of the weld pad, can be obtained from the experimental results by applying the same procedure.
6. The average value of these two maximum temperature rises will give the "average maximum temperature rise" at the referred measurement point (average of $(B_2 - b_2)$ and $(B'_2 - b'_2)$ and so on).

5. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are thankful to METAL FORM Co., ISIN TEKNİK Co. and Cukurova University Scientific Research Fund, for constant encouragement and endless support.

6. REFERENCES

1. Murugan,S. and Kumar,PV, "Temperature Distribution During Multipass Welding of Plates", *Int. Journal of Pressure Vessels And Piping*, 75, pp. 891-905, 1998.
2. Christensen,N., "Distribution of Temperatures in Arc Welding", *Welding Journal*, 12, pp. 54-75, 1978.
3. ASM, *Metals Handbook, Tenth Edition*, ASM International Handbook Committee, Materials Park Vol.1 , 2002.
4. AWS, *Welding Handbook 8th edition*, Volume 2, pp. 74-107, 1991.

**INVESTIGATION OF WHITE LAYER FORMATION IN LIQUID NITRIDING
OF AISI 1030 AND 4140 STEELS**

Funda KAHRAMAN and Mustafa Kemal KÜLEKÇİ
M.U., Faculty of Tarsus Technical Education, Tarsus/Türkiye

Uğur EŞME
Ç.U., Department of Mechanical Engineering, Adana/Türkiye

ABSTRACT : *Liquid nitriding process produces a nitrided case on the surface of the materials. This nitrided case consists of two layers; a compound layer (white layer) in the outer and diffusion layer near to base metal. In this study the thickness of white layer formation in liquid nitriding process of gears manufactured from AISI 1030 and 4140 is investigated. The effect of process parameters on white layer formation is assed. The experimental studies showed that, the composition of the bath and material and nitriding time identify the obtainable white layer thickness.*

**AISI 1030 VE 4140 ÇELİKLERİN SIVI NİTRASYONUNDA BEYAZ TABAKA
OLUŞUMUNUN ARAŞTIRILMASI**

ÖZET : *Sivi nitrasyon prosesi malzemelerin yüzeyinde azotça zengin bir tabaka oluşturur. Bu tabaka, ana metale yakın diffüzyon tabakası ve onun dışında bir bileşik tabaka (beyaz tabaka) olmak üzere iki tabakadan ibarettir. Bu çalışmada, AISI 1030 ve 4140 kalite çelikten imal edilmiş dişlilerin, sivi nitrasyonunda oluşan beyaz tabakanın kalınlığı araştırılmıştır. Beyaz tabaka oluşumuna proses parametrelerinin etkisi belirlenmiştir. Deneysel araştırmalar göstermiştir ki, beyaz tabaka kalınlığını, banyonun kompozisyonu, malzemenin türü ve nitrasyon süresi etkilemektedir.*

1. INTRODUCTION

Liquid nitriding (nitriding in a molten salt bath) has been applied in order to form tough internal structure and hard surface structure having wear resistivity, galling resistivity and corrosion resistivity of iron and steel materials (1). These properties are important for machine elements such as gears, pins, shafts valves, cutting tools, die materials and pump parts (2). Liquid nitriding process is done at lower temperature ranges when compared with its alternative case hardening process, so the risk of the distortion of the treated parts is much lower in the liquid nitriding process (1,3). Liquid nitriding is particularly suitable for carbon steels, low alloy steels, stainless steels, heat resistant steels, tool steels, die steels, gray cast iron, alloyed cast iron, ductile cast iron etc (4). In liquid nitriding process parts are immersed in a pot made of titanium in an electric furnace and processed properly in the temperature range from 560 to 580 °C for different time span depending on the kind of material and the shape of the parts, while air is being charged into a special alkali cyanide-cyanate bath (4,5). The introduction of air provides agitation and stimulates chemical activity. Typical commercial bath for liquid nitriding is composed of a mixture of sodium and potassium salts. The sodium salts, which comprise 60 to 70 % (by weight) of the total mixture, consist of 96.5 % NaCN, 2.5 % Na₂CO₃ and 0.5% NaCNO. The potassium salts 30 to 40% (by weight) of the mixture consist of 96 % KCN, 0.6%K₂CO₃, 0.75% KCNO and 0.5%KCl. Another liquid bath composition is calculated as KCN which is preferably maintained at about 50 to 60 % of the total bath content and potassium cyanate at 32 to 38 %. The remainder of the bath is potassium carbonate (5). During nitriding process as a result of chemical reactions of bath mixtures, the cyanide content of the bath decreases and cyanate and carbonate contents increases (6). This process produces nitrogen-diffused case on the materials. Nitrided surface consists of two layers; a compound layer in the outer and diffusion layer near to base metal. The compound layers called white layers because they appear white on polished etched surfaces. The compound layer improves the wear resistance and corrosion resistance of treated parts. In the other hand the diffusion layer increases the fatigue strength. The compound layer includes Fe₂₋₃N and α-Fe; and the diffusion layer contains solid solution (N dissolved in α -Fe) and precipitates of needle-like Fe₄N. In nitrided layer Fe₂₋₃N and Fe₄N intermetallics as well as nitrides with alloying elements are formed (7,8).

In this study white layer formation in case hardening operation with liquid nitriding of gears manufactured from AISI 1030 and 4140 steels was investigated taking into consideration the nitriding time bath composition and the kind of the material as process variables. Molten cyanide-cyanate salt bath at 580 °C is used as case nitriding medium. During nitriding process, air (300 litre/hour) is pumped through the molten bath. The gears are case hardened to improve their resistance to surface indentation, fatigue and wear. Through hardening of the gears are not desirable since a hard part lacks the necessary toughness and a small surface crack can propagate rapidly through the part and can cause total failure. Case hardening is a localised heat treatment and case hardened parts have a hardness gradient. Typically the maximum hardness value is at the surface and decreases below the surface, with the rate of decrease depending on the composition of the metal and process variables.

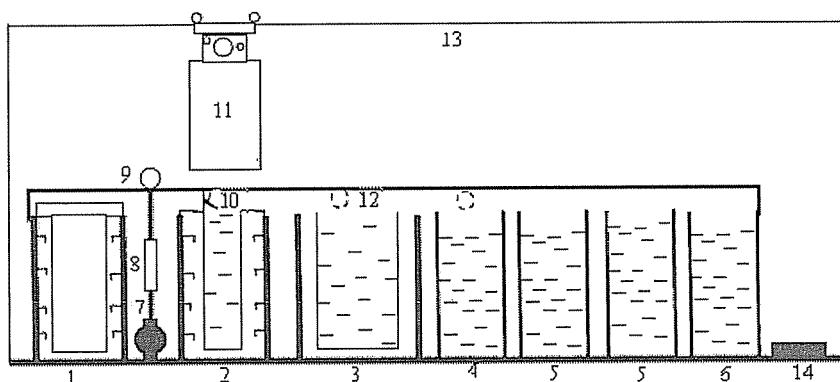
*INVESTIGATION OF WHITE LAYER FORMATION IN LIQUID NITRIDING
OF AISI 1030 AND 4140 STEELS*

2. EXPERIMENTAL STUDIES

In this study white layer formation in liquid nitriding process of gears manufactured from commercially available AISI 1030 and 4140 steels was investigated taking into consideration the nitriding time, bath composition and the kind of material as process variables. Before nitriding process the samples were heat treated at 880 °C for 1 hour and cooled in air. The samples than were austenized at 850 °C, for 1 hour and oil quenched and then tempered to obtain a tough internal structure for the studied materials. The gears were machined to final dimensions before nitriding process. Chemical composition of AISI 1030 and 4140 are given in Table 1. The mean surface hardness of the gears was measured as 222 HV and 327 HV for AISI 1030 and 4140 material respectively before nitriding process. After nitriding process the hardness of the surface of the materials was measured as 345 HV and 613 HV for AISI 1030 and 4140 respectively. The schematic illustration of the nitriding system is given in Figure 1.

Table 1. Chemical composition of studied gear material (%)

Material	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo
AISI 1030	0.25-0.34	0.60-0.90	0.10-0.30	max 0.04	max 0.05	-	-
AISI 4140	0.35-0.44	0.60-0.90	0.15-0.35	max 0.04	max 0.04	0.80-1.10	0.15-0.25



- | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Preheat furnace with forced air | 9. Air flow meter |
| 2. | 10. Manometer |
| 3. Nitriding furnace | 11. Aeration pipe |
| 4. Cooling bath, heatable | 12. Hoist |
| 5. Cold water quench tank | 13. Fume extractors |
| 6. Hot water rinse tank, heatable | 14. Runway |
| 7. Dewatering fluid | 15. Loading and unloading station |
| 8. Compressor | |

Figure 1. Schematic illustration of liquid nitriding system applied to gear specimens

The gears were cleaned and preheated to 350 °C. Preheating process dries the gears and prevents temperature fluctuation during nitriding stage. After preheating the specimens were transferred to liquid nitriding pot with a temperature of 580 °C and subsequently nitrided specimens were cooled using a cooling bath with a temperature of 330-400 °C. The nitrided gears were then quenched in cold water tank. After this stage the parts were quenched into hot water (80 °C) rinse tank. The size of the pot, which was used for liquid nitriding process, was 80 cm in diameter and 100 cm in length. The amount of the salt in the bath was 650 kg. Air circulated through the molten bath with a flow rate of 300 litre/hour. Time-temperature diagram of the liquid nitriding process of the experiments is given in Figure 2.

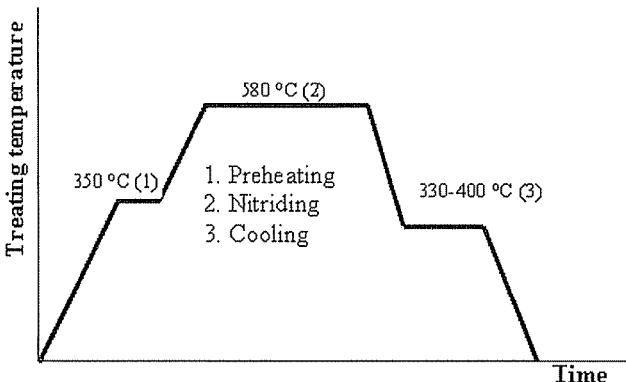


Figure 2. Time - temperature diagram of the liquid nitriding process

The composition of the bath was changed in order to investigate the effect of proportion of KCNO and KCN on formation of white layer (compound layer). Preheated gears were transferred into the nitriding furnace (see Figure 1) and hold in the furnace for different time ranges to understand the effect of liquid nitriding time on the white layer formation. The white layer thickness obtained with different process variables are listed in Table 2.

*INVESTIGATION OF WHITE LAYER FORMATION IN LIQUID NITRIDING
OF AISI 1030 AND 4140 STEELS*

Table 2. The white layer thickness obtained with different process variables

%KCNO	%KCN	Material	Nitriding Time (Hour)	White Layer Thickness (μm)	(White layer thickness) / (Nitriding Time), ($\mu\text{m} / \text{Hour}$)	KCNO / KCN
59.7	25	AISI 4140	1.5	7	4.66	2.388
59.7	25	AISI 4140	2.5	12	4.8	2.388
59.7	25	AISI 4140	3.5	13	4.8	2.388
57.3	39.5	AISI 4140	5	11	2.2	1.450
55.8	27.5	AISI 4140	4	13	3.25	2.029
51.5	23.2	AISI 4140	1	6	6	2.219
51.5	23.2	AISI 4140	2	10	5	2.219
51.5	23.2	AISI 4140	3	12	4	2.219
48	35	AISI 4140	2	6	3	1.371
48	35	AISI 4140	3	9	3	1.371
48	35	AISI 4140	3.5	9.5	3	1.371
57.3	39.5	AISI 1030	5	13	2.6	1.450
55.8	27.5	AISI 1030	4	20	5	2.029
51.5	23.2	AISI 1030	1	7	7	2.219
51.5	23.2	AISI 1030	2	14	7	2.219
51.5	23.2	AISI 1030	3	18	6	2.219

3. RESULTS AND DISCUSSION

The experimental data showed that, increase in %KCN decreased the thickness of white layer as seen in Figure 3. Increase in the KCNO/KCN, increased the thickness of

white layer as seen in Figure 4. Increase in the KCN in the ratio of 16 % resulted in decrease in the thickness of layer in the ratio of 56% for AISI 4140 as seen in Figure 3.

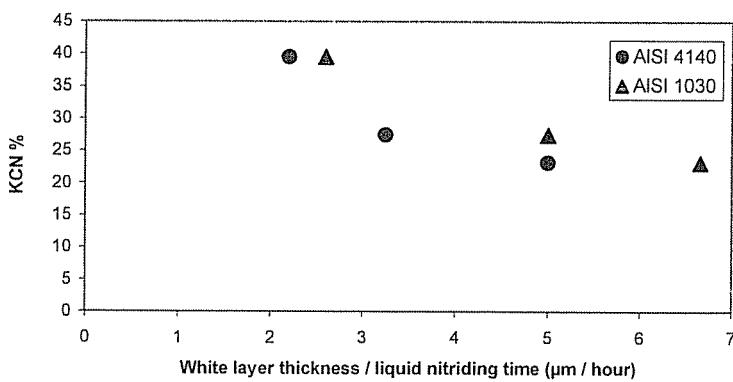


Figure 3. Relation between nitriding time span, KCN% and white layer thickness formation

Increase in the same amount of %KCN for AISI 1030 resulted in reduction in the thickness of layer in the ratio of 61%. The experiments showed that, the thickness of white layer closes to 0, when the ratio of KCNO/KCN closes to 1 as seen in Figure 4. Increase in the KCNO/KCN ratio resulted in increase in the thickness of white layer for both of the studied materials. Figure 4 shows that, there is a saturation limit in white layer thickness formation for KCNO/KCN ratio.

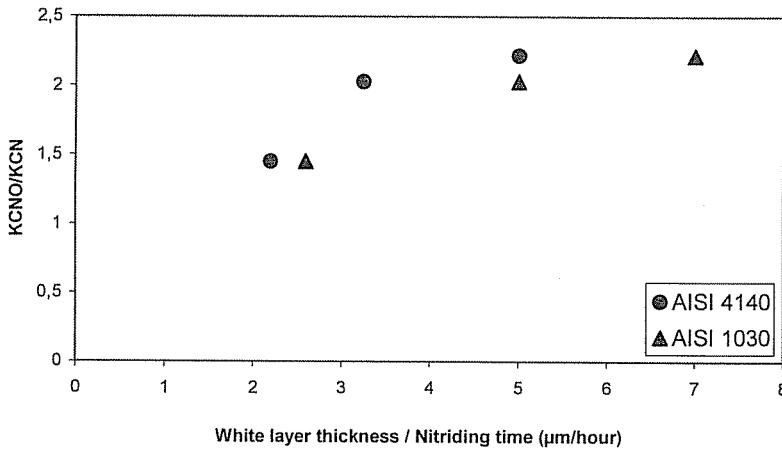


Figure 4. Relation between KCNO/KCN and white layer thickness formation

Saturation limit was obtained in KCNO/KCN ratio of 2.029 – 2.219 for AISI 1030 and AISI 4140 respectively. The effect of nitriding time on white layer thickness is

**INVESTIGATION OF WHITE LAYER FORMATION IN LIQUID NITRIDING
OF AISI 1030 AND 4140 STEELS**

given in Figure 5, for the same liquid nitriding conditions. For both of the material the thickness of the layer increased when the time span of nitriding increased.

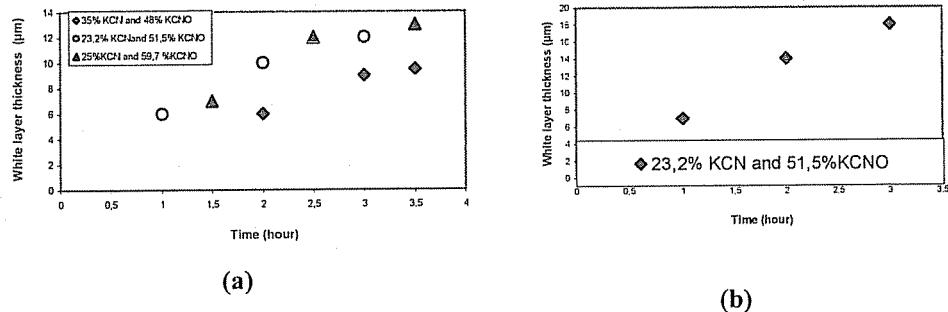


Figure 5. The effect of nitriding time on the thickness of white layer for

- a) AISI 4140 at different nitriding bath composition,
- b) AISI 1030 at same nitriding bath composition

The thickness formation for both of the material under same treatment conditions is compared in Figure 6. The obtained white layer thickness in AISI 1030 was greater than AISI 4140 for the same experimental conditions as seen in Figure 6. This situation can be explained with diffusion of nitrogen to the studied materials. The depth of the nitrogen diffusion decreases appreciably with increasing carbon content and alloying elements such as chromium. This result is in accordance with the related studies in the literature (8,5,6).

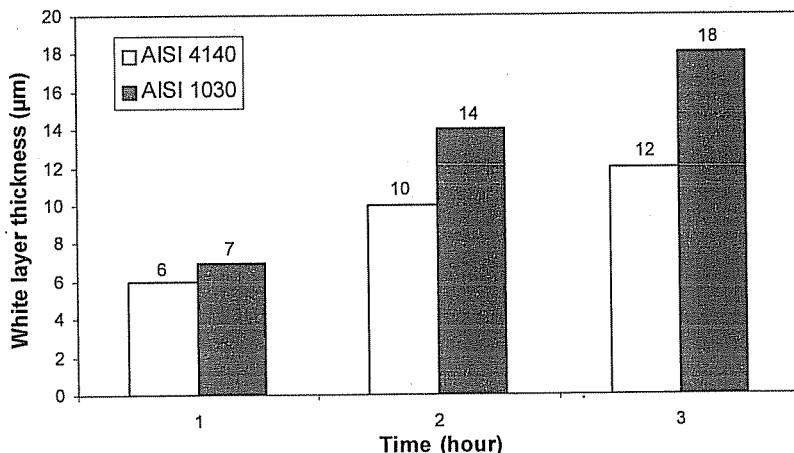


Figure 6. Comparison of white layer thickness formation in AISI 1030 and AISI 4140 materials

4. CONCLUSION

The composition of the bath is important in liquid nitriding process. Increase in the KCN ratio in liquid nitriding bath, decreases the thickness of white layer formation. Increase in the KCN in the ratio of 16.3 % results in decrease in the thickness of layer in the ratio of about 60% for AISI 1030 and 4140. Thickness of the layer increases in the cases KCNO/KCN ratio increases. The thickness of white layer closes to 0, when the ratio of KCNO/KCN closes to 1 as seen in Figure 5. Thickest white layer formation can be obtained in KCNO/KCN ratio of 2.029 for AISI 1030 and 2.219 for AISI 4140 material. The chemical composition of materials affects the thickness of white layer formation. Increase in the carbon content and alloying element such as chromium decreases the thickness of white layer. White layer thickness formation is greater for AISI 1030 than AISI 4140. The thickness of the nitrided layer increases rapidly with increasing time, for up to 3 h for studied AISI 1030 and 4140.

5. REFERENCES

1. Li,H.Y. and Luo,D.F. and Yeung,C.F. and Lau,K.H., "Journal of Materials Processing Technology", 69, 45, 2003.
2. Kalpakjian,S., "Manufacturing Engineering and Technology", Adison Wesley, New York, 1997.
3. Çelik,A. and Efeoğlu,I. and Sakar,G., "Journal of Materials Processing Technology", 1997, 69, 45.
4. Komatsu Ltd., Tuffrider process. KES 015.95, 1979.
5. Tekin,A., "Çelik ve Isıl İşlemi", İstanbul, 1987.
6. Tenifer-Mittelungen, Degussa, Frankfurt am Main.
7. Corengia,P. and Ybaraa,G., "Surface and Coating Technology", 2004, 187, 63.
8. Berg,M. and Butdtz-Jorgensen,C.V., "Surface and Coating Technology", 124, 25, 2000.
9. Collins,G.A. and Hutchings,R., "Heat Treatment Met.", 22 (4), 91-94, 1995.
10. Chandler,H.E., "Met. Prog.", 130 (2), 19-23, 1986.
11. Maliska,M. and Klein,A.N., "Surf. Coat. Technol.", 70 (2-3), 175-179, 1995.
12. Collins,G.A. and Tendys,J., "Surf. Coat. Technol.", 54-55, 447-452, 1992.
13. Jones,A. and Evans,P.J., "Heat Treatment qf' Mets.", 20 (4) ,99-100, 1993.
14. Liu,B.X. and Xing,T.L., "Eat Treutnient qf' Mets.", 20- 23, 1994.
15. Collins,G.A. and Hutchings, "HeatTreatment of Mets.", 22(4), 91-94, 1995.
16. Scavino,G. and Rosso,M., "Int. J.Mats Proteneol.", 8 (2-4), 290-302, 1993.
17. Chandler,H.E., "Metal Prog.", 128 (4), 43-46, 1985.
18. Chandler,H.E., "Metal Prog.", 130 (2), 19-23, 1986.
19. Shen,Y.Z. and Oh,K.H., "Scripta materialia", 53, 1345-1349, 2005.
20. Kamminga,J.D. and Janssen,G.C., "Surface & Coatings Technology", SCT-11807, 2005.
21. Vetter,J. and Barbezat,G., "Surface & Coatings Technology", SCT-11677, 2005.
22. Grafen,W. and Edelenhofer,B., "Surface & Coatings Technology", 2005.
23. Wang,L. and Ji,S., "Surface & Coatings Technology",SCT-11524.
24. Lin,J.F. and Chen,K.W., "Surface&Coatings Technology", 197, 28- 38, 2005.

*INVESTIGATION OF WHITE LAYER FORMATION IN LIQUID NITRIDING
OF AISI 1030 AND 4140 STEELS*

25. Baranowska,J. and Franklin,S.E., "Wear", 259, 432–438, 2005.
26. Yu.Z. and Xu,X., "Engineering Failure Analysis", 12 ,487–495, 2005.
27. Genel,K. and Demirkol,M., "Surface & Coatings Technology", 195, 116– 120, 2005.
28. Ramesh,R. and Gnanamoorthy,R., "Surface & Coatings Technology", SCT-11271, 2005.
29. Zeghani,A.E. and Hashmi,M.S., "Journal of Materials Processing Technology", 155–156, 1918–1922, 2004.
31. Ashrafiyadeh,F., "Surface and Coatings Technology", 173 –174, 1196–1200, 2003.
32. Alsaran,A. and Celik,A., "Surface and Coatings Technology", 160, 219–226, 2002.

EFFECT OF WELDING PROCESS ON MICROSTRUCTURE OF STAINLESS STEELS

Uğur EŞME

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

ABSTRACT : *The stainless properties of stainless steels are primarily due to the presence of chromium (Cr) in quantities greater than roughly 12 weight percent. This level of chromium is the minimum level of chromium to ensure a continuous stable layer of protective chromium-rich oxide forms on the surface. The ability to form chromium oxide in the weld region must be maintained to ensure stainless properties of the weld region after welding. In this study the effect welding process on the microstructural properties of the stainless steels were established.*

PASLANMAZ ÇELİKLERDE KAYNAK İŞLEMİNİN MİKROYAPIYA ETKİLERİ

ÖZET : *Paslanmaz çelikler; içerisinde en az ağırlıkça % 12 oranında krom (Cr) içeren demir esaslı alaşımalar olarak tanımlanırlar. Olması gereken bu minimum krom seviyesi malzeme yüzeyinde kromca zengin koruyucu oksit tabakasının oluşumunu sağlar. Kaynak sonrası malzemenin paslanmazlık özelliğinin sürdürülebilmesi bu krom oksit tabakasının korunmasına bağlıdır. Bu çalışmada kaynak işleminin paslanmaz çeliğin mikroyapısı üzerindeki etkileri açıklanmıştır.*

1. INTRODUCTION

The stainless properties of stainless steels are primarily due to the presence of chromium in quantities greater than roughly 12 weight percent. This level of chromium is the minimum level of chromium to ensure a continuous stable layer of protective chromium-rich oxide forms on the surface. The ability to form chromium oxide in the weld region must be maintained to ensure stainless properties of the weld region after welding. In commercial practice, however, some stainless steels are sold containing as little as 9 weight percent chromium and will rust at ambient temperatures.

Stainless steels are generally classified by their microstructure and are identified as ferritic, martensitic, austenitic, or duplex (austenitic and ferritic). The microstructure significantly affects the weld properties and the choice of welding procedure used for these stainless steel alloys. In addition, a number of precipitation-hardenable (PH) stainless steels exist. Precipitation-hardenable stainless steels have martensitic or austenitic microstructures.

Iron, carbon, chromium and nickel are the primary elements found in stainless steels and significantly affect microstructure and welding. Other alloying elements are added to control microstructure or enhance material properties. These other alloys affect welding properties by changing the chromium or nickel equivalents and thereby changing the microstructure of the weld metal. Generally, 200 and 300 series alloys are mostly austenitic and 400 series alloys are ferritic or martensitic, but exceptions exist (1-3).

Stainless steels are subject to several forms of localized corrosive attack. The prevention of localized corrosive attack is one of the concerns when selecting base metal, filler metal and welding procedures when fabricating components from stainless steels.

Stainless steels are subject to weld metal and heat affected zone cracking, the formation of embrittling second phases and concerns about ductile to brittle fracture transition. The prevention of cracking or the formation of embrittling microstructures is another major concern when welding or fabricating stainless steels.

It is important to understand the microstructure and behavior of the stainless steels to be welded. The next section explains the general properties and weldability of the stainless steels for the welding applications.

2. WELDING AUSTENITIC STAINLESS STEELS

Ideally, austenitic stainless steels exhibit a single-phase, the face-centered cubic (FCC) structure, that is maintained over a wide range of temperatures. This structure results from a balance of alloying additions, primarily nickel, that stabilize the austenite phase from elevated to cryogenic temperatures. Because these alloys are predominantly single phase, they can only be strengthened by solid-solution alloying or by work hardening. Precipitation-strengthened austenitic stainless steels will be discussed separately below.

The austenitic stainless steels were developed for use in both mild and severe corrosive conditions. Austenitic stainless steels are used at temperatures that range from cryogenic temperatures, where they exhibit high toughness, to elevated temperatures, where they exhibit good oxidation resistance. Because the austenitic

materials are nonmagnetic, they are sometimes used in applications where magnetic materials are not acceptable.

The most common types of austenitic stainless steels are the 200 and 300 series. Within these two grades, the alloying additions vary significantly. Furthermore, alloying additions and specific alloy composition can have a major effect on weldability and the as-welded microstructure. The 300 series of alloys typically contain from 8 to 20 weight percent Ni and from 16 to 25 weight percent Cr (4-6).

A major concern, when welding the austenitic stainless steels, is the susceptibility to solidification and liquation cracking. Cracks can occur in various regions of the weld with different orientations, such as centerline cracks, transverse cracks, and microcracks in the underlying weld metal or adjacent heat-affected zone (HAZ). These cracks are primarily due, to low-melting liquid phases, which allow boundaries to separate under the thermal and shrinkage stresses during weld solidification and cooling.

Even with the serious cracking concerns, the austenitic stainless steels are generally considered the most weldable of the stainless steels. Because of their physical properties, the welding behavior of austenitic stainless steels is different than the ferritic, martensitic, and duplex stainless steels. For example, the thermal conductivity of austenitic alloys is roughly half that of ferritic alloys. Therefore, the weld heat input that is required to achieve the same penetration is reduced. In contrast, the coefficient of thermal expansion of austenite is 30 to 40 percent greater than that of ferrite, which can result in increases in both distortion and residual stresses, due to welding. The molten weld pool of the austenitic stainless steels is commonly more viscous, or sluggish, than ferritic and martensitic alloys. This slows down the metal flow and wettability of welds in austenitic alloys, which may promote lack-of-fusion defects.

3. WELDING FERRITIC STAINLESS STEELS

Ferritic stainless steels comprise approximately half of the 400 series stainless steels. These steels contain from 10.5 to 30 weight percent chromium along with other alloying elements, particularly molybdenum. Ferritic stainless steels are noted for their stress-corrosion cracking (SCC) resistance and good resistance to pitting and crevice corrosion in chloride environments, but have poor toughness, especially in the welded condition.

Ideally, ferritic stainless steels have the body-centered cubic (bcc) crystal structure known as ferrite at all temperatures below their melting temperatures. Many of these alloys are subject to the precipitation of undesirable intermetallic phases when exposed to certain temperature ranges. The higher-chromium alloys can be embrittled by precipitation of the tetragonal sigma phase, which is based on the compound FeCr.

Molybdenum promotes formation of the complex cubic chi phase, which has a nominal composition of Fe₃₆Cr₁₂Mo₁₀. Embrittlement increases with increasing chromium plus molybdenum contents. It is generally agreed that the severe embrittlement which occurs upon long-term exposure is due to the decomposition of the iron-chromium ferrite phase into a mixture of iron-rich alpha and chromium-rich alpha-prime phases. This embrittlement is often called "alpha-prime embrittlement." Additional reactions such as chromium carbide and nitride precipitation may play a significant role in the more rapid, early stage 474 °C embrittlement (6-8).

The ferritic stainless steels have higher yield strengths and lower ductilities than austenitic stainless steels. Like carbon steels, and unlike austenitic stainless steels, the ferritic stainless alloys exhibit a transition from ductile-to-brittle behavior as the temperature is reduced, especially in notched impact tests. The ductile-to-brittle transition temperature (DBTT) for the ultrahigh-purity ferritic stainless steels is lower than that for standard ferritic stainless steels. It is typically below room temperature or the ultrahigh-purity ferritic stainless steels. Nickel additions lower the DBTT and thereby slightly increase the thicknesses associated with high toughness. Nevertheless, with or without nickel, the ferritic stainless steels would need engineering review for anything other than thin walled applications as they are prone to brittle failure.

4. WELDING MARTENSITIC STAINLESS STEELS

Martensitic stainless steels are considered to be the most difficult of the stainless steel alloys to weld. Higher carbon contents will produce greater hardness and, therefore, an increased susceptibility to cracking.

In addition to the problems that result from localized stresses associated with the volume change upon martensitic transformation, the risk of cracking will increase when hydrogen from various sources is present in the weld metal. A complete and appropriate welding procedure is valuable to prevent cracking and produce a sound weld (2).

Martensitic stainless steels are essentially alloys of chromium and carbon that possess a body-centered cubic (BCC) or body-centered tetragonal (BCT) crystal structure (martensitic) in the hardened condition. They are ferromagnetic and hardenable by heat treatments. Their general resistance to corrosion is adequate for some corrosive environments, but not as good as other stainless steels.

The chromium content of these materials generally ranges from 11.5 to 18 weight percent, and their carbon content can be as high as 1.2 weight percent. The chromium and carbon contents are balanced to ensure a martensitic structure after hardening. Martensitic stainless steels are chosen for their good tensile strength, creep, and fatigue strength properties, in combination with moderate corrosion resistance and heat resistance (9,10).

The most commonly used alloy within this stainless steel family is type 410, which contains about 12 weight percent chromium and 0.1 weight percent carbon to provide strength. Molybdenum can be added to improve mechanical properties or corrosion resistance. Nickel can be added for the same reasons. When higher chromium levels are used to improve corrosion resistance, nickel also serves to maintain the desired microstructure and to prevent excessive free ferrite. The limitations on the alloy content required to maintain the desired fully martensitic structure restrict the obtainable corrosion resistance to moderate levels.

5. WELDING DUPLEX STAINLESS STEELS

Duplex stainless steels are two phase alloys based on the iron-chromium-nickel system. Duplex stainless steels usually comprise approximately equal proportions of the body-centered cubic (bcc) ferrite and face-centered cubic (FCC) austenite phases in their microstructure and generally have a low carbon content as well as, additions of

molybdenum, nitrogen, tungsten, and copper. Typical chromium contents are 20 to 30 weight percent and nickel contents are 5 to 10 weight percent. The specific advantages offered by duplex stainless steels over conventional 300 series stainless steels are strength, chloride stress-corrosion cracking resistance, and pitting corrosion resistance (3,11,12).

Duplex stainless steels are used in the intermediate temperature ranges from ambient to several hundred degrees Celcius (depending on environment), where resistance to acids and aqueous chlorides is required. The weldability and welding characteristics of duplex stainless steels are better than those of ferritic stainless steels, but generally not as good as austenitic materials.

A proper welding procedure is needed to obtain sound welds. Duplex stainless steel weldability is generally good, although it is not as forgiving as austenitic stainless steels. Control of heat input is important. Solidification cracking and hydrogen cracking are concerns when welding duplex stainless steels, but not as significant for some other stainless steel alloys.

Current commercial grades of duplex stainless steels contain between 22 and 26 weight percent chromium, 4 to 7 weight percent nickel, up to 4.5 weight percent molybdenum, as well as some copper, tungsten, and nitrogen. Modifications to the alloy compositions have been made to improve corrosion resistance, workability, and weldability. In particular, nitrogen additions have been effective in improving pitting corrosion resistance and weldability.

The properties of duplex stainless steels can be appreciably affected by welding. Due to the importance of maintaining a balanced microstructure and avoiding the formation of undesirable metallurgical phases, the welding procedures must be properly specified and controlled. If the welding procedure is improper and disrupts the appropriate microstructure, the loss of material properties can be severe.

Because the steels derive properties from both austenitic and ferritic portions of the structure, many of the single-phase base material characteristics are also evident in duplex materials. Austenitic stainless steels have good weldability and low-temperature toughness, whereas their chloride SCC resistance and strength are comparatively poor. Ferritic stainless steels have good resistance to chloride SCC but have poor toughness, especially in the welded condition. A duplex microstructure with high ferrite content can therefore have poor low-temperature notch toughness, whereas a structure with high austenite content can possess low strength and reduced resistance to chloride SCC.

The high alloy content of duplex stainless steels also makes them susceptible to the formation of intermetallic phases from extended exposure to high temperatures. Significant intermetallic precipitation may lead to a loss of corrosion resistance and sometimes to a loss of toughness (4).

Duplex stainless steels have roughly equal proportions of austenite and ferrite, with ferrite being the matrix. The duplex stainless steels alloying additions are either austenite or ferrite formers. This occurs by extending the temperature range over which the phase is stable. Among the major alloying elements in duplex stainless steels chromium and molybdenum are ferrite formers, whereas nickel, carbon, nitrogen, and copper are austenite formers.

Composition also plays a major role in the corrosion resistance of duplex stainless steels. Pitting corrosion resistance is easily affected. To determine the extent of pitting corrosion resistance offered by the material, a pitting resistance equivalent is commonly used.

6. WELDING PRECIPITATION-HARDENABLE STAINLESS STEELS

Precipitation-hardening (PH) stainless steels are iron-chromium-nickel alloys. They generally have better corrosion resistance than martensitic stainless steels. The high tensile strengths of the PH stainless steels is due to precipitation hardening of a martensitic or austenitic matrix. Copper, aluminum, titanium, niobium (columbium), and molybdenum are the primary elements added to these stainless steels to promote precipitation hardening.

Precipitation-hardening stainless steels are commonly categorized into three types martensitic, semiaustenitic, and austenitic based on their martensite start and finish (M_s and M_f) temperatures and the resulting microstructures (13-15). The issues involved in welding PH steels are different for each group.

It is important to understand the microstructure of the particular type of alloy being welded. Some of the PH stainless steels solidify as primary ferrite and have relatively good resistance to hot cracking. In other PH stainless steels, ferrite is not formed, and it is more difficult to weld these alloys without hot cracking.

7. CONCLUSIONS

Iron, carbon, chromium and nickel are the primary elements found in stainless steels and significantly affect microstructure and welding. Other alloying elements are added to control microstructure or enhance material properties. These other alloys affect welding properties by changing the chromium or nickel equivalents and thereby changing the microstructure of the weld metal.

Major concerns, when welding the stainless steels, are the susceptibility to solidification and liquation cracking and carbide form at grain boundaries. Cracks can occur in various regions of the weld with different orientations.

Stainless steels are subject to several forms of localized corrosive attack. The prevention of localized corrosive attack is one of the concerns when selecting base metal, filler metal and welding procedures when fabricating components from stainless steels.

Stainless steels are subject to weld metal and heat affected zone cracking, the formation of embrittling second phases and concerns about ductile to brittle fracture transition. The prevention of cracking or the formation of embrittling microstructures is another major concern when welding or fabricating stainless steels.

8. REFERENCES

1. Kou,S., "Welding Metallurgy Second Edition", John Wiley & Sons, 1987.
2. Key,J.F., Chan,J.W., "Process Variable Influence on Arc Temperature Distribution", Welding Journal, 62, 179-184, 1999.
3. AWS, "Heat Flow in Welding", Welding Handbook, Volume 3, 1976.

4. ASM, "Metals Handbook", Tenth Edition, ASM International Handbook Committee, Materials Park Vol. 1, 2002.
5. Wahab,A.M. and Sakano,M. "Experimental Study Corrosion Fatigue Behaviour of Welded Steel Structures", *Journal of Materials Processing Technology*, 118:117-122, 2001.
6. Yuri,T. and et al., "Effect of Welding Structure and Delta-Ferrite on Fatigue Properties for TIG Welded Austenitic Stainless Steels at Cryogenic Temperatures", *Cryogenics*, 40:251-259, 2000.
7. Zhu,K.X. and Chao,J.Y., "Effects of Temperature-Dependent Material Properties on Welding Simulation", *Computers and Structures*, 80:967-976, 2002.
8. Tsai,N., "Heat Distribution and Weld Bead Geometry in Arc Welding", Ph.D. Thesis, M.I.T, 1983.
9. Timofeev,T.B. and et al., "Facture Toughness of Austenitic Welded Joints", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 76:393-400, 1999.
10. Stout,R.D., "Weldability of Steels, Welding Research Council, 4th edition", USA, 1987.
11. Poorhaydari,B.K. and et al., Estimation of Cooling rate in the Welding of Plates with Intermediate Thickness, *Welding journal*, October, 149-155, 2005.
12. Norman,F.A., Drazhner,V. and Prangnell,B.P., Effect of Welding Parameters on the Solidification Microstructure of Autogenous TIG Welds in an Al-Cu-Mg-Mn Alloy, *Materials Science and Engineering*, (A259): 53-64, 1999.
13. Murugan,S. and et al., "Temperature Distribution and Residual Stresses due to Multipass Welding in type 304 Stainless Steel and Low Carbon Steel Weld Pads", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 78(4): 307-317, 2001.
14. Mohandas,T. and et al., "A Comparative Evaluation of Gas Tungsten and Shielded Metal Arc Welds of a Ferritic Stainless Steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 94:133-140, 1999.
15. Lothongkum,G., Viyanit,E. and Bhandhubanyong,P., "Study on the Effects of Poled TIG Welding Parameters on Delta-Ferrite Content, Shape Factor and Bead Quality in Orbital Welding of AISI 316L Stainless Steel Plate", 110:233-238, 2001.

AKDENİZ BÖLGESİNDEN YATAY DÜZLEME GELEN GÜNLÜK TOPLAM GÜNEŞ İŞİNİMİNİN MODELLENMESİ

Hüsamettin BULUT

H.Ü., Makina Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa/Türkiye

Orhan BÜYÜKALACA ve Tuncay YILMAZ

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

ÖZET : Bu çalışmada, Akdeniz bölgesi için, uzun dönem ölçüm verileri kullanılarak, yatay düzleme gelen günlük toplam günışının şiddetini bir trigonometrik fonksiyonla ifade edilmiştir. Bu fonksiyondan türetilen değerlerin, ölçülen değerlere göre ortalama mutlak, bağıl ve standart hataları ve korelasyon katsayısı gibi istatistiksel parametreleri hesaplanmıştır. Ölçülen güneş işnim değerleri yıl içinde ve yıllara göre dalgalanma göstermekle birlikte, geliştirilen eşitliğin uzun dönem ölçüm değerlerini iyi bir şekilde temsil ettiği görülmüştür. Model sonucunda ortaya çıkan değerler, literatürde Akdeniz bölgesi için verilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Geliştiren bu basit modelin, güneş enerjisi uygulamalarında, Akdeniz bölgesindeki illerde yatay düzleme gelen günlük toplam işnim değeri için rahatlıkla kullanılabileceği ve ölçüm değerlerini istatistiksel olarak da iyi bir şekilde temsil ettiği görülmüştür. Ayrıca bu model diğer bölgeler için de genişletilebilir.

MODELLING OF DAILY GLOBAL SOLAR RADIATION ON A HORIZONTAL SURFACE IN THE MEDITERRANEAN REGION

ABSTRACT : In this study, a simple model to estimate daily global radiation on a horizontal surface is developed using long-term measured data for 7 locations in the Mediterranean region. The model is based on a trigonometric function, which has only one independent parameter, namely the day of the year. The coefficients of model were determined by considering mean absolute error, mean relative error, root-mean-square error, and correlation coefficient. It is seen that the model has a good agreement with the long-term measured data. The model is also compared with the data available in literature. It is expected that the model developed for daily global solar radiation will be useful to the designers of energy related systems as well as those who need to have fairly good estimates of yearly variation of global solar radiation for Mediterranean region. The model can be also implemented to the other region.

1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde en çok kullanabileme potansiyeli olan güneş enerjisidir. Güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi, güneş enerjisi uygulamaları ve sistemleri için sağlıklı, güvenilir ve kolay ulaşılabilir güneş verilerine ihtiyaç vardır. Ölçme aletlerinin pahalı olması, ölçüm teknikleri ile ilgili problemler ve ölçümün belirli kuruluşlar tarafından yapılması, ışınım ve güneşlenme süreleri gibi güneş verilerine ulaşmayı zorlaştırmaktadır.

Türkiye'de güneş ile ilgili ölçümler, başta Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ), Elektrik İşleri İtüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) ve araştırma amaçlı olarak sınırlı sayıda bazı üniversiteler tarafından yapılmaktadır. Literatürde verilen güneş ışınımı değerleri ile ilgili bazı sorunlar bulunmaktadır. Bunlar, kullanılan veri setinin belli olmaması, eski yıllara ait olması ve bazı yerler için bu değerlerin olmamasıdır. Dolayısıyla, güneş enerjisi ile ilgili sağlıklı, kolay temin edilebilir ve güvenilir verilere ulaşabilmenin zor olduğu söylenebilir.

Güneş enerjisi uygulamalarında ve sistemlerinin analiz ve tasarımında güneş ışınımı ile ilgili modeller sıkılıkla kullanılmaktadır. Güneş ışınımı tahmini için geliştirilen modellerin çoğu güneşlenme süresi, bulutluluk, bağıl nem, minimum ve maksimum sıcaklıklar gibi mevcut iklim parametrelerine dayanmaktadır [1-8]. Wong ve Chow [9] mevcut modellerle ilgili detaylı bir çalışma yapmışlardır. Türkiye'de farklı yerleşim alanları için güneş enerjisi verileri ile bağlantılı bağımsız bir çok çalışma [4-8, 10-24] olmasına rağmen, bu çalışmalar henüz tamamlanmamıştır ve yeterli düzeyde değildir. Bu çalışmanın temel amacı, güneş enerjisi potansiyeli açısından Güneydoğu Anadolu Bölgesinden sonra ikinci olan Akdeniz Bölgesi için, uzun dönem ölçüm verileri kullanılarak, yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınım şiddetinin basit bir şekilde modellenmesinin yapılmasıdır.

2. YATAY DÜZLEME GELEN GÜNLÜK TOPLAM GÜNEŞ İŞİNİMİN MODELLENMESİ

Güneş ışınımı ve sıcaklık gibi meteorolojik parametreler ne tamamen tesadüfi ve ne de tamamen kesin olarak belirlenebilecek yapıda olduklarından, bütün değişimlerini matematiksel olarak ifade etmek çok zordur. Diğer taraftan, bu gibi iklim verilerinin yıllık veya günlük gibi farklı zaman dilimlerindeki değişimlerini bilmek gerekmektedir. Bundan dolayı, güneş ışınımı, sıcaklık ve bağıl nem gibi tipik iklim değişkenlerini üretmek için çeşitli modeller geliştirilmiştir [25]. Güneş enerjisi ile ilgili modeller, basit eşitliklerden karmaşık modellere kadar uzanmaktadır. Zaman serileri, Fourier serileri, olasılıklı modelleme ve regresyon analizi, sentetik meteorolojik veri üretmede en çok kullanılan tekniklerdir [23-35]. Ayrıca bazı araştırmacılar, güneş ışınımının yıl boyunca harmonik eşitliklerle iyi bir şekilde temsil edileceğini göstermişlerdir [10,15,24,28].

İklim değişkenlerinin sentetik olarak üretmenin en temel avantajı, matematiksel ifadelerin bilgisayar programlarında kolay olarak kullanılabilmesi ve böylelikle sıkıcı veri girişi gibi veya veritabanı dosyaları ile uğraşılmamasıdır.

Bu çalışmada, yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınımı, basit trigonometrik fonksiyona dayanan bir eşitlik ile ifade edilmiştir. Eşitlik sadece yılın gününe bağlıdır. Yatay düzleme gelen güneş ışınımı (I), $\text{MJ/m}^2\text{/gün}$ cinsinden aşağıdaki eşitlikle tahmin edilebilir:

*AKDENİZ BÖLGESİNDE YATAY DÜZLEME GELEN GÜNLÜK TOPLAM GÜNEŞ İŞİNİMİNİN
MODELLENMESİ*

$$I = I_2 + (I_1 - I_2) \left| \sin \left[\frac{\pi}{365} (m + 5) \right] \right|^{1.5} \quad (1)$$

Eşitlikte, m 1 Ocaktan itibaren yılın günlerini göstermektedir. Örneğin 1 Ocak için m=1, 31 Aralık için ise m=365'dir. I_1 ve I_2 fonksiyon sabitleri olarak, uzun dönem ölçüm değerleri ve istatistiksel hesaplamalar sonucu her bir yer için tespit edilir. Modellemenin uygun olabilmesi için eşitliğe ait bazı istatistiksel parametrelerin kabul edilebilir düzeyde olması gereklidir. Bu çalışmada kullanılan istatistiksel ölçüler aşağıda verilmiştir.

Ortalama mutlak hata (OMH):

$$OMH = \sum_{i=1}^n \left| \frac{I_{h,i} - I_{\bar{o},i}}{n} \right| \quad (2)$$

Ortalama bağıl hata (OBH):

$$OBH = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{I_{h,i} - I_{\bar{o},i}}{I_{\bar{o},i}} \right|}{n} \quad (3)$$

Standart hata:

$$SH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_{h,i} - I_{\bar{o},i})^2}{n-2}} \quad (4)$$

Burada, I_h and $I_{\bar{o}}$ sırasıyla hesaplanan ve ölçülen günlük güneş ışınıını belirtmektedir. n ise toplam veri sayısını göstermektedir.

Korelasyon katsayısı (r):

$$r = \sqrt{\frac{S_t - S_r}{S_t}} \quad (5)$$

Eşitlikte, S_t standart sapmayı ve S_r hesaplanan değerlerin ölçüm değerlerinden sapmasını göstermektedir. S_t ve S_r aşağıdaki eşitliklerden bulunabilir:

$$S_t = \sum_{i=1}^n (\bar{I}_{\delta} - I_{\delta,i})^2 \quad (6)$$

$$S_r = \sum_{i=1}^n (I_{\delta,i} - I_{h,i})^2 \quad (7)$$

burada \bar{I}_{δ} ölçüm değerlerinin ortalamasıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\bar{I}_{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^n I_{\delta,i}}{n} \quad (8)$$

Modellemenin ölçüm değerlerini iyi temsil ettiğinin göstergesi olarak OMH, OBH ve SH değerlerinin küçük, korelasyon katsayısının mümkün olduğunda bire yakın olması gereklidir.

3. AKDENİZ BÖLGESİ İÇİN MODELE AİT PARAMETRELERİN TESPİTİ

Yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınımını veren Eşitlik (1)'in sabitleri, I_1 ve I_2 Akdeniz Bölgesi için istatistiksel ölçüler dikkate alınarak tespit edilmiştir. Akdeniz Bölgesi'nde ele alınan 7 il ve veri setine ait bilgiler Tablo 1'de sunulmuştur. Yatay düzleme gelen toplam güneş ışınımı ölçüm değerleri DMİ'den temin edilmiştir. Tablo 1'den görüldüğü gibi en az 14 yıllık veri hesaplamalarda kullanılmıştır. Tablo 2'de ise Eşitlik (1)'in sabitleri ve istatistiksel ölçüler verilmiştir.

**AKDENİZ BÖLGESİNDE YATAY DÜZLEME GELEN GÜNLÜK TOPLAM GÜNEŞ İŞİNİMİNİN
MODELLENMESİ**

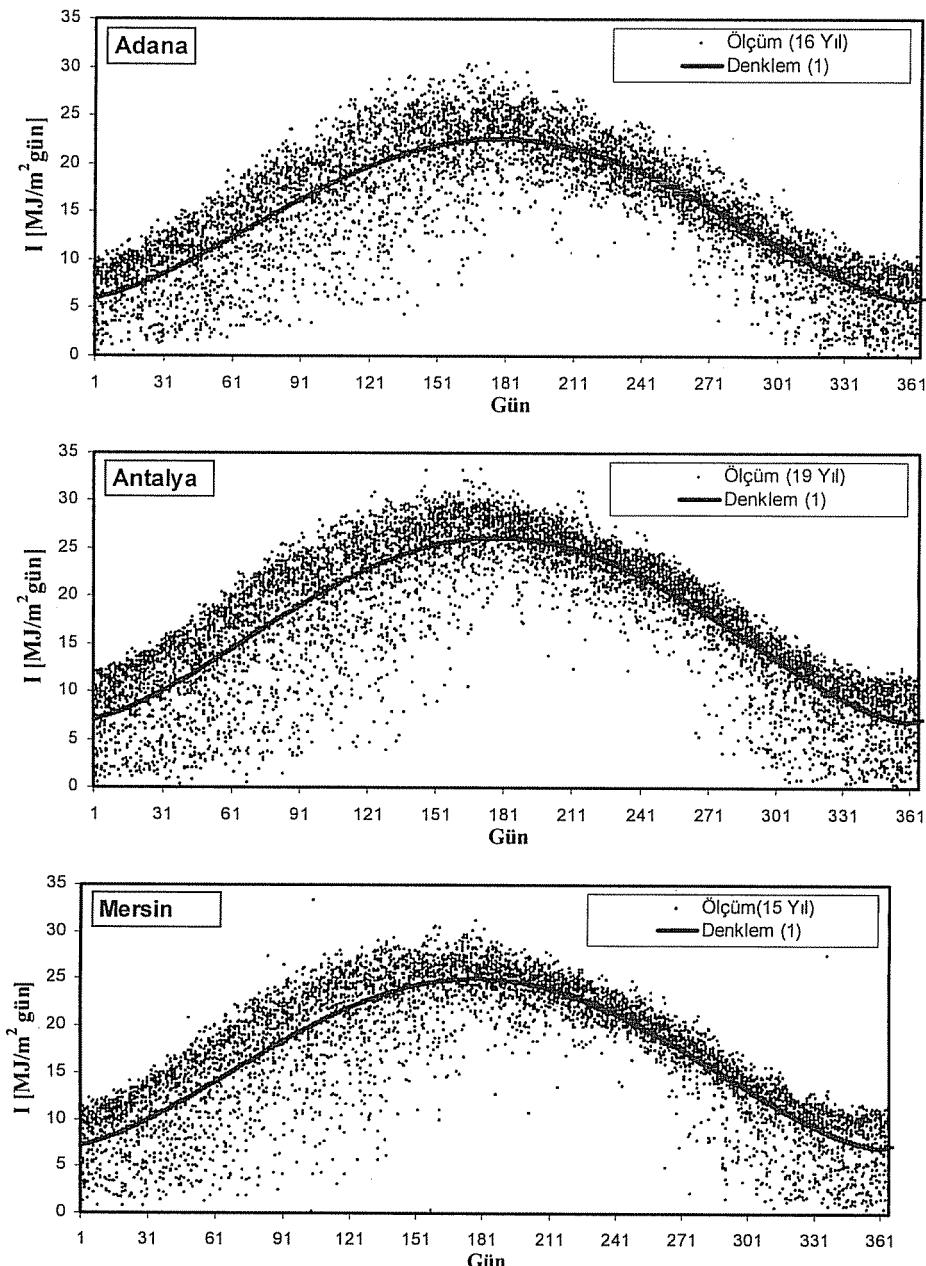
Tablo 1. Çalışmada ele alınan illere ait coğrafik ve kullanılan güneş ışınımı veri setine ait bilgiler.

İl	Boylam [$^{\circ}$]	Enlem [$^{\circ}$]	Rakım [m]	Ölçüm Aralığı	Toplam Yıl
Adana	35 18	36 59	20	1986-2001	16
Antakya	36 07	36 15	100	1984-1998	14
Antalya	30 42	36 53	42	1983-2001	19
Isparta	30 33	37 45	997	1981-1998	18
K.Maraş	36 56	37 36	549	1985-2001	17
Karaman	33 14	37 11	1025	1985-1998	14
Mersin	34 36	36 49	5	1984-1998	15

Tablo 2. Yatay düzleme gelen toplam güneş ışınım şiddetinin fonksiyon (Eşitlik 1) sabitleri, ortalama hatalar ve korelasyon katsayıları.

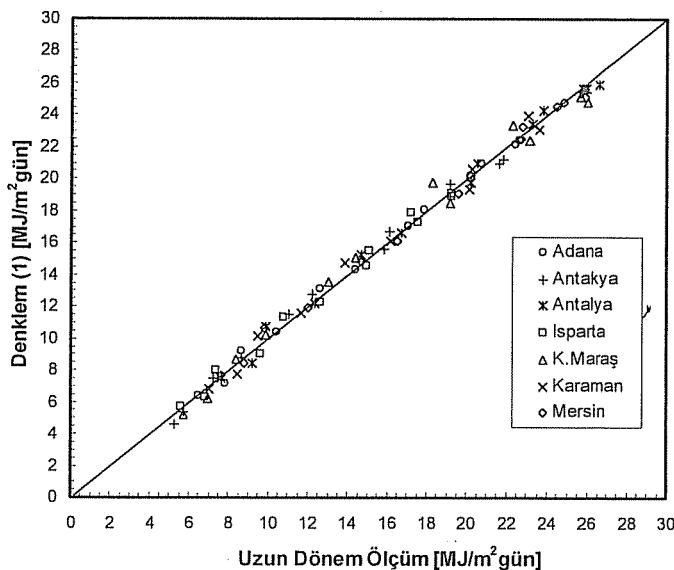
İl	I_1	I_2	$\pm OMH$	OBH	$\pm SH$	r
Adana	22.56	5.81	2.57	0.20	3.36	0.86
Antakya	21.38	3.97	2.19	0.21	2.91	0.90
Antalya	26.12	6.86	2.79	0.20	3.74	0.87
Isparta	19.24	5.19	2.22	0.20	2.89	0.85
K. Maraş	25.36	4.50	2.89	0.24	3.83	0.88
Karaman	25.88	6.17	2.76	0.19	3.64	0.88
Mersin	25.00	7.01	2.57	0.18	3.49	0.87

Tablo 2'den görüldüğü gibi bu çalışmada ele alınan bütün iller için korelasyon katsayısı 0.85 ile 0.90 aralığında olup, bu modelin ölçüm değerlerini iyi temsil ettiğini göstermektedir. Diğer istatistiksel ölçülerin de yeterli hassasiyette olduğu ve bölgede bu değerler arasında anormal farkların olmadığı tablo 2'den gözlemlenmiştir. Şekil 1'de yatay düzleme gelen güneş ışınımının yıl boyunca değişimi Adana, Antalya ve Mersin için verilmiştir. Ölçüm değerlerinin yıllara göre ve yıl içindeki dalgalanmalarına rağmen, fonksiyon değerlerinin ölçülen değerleri iyi bir şekilde temsil ettiği görülmektedir. Önerilen eşitlik, özellikle binaların dinamik enerji analizlerinde ve bilgisayar simülasyonlarında rahatlıkla kullanılabilir. Akdeniz bölgesinde ele alınan tüm illerin aylık ortalama ışınım değerleri eşitlik 1'den elde edilen aylık ortalama değerler ile şekil 2'de karşılaştırılmıştır. Şekil 2'de ölçümlerden elde edilen yatay düzleme gelen günlük toplam ışınım şiddetinin aylık ortalaması ile eşitlikten elde edilen değerler karşılaştırıldığında, aylık bazda eşitliğin çok iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.



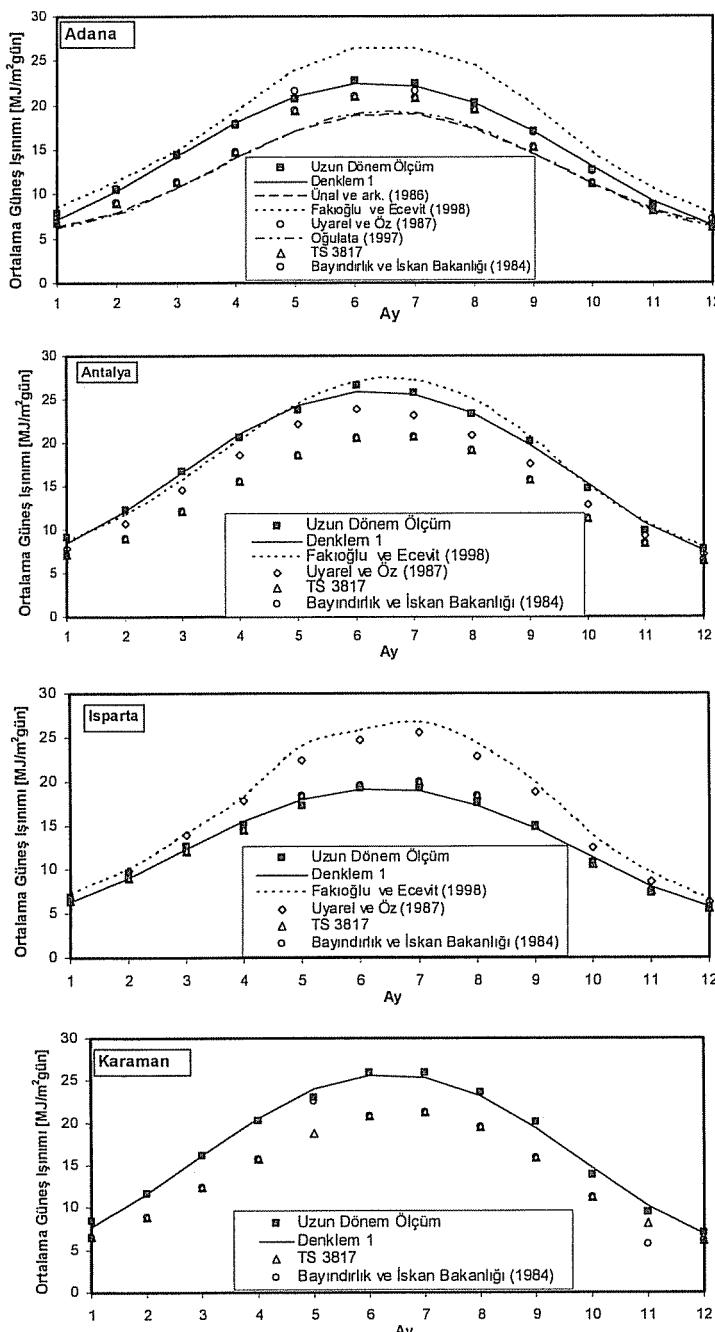
Şekil 1. Yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınımının Adana, Antalya ve Mersin için yıl boyunca değişimi.

**AKDENİZ BÖLGESİNDE YATAY DÜZLEME GELEN GÜNLÜK TOPLAM GÜNEŞ İŞİNİMİNİN
MODELLENMESİ**



Şekil 2. Uzun dönem ölçüm değerlerinin Eşitlik (1) ile aylık bazda karşılaştırılması

Bu çalışmadaki model (Eşitlik 1) kullanılarak, herhangi bir ay içerisindeki bütün günler için yatay düzleme gelen günlük toplam ışınım şiddetti bulunmuş ve ortalaması alınarak o ay için yatay düzleme gelen günlük toplam ışınım şiddetinin aylık ortalaması elde edilmiştir (Şekil 3). Bulunan sonuçlar, ele alınan iller için literatürde verilen değerler [10, 20, 24, 36-38] ve uzun dönem ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır. Mersin, Kahramanmaraş ve Antakya illeri için yatay düzleme gelen güneş ışınımının literatürde bulunamaması ilginç bir nokta olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 3'ten de görüldüğü gibi Fakioğlu ve Ecevit [20] tarafından verilen değerler özellikle Adana ve Isparta için uzun dönem ölçüm değerlerinden çok büyüktür. Adana için, Ünal ve ark. [24] ve Oğulata [10] tarafından verilen değerlerin hemen hemen aynı olduğu, fakat diğer değerlere göre oldukça küçük olduğu görülmüştür. Adana için Uyarel ve Öz [36] tarafından verilen değerlerin uzun dönem ölçüm ve bu çalışma sonucu elde edilen değerlerle uyumlu olduğu görülmüştür. TSE [38] ve Bayındırılık ve İskan Bakanlığında [37] verilen değerlerin Adana için aynı olduğu, fakat ölçüm değerlerine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Antalya için verilen değerlere bakıldığında TSE [38] ve Bayındırılık ve İskan Bakanlığında [37] verilen değerlerin aynı ve Uyarel ve Öz [36] tarafından verilen değerlere ile birlikte uzun dönem ölçüm değerlerinden küçük olduğu görülmüştür. Isparta verilerinde Uyarel ve Öz [36] ve Fakioğlu ve Ecevit [20] değerlerinin diğer verilerden saplığı gözlenmiştir. Karaman ili için TSE [38] ve Bayındırılık ve İskan Bakanlığında [37] verilen değerlerin sadece Mayıs ve Kasım aylarında birbirinden farklı olduğu ve uzun dönem ölçümlerden küçük olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. Elde edilen sonuçların literatürde Adana, Antalya, Isparta, ve Karaman için verilen değerlerle karşılaştırılması.

**AKDENİZ BÖLGESİNDE YATAY DÜZLEME GELEN GÜNLÜK TOPLAM GÜNEŞ İŞİNİMİNİ
MODELLENMESİ**

Aylık bazda modelin ölçüm değerlerine göre maksimum mutlak hata ve maksimum bağlı hata değerleri ve maksimum hataların olduğu aylar Tablo 3'de verilmiştir. Tablodan da görüleceği gibi en yüksek bağlı hatalar illere göre %3.95 ile %12.62 arasında değişmektedir.

Tablo 3. Aylık bazda ölçüm ve model sonuçları arasındaki maksimum mutlak ve bağlı hatalar ve maksimum hataların olduğu aylar.

İl	Maksimum Mutlak Hata (MJ/m ² gün)	Maksimum Bağlı Hata (%)	Ay
Adana	0.64	8.19	Ocak
Antalya	0.66	12.62	Aralık
Antalya	0.86	8.70	Kasım
Isparta	0.70	9.55	Kasım
K. Maraş	1.18	4.54	Temmuz
Karaman	0.91	3.95	Mayıs
Mersin	0.80	8.13	Kasım

Aylık iklim verilerinin sunumunda yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi de o ayı temsil eden belirli bir gündeki verilerin sunulmasıdır ve temsili günler literatürde verilmiştir [39, 40]. Tablo 4'te her ayı temsil eden gün değerlerine göre eşitlik (1)'den hesaplanan günlük toplam güneş ışınımı [I_{tg}], yine eşitlik (1)'den herhangi bir ay içerisindeki bütün günler için ayrı ayrı hesaplanıp, aylık ortalaması bulunan günlük toplam güneş ışınımı [I_{ort}] ve uzun dönem günlük toplam ölçüm değerlerinin aylık ortalaması [$I_{ölcüm}$] Antakya, Kahramanmaraş ve Mersin için verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi I_{tg} ve I_{ort} değerleri birbirine çok yakındır. Buradan da, aylık ortalama güneş ışınımı hesabında temsili günün eşitlik (1) ile birlikte güvenle kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Ölçüm değerleri ile eşitlikten elde edilen değerler (I_{tg} ve I_{ort}) arasındaki fark %0.16 ile %12.62 olarak kabul edilebilir sınırlar içerisinde değişmektedir.

Tablo 4. Antakya, Kahramanmaraş ve Mersin için eşitlik (1) kullanılarak temsili günlerden (I_{tg}) ve günlük değerlerin ortalamasından (I_{ort}) hesaplanan yatay düzleme gelen aylık ortalama güneş ışınımı değerlerinin [MJ/m²gün], uzun dönem ölçüm değerleri [$I_{ölcüm}$] ile karşılaştırılması

Ay	Temsili gün (m)	Antakya			Kahramanmaraş			Mersin		
		I_{tg}	I_{ort}	$I_{ölcüm}$	I_{tg}	I_{ort}	$I_{ölcüm}$	I_{tg}	I_{ort}	$I_{ölcüm}$
Ocak	17	5.39	5.38	5.70	6.20	6.19	6.98	8.48	8.47	8.82
Şubat	47	8.93	8.75	8.63	10.44	10.23	9.89	12.13	11.95	12.02
Mart	75	12.79	12.78	12.23	15.07	15.05	14.42	16.12	16.11	16.53
Nisan	105	16.70	16.72	16.09	19.75	19.77	18.27	20.16	20.18	20.16
Mayıs	135	19.68	19.69	19.13	23.32	23.34	22.28	23.24	23.26	22.74
Haziran	162	21.15	21.19	21.79	25.08	25.13	25.62	24.76	24.81	24.85
Temmuz	198	20.98	20.94	21.59	24.88	24.83	26.01	24.58	24.55	24.49
İyustos	228	19.01	18.95	19.13	22.52	22.45	23.13	22.55	22.49	22.69
Eylül	258	15.72	15.63	15.83	18.58	18.47	19.19	19.15	19.05	19.58
Ekim	288	11.68	11.54	11.04	13.73	13.57	13.00	14.97	14.83	14.64
Kasım	318	7.63	7.49	7.24	8.89	8.71	8.36	10.79	10.64	9.84
Aralık	344	4.86	4.57	5.23	5.56	5.22	5.73	7.93	7.63	7.65

4. SONUC

Yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınımı Akdeniz Bölgesinde bulunan 7 il için basit bir trigonometrik eşitlikle modellenmiştir. Modelin ölçüm değerlerini iyi bir şekilde temsil ettiği belirlenmiştir. Bu modelin güneş enerjisi ile ilgili uygulamalarda ve sistemlerde ortaya çıkacak veri eksikliği ihtiyacını ortadan kaldıracağı ve ilgili mühendisler ve uygulamacılar için faydalı olacağının düşünülmektedir. Ayrıca bu model diğer yerleşim birimleri için geliştirilebilir.

Literatürdeki güneş ışınımı ile ilgili değerlerin tüm iller için mevcut olmadığı ve değerler arasında önemli farkların olduğu görülmüştür. Dolayısıyla güneş verileri ile ilgili sağlıklı, eksiksiz ve güvenilir bir veri tabanının oluşturulması gerekmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Singh,O.P., Srivastava,S.K, Gaur,A., "Empirical relationship to estimate global radiation from hours of sunshine", *Energy Conversion and Management*, 37(4), 501-504, 1996.
2. Badescu,V., "Correlations to estimate monthly mean daily solar global irradiation: application to Romania", *Energy*, 24(10), 883-893, 1999.
3. Trabea,A.A., Shaltout,M.A., "Correlation of global solar radiation with meteorological parameters over Egypt", *Renewable Energy*, 21(2), 297-308, 2000.
4. Toğrul,I.T., Onat,E., "A study for estimating solar radiation in Elazığ using geographical and meteorological data", *Energy Conversion and Management*, 40(14), 1577-1584, 1999.
5. Hepbaşlı,A., Ulgen,K., "Prediction of solar radiation parameters through clearness index for İzmir", *Turkey, Energy Sources*, 24(8), 773-785, 2002.
6. Ulgen,K., Hepbaşlı,A., "Comparison of solar radiation correlations for İzmir", *Turkey, International Journal of Energy Research*, 26(5), 413-430, 2002.
7. Toğrul,I.T., Onat,E., "Global solar radiation over Turkey: comparison of predicted and measured data", *Renewable Energy*, 25(1), 55-67, 2002.
8. Ecevit,A., Akinoğlu,B.G., Aksoy,B., "Generation of a typical meteorological year using sunshine duration data", *Energy*, 27(10), 947-954, 2002.
9. Wong,L.T., Chow,W.K., "Solar radiation model", *Applied Energy*, 69(3), 191-224, 2001.
10. Oğulata,R.T., "Türkiye için bazı iklimsel değerlerin eşitliklerle ifade edilmesi", *Termodinamik*, 62, 90-95, 1997.
11. Kaygusuz,K., Ayhan,T., "Analysis of solar radiation data for Trabzon", *Turkey, Energy Conversion and Management*, 40(5), 545-556, 1999.
12. Kaygusuz,K., "The comparison of measured and calculated solar radiations in Trabzon", *Turkey, Energy Sources*, 21(4), 347-353, 1999.
13. Dincer,I., Dilmac,S., Ture,I.E., Edin,M., "A simple technique for estimating solar radiation parameters and its application for Gebze", *Energy Conversion and Management*, 37(2), 183-198, 1995.
14. Bulut,H., Büyükalaca,O., Yılmaz,T., "Bazı iller için güneş ışınımı, güneşlenme süresi ve berraklık indeksinin yeni ölçütler ışığında analizi", *Güneş Günü Sempozyumu Bildiler Kitabı*, s.22-29, Kayseri, 1999.

15. Yılmaz,T., Bulut,H., "Şanlıurfa ili için meteorolojik değerlerin günlük, yıllık değişiminin sürekli fonksiyonlarla ifadesi", 4. Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 188-198, Adana, 1996.
16. Şen,Z., Tan,E., "Simple models of solar radiation data for Northwestern part of Turkey", *Energy Conversion and Management*, 42(5), 587-598, 2001.
17. Oğulata,R.T., Oğulata,S.N., "Solar radiation on Adana", *Turkey, Applied Energy*, 71(4), 351-358, 2002.
18. Güneş,M., "Comparison of total horizontal solar radiation measurements with some existing models for Turkey", *Energy Sources*, 24(8), 735-742, 2002.
19. Güneş,M., "Analysis of daily total horizontal solar radiation measurements in Turkey", *Energy Sources*, 23, 563-570, 2001.
20. Fakioğlu,T., Ecevit,A., "Türkiye'deki çeşitli istasyonlarda toplam ve saatlik güneş işına hesap değerleri", *İş Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 9(1-2), 27-32, 1998.
21. Ulgen,K., Hepbaşlı,A., "Estimation of Solar Radiation Parameters for İzmir", *Turkey, International Journal of Energy Research*, 26, 807-823, 2002.
22. Bulut,H., "Typical solar radiation year for southeastern Anatolia", *Renewable Energy*, 29/9, 1477-1488, 2004.
23. Bulut,H., "Generation of typical solar radiation data for İstanbul", *Turkey. International Journal of Energy Research*, 27(9), 847-855, 2003.
24. Ünal,A., Tanes,Y., Onur,H.Ş., "Günlük ortalama güneş işinimi ve sıcaklık değerlerinin sürekli fonksiyonlarla ifadesi, fonksiyon parametrelerinin Türkiye'deki dağılımı", *İş Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 8(4), 37-45, 1986.
25. Knight,K.M., Klein,S.A., Duffie,J.A., "A methodology for the synthesis of hourly weather data", *Solar Energy*, 46(2), 109-120, 1991.
26. Gordon,J.M., Reddy,T.A., "Time Series analysis of daily horizontal solar radiation", *Solar Energy*, 41(3), 215-226, 1988.
27. Alaruri,S.D., Amer,M.F., "Empirical regression models for weather data measured in Kuwait during the years 1985, 1986, and 1987", *Solar Energy*, 50(3), 229-233, 1993.
28. Sezai, I., Taşdemiroğlu, E. Evaluation of the meteorological data in Northern Cyprus, *Energy Conversion and Management*, 36(10), 953-961, 1995.
29. Supit,I., Kappel,R.R.V., "A simple method to estimate global radiation", *Solar Energy*, 63(3), 147-160, 1998.
30. Santamouris,M., Mihalakakou,G., Psiloglou,B., Eftaxias,G., Asimakopoulos,D.N., "Modelling the global solar radiation on the Earth's surface using atmospheric deterministic and intelligent data-driven techniques", *Journal of Climate*, 12(10), 3105-3116, 1999.
31. Mohandes,M., Balghonaim,A., Kassas,M., Rehman,S., Halawani,T.O., "Use of radial basis functions for estimating monthly mean daily solar radiation", *Solar Energy*, 68(2), 161-168, 2000.
32. Dorvlo,A.S., "Fourier analysis of meteorological data for Seeb", *Energy Conversion and Management*, 41(12), 1283-1291, 2000.
33. Jain,P.K., Lungu,E.M., "Stochastic models for sunshine duration and solar irradiation", *Renewable Energy*, 27(2), 197-209, 2002.

34. Genç,A., Kinaci,I., Oturanç,G., Kurnaz,A., Bilir,Ş., Özbalta,N., "Statistical analysis of solar radiation data using cubic spline functions", *Energy Sources*, 24(12), 1131-1138, 2002.
35. Zeroual,A., Ankrim,M., Wilkinson,A.J., "Stochastic modelling of daily global solar radiation measured in Marrakech, Morocco", *Renewable Energy*, 6(7), 787-793, 1995.
36. Uyarel,A.Y., Öz,E.S, "Güneş enerjisi ve uygulamaları", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 1987.
37. Bayındırlik ve İskan Bakanlığı, Yapı İşleri Genel Müdürlüğü, *Teknik El Kitapları 3, Güneşli su ısıtıcıları*, Başbakanlık Basımevi, Ankara, 1984.
38. TS 3817, Güneş enerjisi-Su ısıtma sistemlerinin yapımı tesis ve işletme kuralları, *Türk Standardları Enstitüsü (TSE)*, Ankara, 1994.
39. Kılıç,A., Öztürk,A., "Güneş Enerjisi", *Kipaş Dağıtımcılık*, İstanbul, 1983.
40. Hsieh,J.S., "Solar Energy Engineering", *Prentice-Hall*, New Jersey, 1986.

TEKSTİL İŞLETMELERİNDE MALİYET HESAPLAMALARI-DOKUMA KUMAŞ MALİYETİ

Emel KAPLAN ve Erdem KOÇ

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

ÖZET : Dokuma kumaş maliyeti; kumaş üreten işletmelerin rekabet şartlarını doğrudan etkilediği için önem arz etmektedir. Bu çalışmada; dokuma kumaş maliyeti ile ilgili genel bilgi verilmiş, kumaş maliyetinin hesaplanmasına yönelik eşitlikler önerilmiştir. Önerilen eşitlikler kullanılarak seçilmiş bir dokuma işletmesinde üretilmiş olan bir kumaş türü için maliyet hesaplaması yapılmış ve hesaplama sonucu elde edilen değerler; kaynaklarda yer alan bilgilerle karşılaştırılmıştır. Hesaplanan değerlerin kaynaklarda yer alan değerlere çok yakın olduğu belirlenmiş, önerilen eşitliklerin dokuma kumaş maliyeti hesaplamasında kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

COST CALCULATION IN TEXTILE MILLS-WOVEN FABRIC COST

ABSTRACT : *The cost of woven fabric is important as it affects the competition conditions of woven fabric manufacturers with each other. In this study; general information about cost of woven fabric has been given and the relevant equations calculating the cost of fabric have been recommended. Furthermore cost calculation of a specific woven fabric produced in chosen weaving mill has been performed considering the recommended equations and the results obtained have been compared with the data given in literature. It is determined that the calculated values are similar to the data given in literature and the equations given in this study can be used to calculate the cost of a particular type of woven fabric with reasonable confidence.*

1. GİRİŞ

Dokuma kumaşlar; tutum, görünüm, sağlamlık gibi kullanım özellikleri açısından ve iplik tüketiminin optimum olması bakımından, diğer tekstil yüzeyi oluşturma teknikleri arasında özel bir yere sahiptir. Atkı ve çözgü adı verilen ipliklerin birbirlerine dik yönde kesişerek, birbirlerinin altından ve üstünden geçerek bağlanmalarıyla elde edilen dokuma kumaşların üretimi dokuma hazırlık ve bunu izleyen dokuma işlemlerile gerçekleştirmektedir. Dokuma işleminin randımanlı şekilde yürütülmesi ve kaliteli ürün elde edilmesi açısından dokuma kumaş üretiminde dokuma işleminden önce dokuma hazırlık işlemlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Dokuma hazırlık işlemleri; atkı iplığının hazırlanması, haşlama, tahar gibi kesikli olarak gerçekleştirilen işlemlerden oluşmaktadır. Bu işlemler sonucunda dokuma leventlerine sarılmış vaziyette elde edilen çözgü iplikleri ile bobin halindeki atkı iplikleri dokuma makinalarında kumaş formunu almaktadır (1).

Coc çok çeşitli yapıda ipliklerin kullanılması, farklı desen yapılarının uygulanması, atkı ve çözgü ipliklerinin sıklıklarının ve renklerinin değiştirilmesi ile müşteri isteklerine uygun özelliklerde dokuma kumaşlar elde edilebilmektedir. Müşteri isteklerine uygun, farklı ve kaliteli ürünü en kısa zamanda ve minimum maliyetle elde etmek, diğer üreticilerin olduğu gibi dokuma kumaş üreticilerinin de en önemli amacı olmaktadır. Bu durumda maliyet kavramı önem kazanmaktadır.

Günümüzde işçilik ücretlerinin ve enerji birim fiyatlarının ucuz olduğu Çin, Brezilya, Endonezya, Hindistan gibi ülkelerde dokuma kumaş maliyetleri oldukça düşük olmakta, diğer ülkelerin bu alanda rekabet etme şansları azalmaktadır. Ülkemizin önemli sanayi dallarından biri olan tekstil ve konfeksiyon sanayinin büyük sıkıntılarından biri de, benzer mamulleri daha yüksek maliyetle elde etmek olarak öne çıkmaktadır. Özellikle satış fiyatlarının dünya piyasasına göre belirlendiği bu günlerde; dokuma işletmelerinin istedikleri oranda kar ederek varlıklarını sürdürmeleri maliyetlerini kontrol etmeleriyle mümkün olmaktadır. Maliyetlerin düşük tutulabilmesi için öncelikle maliyet hesaplama yolları bilinmeli ve maliyeti artıran unsurlar belirlenmelidir.

Bu çalışmada maliyetlerin minimize edilmesinde ilk basamak olan maliyet hesaplaması üzerinde durulmaktadır. Çalışma kapsamında, maliyet ve dokuma kumaş maliyetini oluşturan unsurlar hakkında genel bilgi verilmiş, tipik bir dokuma kumasın maliyetinin hesaplanmasına yönelik eşitlikler belirtilmiştir. Bunun yanında; seçilmiş bir dokuma işletmesinde üretilen belirli özellikteki dokuma kumaş için maliyet hesaplaması yapılmış, hesaplama sonucu elde edilen veriler kaynaklardan elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır.

2. MALİYET VE MALİYET TÜRLERİ

İşletmelerin kendi faaliyet konusunu oluşturan mamul ve hizmetleri üretebilmek ve bunları satabilmek amacıyla harcadığı çeşitli üretim faktörlerinin para ile ölçülen değeri ürün maliyeti olarak ifade edilmektedir (2). Mamul eldesinde katlanılan giderlerin tamamı *toplam maliyet* olarak değerlendirilirken, yapılan tüm harcamaların elde edilen ürün miktarına bölünmesiyle ya da üretim miktarı başına düşen giderlerin hesaplanmasıyla *birim maliyet* bulunmaktadır. Mal ve hizmetler, satışa hazır duruma gelinceye kadar oluşan her türlü maliyete ise *ürtim (imalat) maliyeti* denmektedir.

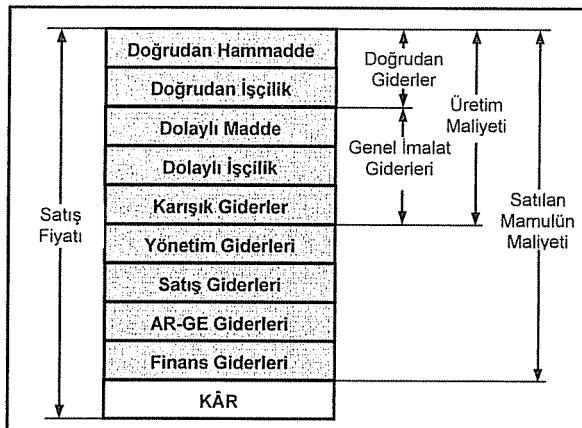
İşletmenin faaliyet konusunu oluşturan mamul veya hizmetin maliyetinin hesaplanabilmesi için hangi tür harcamaların maliyet kapsamına konu olacağı ve üretim maliyetlerini oluşturan maliyet unsurlarının dikkatli bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir (3).

Maliyet unsurları üretim faaliyetini doğrudan ve dolaylı olarak etkilemesine bağlı olarak iki grupta incelenmektedir. Eğer söz konusu maliyeti oluşturan faktör, mamulün üretiminde doğrudan rol oynayıp, maliyet konusu ile doğrudan ilişkilendirilebiliyorsa **doğrudan (direkt) maliyet** olarak nitelendirilmektedir. Bu tür maliyet unsurlarının mamulün üretimi sırasında ne kadar harcadığı doğrudan doğruya belirlenebilmektedir (4).

Maliyeti oluşturan faktör mamul maliyeti ile doğrudan ilişkilendirilemeyorsa **dolaylı (endirekt) maliyet** olarak tanımlanmakta olup doğrudan maliyetler dışında kalan tüm giderler bu gruba girmektedir. Dolaylı maliyetler dağıtım yoluyla mamul maliyetine yansıtılırken, dolaysız maliyetler direk olarak hesaplanabilmektedir. Örneğin bir işletmede üretimde hammadde olarak yer alan maddeler, üretimin gerçekleştirilmesi için makina başında çalışan işçiler, makina aksamının çalıştırılması amacıyla kullanılan enerji doğrudan maliyet kapsamında düşülebilirken; makinalar için kullanılan yardımcı maddeler, işletme malzemesi, malzeme taşıyan, temizlik yapan işçiler, ortam aydınlatılması ve ısıtılması için harcanan enerji dolaylı maliyet kapsamında düşünülmektedir (5).

Maliyetin belirlenebilmesi için öncelikle gerekli mamul ya da hizmetin üretimi sırasında meydana gelen giderlerin saptanması gerekmektedir. En genel halde giderler Hammadde ve Malzeme Giderleri, İşçilik Giderleri, Genel İmalat Giderleri olarak üç başlık altında incelenmektedir. Mamulu oluşturabilmek için gerekli olan hammadde, yardımcı madde ve çeşitli malzemeler işletmeye girinceye kadar yapılan giderler, hammadde ve malzemenin maliyetini oluşturmaktadır. İşçilik giderleri; işletme faaliyetlerini yürütmek, üretim ve hizmetleri gerçekleştirmek amacıyla çalıştırılan işçiler için tahakkuk ettirilen (esas işçilik, fazla mesai, üretim primleri, ikramiyeler, yıllık izin ücretleri, her tür sosyal yardımlar ve işçilere ait diğer giderler gibi) tutarı kapsamaktadır. Genel imalat giderleri, işletmenin gerçekleştirdiği üretim faaliyetleri ile ilgili olarak doğrudan işçilik ve doğrudan madde (malzeme) dışında kalan tüm giderlerden meydana gelmektedir. Dolaylı madde (malzeme), dolaylı işçilik, memur ücret ve giderleri, bakım, onarım, enerji, dışardan sağlanan fayda ve hizmetler, vergi, resim, harç, sigorta, amortisman ve tükenme payları gibi giderler genel imalat giderleri kapsamına girmektedir. (6, 7).

Şekil 1'de üretilen bir mamulün maliyetini oluşturan kalemler ve bu kalemlerin satış fiyatı ile ilişkisi izah edilmektedir. Doğrudan hammadde ve doğrudan işçilik gibi doğrudan giderler ile dolaylı hammadde, dolaylı işçilik ve bunların dışında kalan karışık giderler gibi genel imalat giderlerinin toplamı bir mamulün üretim maliyetlerini oluşturmaktadır. Üretim maliyetleri üzerine, mamulün üretim sürecinde gerçekleştirilen yönetim, Ar-Ge, finans, satış giderleri gibi çeşitli giderler eklenerek satılan mamulün maliyeti belirlenmektedir. Satılan mamul maliyetine piyasa şartları göz önüne alınarak belli oranda kâr eklenerek mamul satış fiyatı tespit edilmektedir (8).



Şekil 1. Mamülde satış fiyatı ve gider yapısı (8)

3. DOKUMA KUMAŞ MALİYETİ VE HESAPLANMASI

3.1. Dokuma Kumaş Maliyeti

Dokuma işletmelerinde de diğer işletmelerde olduğu gibi, birim maliyetin belirlenebilmesi için öncelikle mamülün üretimi sırasında meydana gelen giderlerin tespit edilmesi gerekmektedir. Dokuma kumaş maliyetine etki eden unsurlar genel olarak hammadde, işçilik, yardımcı madde, enerji, amortisman ve diğer faktörler olarak düşünülmektedir. Bu unsurların birim kumaş maliyetindeki payı da önemli olup; kumaş cinsine, üretim koşullarına, işletmenin teknolojik yapısı ve ekonomik durumuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bunun yanında dokuma kumaş maliyetleri üretimin gerçekleştirildiği ülkelerin mali yapısına göre de farklılaşmaktadır (9).

Çizelge 1'de farklı ekonomik yapıda seçilmiş ülkelerde; Ne 30/1 numarada penye ring atkı ve çözgү iplikleriyle 1.68m eninde, $112.96\text{g}/\text{m}^2$ gramajında üretilen bir dokuma kumaş için maliyet unsurları ($$/\text{m}$) ve bu unsurların toplam kumaş maliyetindeki payı (%) toplu halde verilmektedir. Çizelge esas alınarak toplam kumaş maliyetleri karşılaştırıldığında en ucuz ülkenin 0.713 $$/\text{m}$ toplam kumaş maliyeti ile Brezilya olduğu, en pahalı ülkenin ise İtalya olduğu dikkat çekmektedir. Türkiye (0.807 $$/\text{m}$) bu bakımdan en pahalı dördüncü ülke olarak görülmektedir. Seçilen ülkelerin çoğunluğunda kumaş maliyetinde en büyük payı hamadden almakta olup diğer unsurların payları ülkelere göre değişmektedir.

Ülkemizde işçilik ücretleri ABD ve İtalya'ya göre daha düşük olmasına rağmen, Çin ve diğer Uzakdoğu ülkelerine göre yüksek olmakta, bunun yanında makina ve ekipmanların yurtdışından ithal edilmesi amortisman maliyetlerini yükseltmektedir. Ayrıca yıllık çalışma saatlerinin değerlendirilmeye alınan ülkelere göre Türkiye'de daha az olması ve hammaddenin pahalı olması da ülkemizde dokuma kumaş maliyetlerini artıran diğer faktörler olmaktadır.

Çizelge 1. Ring ipligidinden dokuma kumaşta maliyet unsurları (10)

Ring ipligidinden Dokuma Kumaşlarda Maliyet Unsurları (\$/m kumaş) (2003)							
Maliyet Unsurları	Brezilya	Çin	Hindistan	İtalya	G. Kore	Türkiye	ABD
Telef	0.036 (%)	0.059 (%)	0.033 (%)	0.043 (%)	0.043 (%)	0.043 (%)	0.033 (%)
İşçilik	0.033 (%)	0.024 (%)	0.037 (%)	0.412 (%)	0.127 (%)	0.055 (%)	0.288 (%)
Enerji	0.050 (%)	0.097 (%)	0.122 (%)	0.160 (%)	0.077 (%)	0.107 (%)	0.074 (%)
Yardımcı Madde	0.062 (%)	0.060 (%)	0.081 (%)	0.092 (%)	0.118 (%)	0.084 (%)	0.071 (%)
Amortisman, Sermaye Faizi	0.284 (%)	0.195 (%)	0.213 (%)	0.223 (%)	0.191 (%)	0.249 (%)	0.216 (%)
Hammadde	0.248 (%)	0.321 (%)	0.239 (%)	0.270 (%)	0.269 (%)	0.269 (%)	0.241 (%)
Hammadde Dahil Toplam İndeks (İtalya: 100)	0.713 (59)	0.756 (63)	0.725 (60)	1.200 (100)	0.825 (69)	0.807 (67)	0.923 (77)

Kumaş üretiminde çok çeşitli iplikler kullanılmakta; hammadde maliyeti kullanılan ipliklerin cinsine (ring, open-end rotor, kompakt, vortex vb.) göre farklılık göstermektedir. İşçilik maliyetini, doğrudan işçilik ve dolaylı işçilik olarak ikiye ayırmak mümkün olmaktadır. Doğrudan işçilik; kumaş üretiminde gerek makina başında gereksiz hammadde ve yarı mamullerin taşınmasında görevli kişileri belirtirken; dolaylı işçilikle; doğrudan çalışanları yönlendiren usta ustabaşı, mühendisler, işletmenin devamlılığını sürdürden memur, işçi, vb. ve idari kadrodaki çalışanlar kastedilmektedir. Aynı şekilde enerji maliyetini de doğrudan ve dolaylı enerji maliyeti olarak iki başlık altında düşünülebilirmektedir. Doğrudan enerji maliyeti; üretimde çalışan makinalarda proseslerin yürütülmesi için tüketilen enerjinin maliyeti olurken; dolaylı enerji maliyeti ise çalışma ortamının aydınlatılması ve iklimlendirilmesi için gerekli enerji maliyeti olmaktadır. Amortisman maliyeti üretimde kullanılan makine ve ekipmanın yıprama payı olup, kumaş maliyetine çalışma süresi göz önüne alınarak dağıtılmaktadır (3, 9). Yukarıda belirtilen hammadde, doğrudan işçilik ve doğrudan enerji maliyetleri hesap yolu ile doğrudan belirlenebilirken, bunların dışında kalan maliyetler kumaş maliyetine dağıtım yoluyla yansıtılmaktadır.

Bu bölümde belirli özellikteki dokuma kumaş maliyetini hesaplamak amacıyla hammadde, işçilik, enerji, amortisman ve diğer maliyetler ayrı ayrı başlıklar halinde incelenmekte ve her bir maliyet için eşitlikler belirtilmektedir. Burada; belirli miktardaki dokuma kumaşın maliyeti belirlenirken; öncelikle işlemin gerçekleştiği her aşamada geçen süre; makinaların fiili çalışma hızları dikkate alınarak bulunmakta, bu süreler kullanılarak doğrudan işçilik ve doğrudan enerji maliyetleri hesaplanmaktadır. Dolaylı maliyet unsurları ise üretilen iplik miktarı esas alınarak kumaş maliyetine dağıtılmaktadır (3, 4, 11).

a) Hammadde Maliyeti

Dokuma kumaşta hammadde maliyeti hesaplanırken öncelikle dokuma kumaş üretimi sırasında gerekli olan atkı ve çözüğü ipliği miktarları telefler de dikkate alınarak

hesaplanmalıdır. Üretilen bir metre kare kumaş için kullanılan atkı W_a (g/m^2) ve çözgü W_ζ ağırlığı

$$W_a = \frac{S_a * (100 + B_a)}{N_a} \quad \text{ve} \quad W_\zeta = \frac{S_\zeta * (100 + B_\zeta)}{N_\zeta} \quad (1)$$

şeklinde hesaplanabilmekte; burada S_a ile S_ζ ham bezdeki atkı ile çözgü sıklıklarını (tel/cm), N_a ile N_ζ atkı ile çözgü ipliği numaralarını (Nm), B_a ile B_ζ ise atkı ile çözgü ipliklerinin dokuma sırasında büzülme oranlarını (%) ifade etmektedir. W_a ve W_ζ değerleri kullanılarak belirli miktardaki kumaş üretimi için hamadde maliyeti M_H (TL);

$$M_H = \frac{(W_a * F_A + W_\zeta * F_\zeta)}{1000} * E_h * L \quad (2)$$

olarak belirtilebilmektedir. Burada; F_A ve F_ζ atkı ve çözgü ipliklerinin birim fiyatını (TL/kg), E_h kumaş enini (m), L kumaş uzunluğunu (m) göstermektedir (3, 11).

b) İşçilik Maliyeti

Belirli miktar ve özellikteki dokuma kumaş üretimi için doğrudan işçilik maliyeti; üretimde yer alan her bir işçinin çalışma süresi dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Bu nedenle; dokuma hazırlık işlemleri ve dokuma işlemi sırasında geçen işlem süreleri, makinaların çalışma hızları esas alınarak hesaplanmaktadır. Ayrıca; her işlem öncesi bobinlerin yerleştirilmesi, leventlerin değiştirilmesi gibi hazırlık işlemleri ile iplik kopusu gibi nedenlerle makina duruşlarından kaynaklanan bekleme süreleri de çalışma süresine dahil edilmelidir. Çizelge 2'de dokuma hazırlık ve dokuma işlemleri sırasında geçen süreleri belirlemeye kullanılan ifadeler toplu halde gösterilmektedir (3, 11).

Hazırlık süreleri ve makine duruşları sırasında geçen süreler de dahil olmak üzere, her aşamada geçen toplam süreler (S_{CH} , $S_{Haş}$, S_{Tahar} , S_{Dok}) ile her aşamada çalışan işçi sayısı ve işçi saat ücreti çarpılarak her aşamadaki işçilik maliyetleri Çizelge 3'teki gibi belirlenebilmektedir. Her aşamadaki işçilik maliyetlerinin toplanması ile dokuma kumaş için doğrudan işçilik maliyeti (M_{Di}) bulunmaktadır.

Üretimin gerçekleştiği dokuma işletmesinin aylık atkı atım kapasitesi s_{ay} (atkı/ay), doğrudan çalışan işçilerin dışında kalan personelin aylık ücretleri toplamı $\dot{I}\dot{S}_{Dol}$ (TL/ay), söz konusu kumaşın toplam atkı sayısı s_i (adet atkı) olmak üzere; belirtilen kumaş için dolaylı işçilik maliyeti $M_{D'i}$ (TL);

Çizelge 2. Belirli kumaş için dokuma ve dokuma hazırlık işlemlerinde geçen süreler

Süreyi Veren İfade	
Cözgү Hazırlama	$S_{\zeta H} = \left(\frac{L_{\zeta}}{V_{\zeta H} * \eta_{\zeta H}} * l_1 \right) + \left(t_1 * \frac{l_1}{l_c} \right) + \left(t_2 * \frac{L_{\zeta} * S_{\zeta} * E_h * k_1 * 100}{10^6} \right) + \left(t_3 * l_1 \right)$ <p> $S_{\zeta H}$: Çözgү hazırlama için geçen işlem süresi (dk) L_{ζ} : Çözgү uzunluğu (m) $V_{\zeta H}$: Çözgү hazırlama makinasının hızı (m/dk) $\eta_{\zeta H}$: Çözgү hazırlama makinasının üretim randımanı (%) l_1 : Çözgү levant sayısı (adet) l_c : Bir çağrıktan hazırlanabilecek çözgү levendi sayısı (adet) </p>
Hasıllama	$S_{Has} = \left(\frac{L_{\zeta}}{V_{Has} * \eta_{Has}} \right) + \left(t_4 * \frac{L_{\zeta} * k_2}{1000} \right) + \left(t_5 \right) + \left(t_6 * l_2 \right) + \left(t_7 * l_1 \right)$ <p> S_{Has} : Hasıllama için geçen işlem süresi (dk) V_{Has} : Hasıllama makinasının hızı (m/dk) η_{Has} : Hasıllama makinasının üretim randımanı (%) l_2 : Dokuma levendi sayısı (adet) t_4 : Hasılda iplik kopuklarını bağlama süresi (dk) </p>
Tahar	$S_{Tahar} = \left(\frac{l_2 * S_{\zeta} * E_h * 100}{V_{Tah} * \eta_{Tah}} \right) + t_8 + t_9 + t_{10}$ <p> S_{Tahar} : Tahar için geçen işlem süresi (dk) V_{Tah} : Tahar makinasının hızı (m/dk) S_{ζ} : Çözgү sıklığı (tel/cm) η_{Tahar} : Tahar makinasının üretim randımanı (%) </p>
Dokuma	$S_{Dok} = \frac{100 * L * S_a}{60 * n_d * \eta_{Dok} * m}$ <p> S_{Dok} : Dokuma için geçen işlem süresi (dk) n_d : Dokuma makinasının hızı (devir/dk) </p>
TOPLAM	$S_T = S_{\zeta H} + S_{Has} + S_{Tahar} + S_{Dok}$
	S_T : Toplam işlem süresi (dk)

Çizelge 3. Belirli kumaş için işçilik maliyetlerini hesaplanması

İşçilik Maliyetlerinin Hesaplanması		
Çözgү Hazırlama	$\dot{IS}_{\zeta H} = \frac{S_{\zeta H} * n_{\zeta H} * F_i}{60}$	$\dot{IS}_{\zeta H}$: Çözgү hazırlama için doğrudan işçilik maliyeti (TL) $S_{\zeta H}$: Çözgү hazırlama için geçen süre (dk) $n_{\zeta H}$: Çözgү hazırlamada çalışan işçi sayısı (adet) F_i : İşçilik saat ücreti (TL/saat)
Haşıllama	$\dot{IS}_{Has} = \frac{S_{Has} * n_{Has} * F_i}{60}$	\dot{IS}_{Has} : Haşıllama için doğrudan işçilik maliyeti (TL) S_{Has} : Haşıllama için geçen süre (dk) n_{Has} : Haşıllamada çalışan işçi sayısı (adet)
Tahar	$\dot{IS}_{Tahar} = \frac{S_{Tahar} * n_{Tahar} * F_i}{60}$	\dot{IS}_{Tahar} : Tahar için doğrudan işçilik maliyeti (TL) S_{Tahar} : Tahar için geçen süre (dk) n_{Tahar} : Taharda çalışan işçi sayısı (adet)
Dokuma	$\dot{IS}_{Dok} = \frac{S_{Dok} * n_{Dok} * F_i}{60}$	\dot{IS}_{Dok} : Dokuma için doğrudan işçilik maliyeti (TL) S_{Dok} : Dokuma için geçen süre (dk) n_{Dok} : Dokumada çalışan işçi sayısı (adet)
TOPLAM	$M_{Di} = \dot{IS}_{\zeta H} + \dot{IS}_{Has} + \dot{IS}_{Tahar} + \dot{IS}_{Dok}$	M_{Di} : Dokuma kumaş için toplam doğrudan işçilik maliyeti (TL)

$$M_{Di} = \frac{S_1}{S_{ay}} * \dot{IS}_{Dok} \quad (3)$$

şeklinde dokuma kumaş maliyetine yansımaktadır. Belirli bir dokuma kumaş için toplam işçilik maliyeti M_f (TL) ise dolaylı ve dolaysız işçilik maliyetlerinin toplanması ile elde edilmektedir.

c) Enerji Maliyeti

Genel olarak enerji dokuma işletmelerinde makinaların ve makinalara basınçlı hava sağlayan kompresörlerin çalıştırılması, ortamın aydınlatılması ile iklimlendirilmesi ve haşıllama prosesinin yürütülmesi için kullanılmaktadır. Basınçlı hava sağlamak, makinaları çalıştmak amacıyla kullanılan elektrik enerjisi ile haşıllamayı üretmek için kullanılan ısı enerjisi doğrudan enerji olarak nitelendirilmektedir. Her aşamadaki hazırlık ve bekleme süreleri dışında makinaların fili olarak çalışıkları süreler dikkate alınarak tüketilen elektrik enerjisi maliyeti Çizelge 4'te belirtildiği gibi bulunabilmektedir. Bu maliyetlerin toplanması ile makinaların çalıştırılması sonucu oluşan elektrik enerjisi maliyeti belirlenmektedir (3, 11).

Makinalara basınçlı hava sağlamak maksadıyla kullanılan kompresörlerin kullandığı elektrik enerjisi maliyeti (M_{KoEE}) de maliyeti hesaplanan kumaş için atılan atkı sayısı dikkate alınarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$M_{KotEE} = \frac{E_{Ko}}{S_{ay}} * s_1 * F_{EE} \quad (4)$$

Burada E_{Ko} kompresörlerin aylık elektrik enerjisi tüketim kapasitesi olup önceki tüketim değerlerinden tahmin edilmektedir. s_{ay} (atkı/ay), dokuma işletmesinin aylık atkı atım kapasitesini, s_1 (adet atkı) söz konusu kumaşın toplam atkı sayısını ifade etmektedir.

Çizelge 4. Belirli kumaş için makinaları çalışırmak amacıyla kullanılan enerji maliyeti

Makinaları Çalışırmak Amacıyla Kullanılan Enerji Maliyeti	
Cözgülü Hazırlama	$EE_{\zeta H} = \left[\left(\frac{L_{\zeta} * l_1}{V_{\zeta H} * 60} \right) * E_{\zeta} * \eta_{E\zeta} * F_{EE} \right]$ <p> $EE_{\zeta H}$: Çözgülü hazırlama makinasında tüketilen elektrik enerjisi maliyeti (TL) L_{ζ} : Çözgülü uzunluğu (m) $V_{\zeta H}$: Çözgülü hazırlama makinasının hızı (m/dk) </p> <p> l_1 : Çözgülü levent sayısı (adet) E_{ζ} : Çözgülü hazırlama makinasının kurulu gücü (kW) $\eta_{E\zeta}$: Çözgülü hazırlama makinasının enerji verimi (%) F_{EE} : Elektrik enerjisi birim fiyatı (TL/kWh) </p>
Haşılama	$EE_{Has} = \left[\left(\frac{L_{\zeta}}{60 * V_{Has}} \right) * E_{Has} * \eta_{EH\zeta} * F_{EE} \right]$ <p> EE_{Has} : Haşıl makinasında tüketilen elektrik enerjisi maliyeti (TL) V_{Has} : Haşıl makinasının hızı (m/dk) </p> <p> E_{Has} : Haşıl makinasının kurulu gücü (kW) $\eta_{EH\zeta}$: Haşıl makinasının enerji verimi (%) </p>
Tahar	$EE_{Tahar} = \left(\frac{100 * l_2 * S_{\zeta} * E_h}{60 * V_{Tah}} \right) * E_{Tah} * \eta_{ETahar} * F_{EE}$ <p> EE_{Tahar} : Tahar makinasında tüketilen elektrik enerjisi maliyeti (TL) V_{Tah} : Tahar makinasının hızı (m/dk) S_{ζ} : Ham bezde çözgülü sıklığı (tel/cm) </p> <p> l_2 : Dokuma levendi sayısı (adet) E_{Tah} : Tahar makinasının kurulu gücü (kW) η_{ETahar} : Tahar makinasının enerji verimi (%) </p>
Dokuma	$EE_{Dok} = m * S_{Dok} * E_{Dok} * \eta_{EDok} * F_{EE}$ <p> EE_{Dok} : Dokuma makinasında tüketilen elektrik enerjisi maliyeti (TL) S_{Dok} : Dokuma işlemi için geçen süre (saat) m : Dokuma makinası sayısı (adet) </p> <p> E_{Dok} : Dokuma makinasının kurulu gücü (kW) η_{EDok} : Dokuma makinasının enerji verimi (%) </p>
TOPLAM	$M_{MEE} = EE_{\zeta} + EE_{Has} + EE_{Tahar} + EE_{Dok} \quad M_{MEE}$: Makinalar için tüketilen elektrik enerjisi maliyeti (TL)

Haşıllamada kullanılan ısı enerjisinin maliyetinin (M_{IE}) belirlenmesi için benzer yaklaşım kullanılmaktadır.

$$M_{IE} = \frac{K_{IE}}{S_{ay}} * s_1 * F_{IE} \quad (5)$$

Burada ise; K_{IE} (kg/ay) üretimin yapıldığı işletmede ısı enerjisi elde etmek için kullanılan kaynağın aylık kullanım kapasitesi, F_{IE} (TL/kg) kullanılan enerji kaynağının birim fiyatı olarak düşünülmektedir.

Makinalar ile kompresörlerin çalıştırılması için kullanılan elektrik enerjisi maliyeti ve hasıllamada kullanılan ısı enerjisinin maliyetinin toplanması ile doğrudan enerji maliyeti (M_{DE}) elde edilmektedir.

$$M_{DE} = M_{MEE} + M_{KoEE} + M_{IE} \quad (6)$$

Belirli dokuma kumaş üretimi için dolaylı enerji maliyetini oluşturan aydınlatma ve klimalar için kullanılan enerjinin maliyeti ise sırayla aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir (3, 11).

$$M_{AyEE} = \frac{E_A * S_1 * F_{EE}}{S_{ay}} \quad (7)$$

$$M_{KIEE} = \frac{E_{KL} * S_1 * F_{EE}}{S_{ay}} \quad (8)$$

Bu ifadelerde yer alan E_A ve E_{KL} sırasıyla üretimin gerçekleştiği işletmede aydınlatma ve klimalar için aylık tüketilen elektrik enerjisi miktarlarını (kWh/ay) göstermekte olup bu değerler işletmenin önceki verilerine dayanılarak tahmin edilmektedir. Aydınlatma ve klimalar için tüketilen enerjinin maliyetinin toplanması ile dolaylı enerji maliyeti M_{DE} bulunurken, dolaylı ve dolaysız enerji maliyetlerinin toplanmasıyla da söz konusu kumaşın toplam enerji maliyeti M_E elde edilmektedir.

d) Amortisman Maliyeti

Makinalar için amortisman maliyeti M_A ; her makina için belirlenen amortisman süresine makinanın fiyatının (F_M (TL)) dağıtım ile;

$$M_A = \frac{F_M}{\alpha * \zeta S} \quad (9)$$

şeklinde bulunmaktadır. Burada ζS ise makinanın yıllık çalışma süresi (saat) ve α amortisman süresi (yıl) olarak yer almaktadır. Tekstil makinaları için genellikle amortisman süresi 6 ile 10 yıl arasında değişmektedir. Belirli miktar ve özellikteki dokuma kumaş üretimine ait ilk makina olan çözgü hazırlama makinası için amortisman maliyeti ($A_{\zeta H}$);

$$A_{\zeta H} = M_{A\zeta H} * S_{\zeta H} \quad (10)$$

olarak belirlenmektedir. Eşitlikte yer alan $M_{A\zeta H}$ çözgü hazırlama makinasının amortisman maliyeti (TL/saat), $S_{\zeta H}$ çözgü hazırlama makinasında üretim için geçen süre (saat) şeklinde ifade edilmektedir (3).

Bu eşitlik esas alınarak, işçilik ve enerji maliyetlerinin hesaplanması benzer şekilde her aşamada kullanılan makinalar için amortisman maliyeti hesaplanarak belirli dokuma kumaş üretimindeki toplam amortisman maliyeti M_A ;

$$M_A = A_{\zeta H} + A_{Haq} + A_{Tahar} + A_{Dok} \quad (11)$$

ifadesiyle hesaplanabilmektedir. Burada A_{CH} , $A_{Haş}$, A_{Tahar} , A_{Dok} sırasıyla çözgü hazırlama, Haşlama, tahar ve dokuma aşamalarında oluşan amortisman maliyetlerini belirtmektedir (3).

e) Diğer Maliyetler

Kumaş üretimi sırasında oluşan hammadde, işçilik, enerji ve amortisman maliyetleri dışında kalan; yardımcı madde, tamir bakım, idari işlemler, genel hizmet veren (temizlikçi, şoför, bekçi vb.) personel ücretleri ve hizmet sırasında oluşan giderler gibi giderleri kapsayan dolaylı maliyetler diğer maliyetler başlığı altında düşünülmektedir. Bu maliyetler atılan aylık atkı sayısı ve üretilen kumaşın toplam atkı sayısı arasındaki oran esas alınarak kumaş maliyetine yansıtılmaktadır. Aşağıda örnek olmasından, söz konusu kumaş için tamir bakım maliyetinin hesaplanması gösterilmektedir. İfadede yer alan T_{ay} (TL/ay) daha önceki aylarda gerçekleşen tamir bakım maliyetleri dikkate alınarak tahmin edilen aylık tamir bakım maliyetini göstermektedir. Öteki maliyetlerin hesaplanması için de aynı yol izlenmelidir.

$$M_{TB} = \frac{T_{ay}}{S_{ay}} * S_1 \quad (12)$$

f) Toplam ve Birim Maliyet

Yukarıda ayrı ayrı hesaplanan maliyet unsurları değerlendirildiğinde; belirli miktarda dokuma kumaş üretimi için toplam maliyet;

$$M_D = M_H + M_I + M_E + M_A + M_D \quad (13)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada M_H hammadde, M_I işçilik, M_E enerji, M_A amortisman ve M_D tamir bakım, genel hizmet ve sigorta gibi diğer maliyetleri ifade etmektedir. Belli miktardaki ham kumaşın toplam maliyetinin (M_D), kumaş uzunluğuna (L), bölünmesiyle birim ham kumaş maliyeti (M_{DB}); TL/m olarak, aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$M_{DB} = \frac{M_D}{L} \quad (14)$$

4. SEÇİLMİŞ DOKUMA KUMAŞ MALİYETİNİN HESAPLANMASI

Yukarıda izah edilen yaklaşımın uygulaması; iplik boyama, dokuma ve konfeksiyon bölgümlerini içeren bir işletmenin dokuma bölümünde üretilen ve özellikleri Çizelge 5'te belirtilen dokuma kumaş için yapılmaktadır. Söz konusu kumaş, Çizelge 1'de seçilmiş ülkeler için maliyet unsurları irdelenen kumaş özelliklerini içermekte olup, hesaplanan değerler ile çizelgede yer alan maliyet değerlerinin karşılaştırılması amacıyla bu niteliklerde seçilmiştir.

Çizelge 5. Uygulamanın yapıldığı dokuma kumaş özellikleri

Seçilen Örnek Kumaş Parametreleri	Değerler
Kumaş Eni (E_h) (cm)	168
Atkı Sıklığı (S_a) (tel/cm)	28
Çözgү Sıklığı (S_c) (tel/cm)	28
Atkı Büzülmesi (B_a) (%)	5
Çözgү Büzülmesi (B_c) (%)	10
Kumaş Gramajı (g/m ²)	112.96
Atkı Numarası (N_a) (Ne)	30
Çözgү Numarası (N_c) (Ne)	30
Kumas Uzunluğu (L) (m)	50000
Dokuma İşletmesi için tahmin edilen aylık atkı atım kapasitesi (atkı/ay)	910.000.000

Seçilen kumaş üretimi için kullanılan makinalar ve teknik özellikleri ise Çizelge 6'da verilmekte olup, çizelge ayrıca üretim için kullanılan makina sayılarını da göstermektedir.

Çizelge 6. Örnek dokuma kumaş üretimi için kullanılan makinalar ve özellikler

Elektrik Enerjisinin Kullanım Yerleri	Üretimde Kullanılan Makine Sayısı	Üretim Hızı	Üretim Verimi (%)	Kurulu Güç (kW)	Fili Güç (kW)
Seri Çözgү Makinası	1	1000 (m/dk)	90	25	20,6
Haşıl Makinası	1	70 (m/dk)	90	10	3,5
Otomatik Tahar Makinası	1	150 (tel/dk)	90	10	6
Hava Jetli Dokuma Mak.	6	500 (d/dk)	85	8	4,7

Belirtilen özelliklerdeki kumastan 50000m üretilmesi için dokuma hazırlık makinalarından birer adet, hava jetli yapıdaki dokuma makinalarından ise 6 adet kullanılmaktadır.

Seçilen dokuma kumaş üretimine ait ve maliyet hesaplamasında kullanılacak olan parametreler; seçilen işletmede yerinde incelemeler yapılarak elde edilmiş, Çizelge 7'de sıralanmıştır.

Çizelge 7. Örnek kumaş için hesaplamada kullanılacak parametreler

Örnek Kumaş İçin Hesaplamada Kullanılacak Parametreler		
	Parametre	Örnek Kumaş İçin Aldığı Değer
Çözgү Hazırlama	Cözgү levendi sayısı (I_1)	8
	Bir çağrıktan elde edilen çözgү levendi sayısı (I_2)	3,5
	Çağrıkta bobin değiştirme süresi (dk) (t_1)	37
	Kopuk bağlama süresi (dk) (t_2)	1,5
	Levent değişim süresi (dk) (t_3)	3
	Bir milyon metre üretimdeki kopuk sayısı (k_1)	0,6
Hasırlama	Dokuma levendi sayısı (I_4)	10
	Kopuk bağlama süresi (dk) (t_4)	1,6
	Çapraz alma süresi (dk) (t_5)	32
	Dokuma levendi değişim süresi (dk) (t_6)	7
	Cözgү levendi değişim süresi (dk) (t_7)	18
	Bin metredeki kopuk sayısı (dk) (k_2)	1,3
Tahar	Tahar makinasına takım hazırlama süresi (dk) (t_8)	48
	Dokuma makinasına takım hazırlama süresi (dk) (t_9)	48
	Diğer hazırlık işlemleri için geçen süre (dk) (t_{10})	10

a) Doğrudan İşçilik ve Makinalar İçin Kullanılan Elektrik Enerjisi Maliyeti

Çizelge 6 ile Çizelge 7'deki parametreler dikkate alınarak öncelikle söz konusu kumaş üretimi için her aşamadaki işlem süreleri önerilen denklemlerle belirlenmiştir. Yapılan bütün hesaplamaları göstermek mümkün olmadığı için burada çözgü hazırlama için geçen işlem süresinin hesaplanması açıkça izah edilmiştir. Söz konusu süre belirlenirken çözgü hazırlama makinasının hızı (V_{CH}) 1000m/dk, üretim verimi (η_{CH}) %90, çözgü levendi sayısı (l_1) 8, bir çağlıktan elde edilen çözgü levendi sayısı (l_c) 3.5, çağlıktı bobin değiştirme süresi (t_1) 37 dk, kopuk bağlama süresi (t_2) 1.5 dk, bir milyon metredeki kopuk sayısı (k_1) 0.6, levent değişim süresi (t_3) 3 dk, kumaş eni (E_h) 1.68m, çözgü sıklığı (S_C) 28 tel/cm olarak ilgili çizelgelerden alınarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$S_{CH} = \left(\frac{55500}{1000 * 0.90} * 8 \right) + \left(37 * \frac{8}{3.5} \right) + \left(1.5 * \frac{55500 * 28 * 1.68 * 0.6 * 100}{10^6} \right) + (3 * 8) = 837 \text{ dk}$$

Burada ayrıca, çözgü ipliği uzunluğu (L_C) 55500m olarak çözgü büzülmeleri ve telef dikkate alınarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde her aşamadaki süreler hesaplandıktan sonra ilgili denklemler (Çizelge 3 ve Çizelge 4) kullanılarak doğrudan işçilik maliyetleri ve makinalar için harcanan elektrik enerjisi maliyetleri hesaplanmıştır. İşçilik maliyeti hesaplanırken, işletme verileri doğrultusunda; dokuma hazırlık makinalarının çalıştırılması için birer işçi kullanıldığı, dokumada ise; bir işçinin 2 dokuma makinasının başında çalıştığı belirlenmiştir. Ayrıca; işçilik saat ücreti F_i 2 YTL/saat, elektrik enerjisi fiyatı F_{EE} 0.1365YTL/kWh olarak alınmıştır. Hesaplama sonucu elde edilen değerler Çizelge 8'de toplu halde verilmektedir. Çizelgeye göre söz konusu dokuma kumaşın üretimi için 3448.88 dk (57.48 saat) süre gerektiği, bu süre zarfında 5574.462667 YTL doğrudan işçilik maliyeti olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 8. Seçilmiş kumaş üretimi için doğrudan hesaplanan maliyet unsurları

Makinalar	Geçen Süre (dk)	Doğrudan İşçilik Maliyeti (YTL)	Makinalar İçin Elektrik Enerjisi Maliyeti (YTL)
Seri Çözgü Makinası	837	27.9	3.928167
Haşıl Makinası	1242.44	41.414667	41.285833
Otomatik Tahar Makinası	454.44	15.148000	4.756206
Hava Jetli Dokuma Mak.	915	5.490	3522.109500
TOPLAM	3448.88	5574.462667	3572.079706

b) Diğer Enerji Maliyetleri

Üretimin gerçekleştiği makinalar haricindeki kompresör, gezer temizleyici gibi aksamlar ile klima ve aydınlatma için harcanan elektrik enerjisi maliyetinden örnek kumaş maliyetine düşen payı belirlemek amacıyla işletme verilerinden alınan değerler ilgili denklemlerde kullanılmış, makinalar haricindeki elektrik enerjisi maliyeti belirlenmiştir. İşletmeden sağlanan veriler ile hesaplanan değerler Çizelge 9'da belirtilmiştir. İşletmenin aylık atkı atım kapasitesi 910000000 atkı/ay olarak işletmeden elde edilmiş, söz konusu kumaş için atılan atkı sayısı ise 140000000 atkı olarak

hesaplanmış ve bu iki değer esas alınarak örnek kumaşın söz konusu maliyetleri hesaplanmıştır.

Çizelge 9. Örnek kumaşa makinalar haricindeki elektrik enerjisi tüketimi ve maliyeti

Üretim Makinaları Haricindeki Birimler	Aylık Tüketim (kWh/ay)	Örnek Kumaş Üretimine Düşen Pay (kWh)	Örnek Kumaş Üretimi İçin Maliyet (YTL)
Gezer Temizleyici Robotlar	10 140	1560	212.94
Kompresörler	73 644	11330	1546.524
Klimalar	69 568	10702.8	1460.928
Aydınlatma	9 654	1485,2	202.734
Kayıp	5 045	776	105.945

Elektrik enerjisinin haricinde, dokuma işleminden önce haşılama aşamasında ısı enerjisi kullanılmaktadır. Seçilen işletmede, ısı enerjisini sağlamak amacıyla kömür kullanılmakta olup, kullanılan kömürün 1kg'ından 4640kCal ısı enerjisi elde edilmektedir. Ayrıca; kömürün fiyatı 0.2832TL/kg'dır. İşletmenin geçmiş kayıtlarından aylık kömür tüketiminin 20000kg olduğu tespit edilmiş, söz konusu kumaş için ısı enerjisi maliyeti eşitlik (5) kullanılarak 871.384615 YTL olarak hesaplanmıştır. Makinalar, kompresörler, gezer temizleyiciler için kullanılan elektrik enerjisi ile haşılama için kullanılan ısı enerjisinin maliyetlerinin toplanması ile söz konusu kumaş için doğrudan enerji maliyeti 6202.928321 YTL bulunmaktadır. Bunun yanında klimalar ve aydınlatma için tüketilen elektrik enerjisi ve kayıplar dikkate alınarak da dolaylı enerji maliyeti 1769.607 YTL olarak hesaplanmıştır.

c) Amortisman Maliyeti ve Diğer Maliyetler

Seçilen kumaşın üretildiği işletmede yer alan bazı makinalar amortisman süresini doldurduğu için ve işletmeye yakın zamanda alınan numune haşıl ve numune çözgü hazırlama makinaları gibi yeni aksamların amortisman maliyetlerini üretilen kumaşların maliyetine dahil edildiğinden burada amortisman maliyeti doğrudan işletme verilerinden alınmıştır.

Söz konusu kumaş üretiminde meydana gelen amortisman maliyeti ve dolaylı maliyetlerin hesaplanması için Çizelge 10'da üretimin gerçekleştiği işletme için dolaylı maliyetleri oluşturan giderler ve bu giderlerden ilgili eşitlikler kullanılarak 50000m kumaşın maliyetine dağıtılan miktarlar belirtilmektedir. Burada; idari kadroda çalışanların ücretleri ile idari giderler; genel idare giderlerini oluşturmaktır, yemekhanede çalışan işçiler, aşçı, temizlikçi, bekçi, şoför gibi genel hizmet veren personel ücretleri ile hizmet sırasında oluşan giderler; genel hizmet giderlerini oluşturmaktadır. Bu giderler fabrikada yer alan iplik boyama, dokuma, konfeksiyon gibi üretim bölümlerinin giderlerine belirli oranlarda dağıtılmaktadır. İşletme geçmiş verilerinden, dokuma bölümüne aylık olarak genel idare giderlerinden 4364.239YTL, genel hizmet giderlerinden 4153.020YTL düşügü tespit edilmiştir.

Çizelge 10. Seçilmiş dokuma işletmesi ile örnek kumaş için sabit giderler

Örnek Dokuma İşletmesi İle Örnek Kumaş İçin Sabit Giderler		
Gider Türleri	Aylık Toplam (YTL/ay)	Örnek Kumaş Üretimi İçin Toplam (YTL/50.000 m kumaş)
Dolaylı İşçilik Giderleri	17705.639	907.981487
Tamir Bakım Giderleri	2593.677	399.027231
Amortisman	28376.685	4365.643846
Genel İdare Giderlerinden Alınan Pay	4364.239	671.421385
Genel Hizmet Giderlerinden Alınan Pay	4153.020	638.926154
Fabrika Sigorta Payı	946.334667	145.589949
Diğer Giderler	1054.452	162.223385

İşletmenin üretim dışında çalışan personel ve seçilmiş kumaş hattında çalışan usta ve mühendislerin aylık ücretleri toplamı 17705.639 YTL olurken, bu maliyetten seçilmiş kumaş maliyetine dolaylı işçilik maliyeti olarak yansıyan miktar 907.981487 TL olarak hesaplanmaktadır. Benzer şekilde tamir bakım, amortisman, genel idare ve genel hizmet giderlerinden alınan paylar ve yardımcı madde, ar-ge, yönetim, satış ve finansman giderleri gibi giderleri kapsayan diğer giderler de kumaş maliyetine dağıtılmaktadır.

d) Hammadde Maliyeti

Hesaplama için seçilen dokuma kumaşı üretmek için kullanılan ipligin birim fiyatı 4.2YTL/kg olarak belirlenmiş olup; eşitlik (2) kullanılarak hammadde maliyeti, telef dahil olmak üzere; 41813.856YTL olarak elde edilmiştir. Üretim sırasında büzülmelerden ve kayıplardan kaynaklı olarak 5500m çözgü ipliği telef olmuş, telef maliyeti de hammadde maliyeti içinde düşüntülmüştür.

e) Toplam ve Birim Maliyet

Seçilmiş işletmede üretilen 1.68m eninde 112.96g/m² gramajında, Ne30/1 penye dokuma ring ipligidenden atkı ve çözgü iplikleri ile dokunmuş kumaş için hesaplanan tüm maliyet unsurları, birim kumaş maliyeti için aldıkları değerler ve kumaş maliyetindeki payları Çizelge 11'de görülmektedir.

Çizelge 11. Seçilmiş dokuma kumaş için belirlenen maliyet unsurları

Örnek Kumaş İçin Maliyet Unsurları			
Maliyet Unsurları	Toplam Örnek Kumaş Miktari İçin (YTL/50000m)	Birim Örnek Kumas Miktari İçin (YTL/m)	Toplam Maliyette Aldıkları Paylar (%)
Hammadde	41813.856	0.836277	66,7
Doğrudan İşçilik	5574.462667	0.111490	10,3
Dolaylı İşçilik	907.981487	0.018160	
Doğrudan Enerji	6202.928321	0.124059	12,7
Dolaylı Enerji	1769.607	0.035392	
Tamir Bakım	399.027231	0.007981	0,6
Amortisman	4365.643846	0.087313	7
Fabrika Genel Giderleri	1455.937488	0.029118	2,3
Diğer Giderler	162.223385	0.003244	0,3
TOPLAM	61517.4	1.253034	100

Bahsedilen kumaş türü için işletmede toplam 61517.4 YTL harcanmış olup; kumaşın birim fiyatı 1.253034 YTL/m olarak elde edilmiştir. Beklendiği gibi; hesaplanan birim maliyetinde hammadde %66.7 oranında pay almaktır; hammadde maliyetini sırayla enerji (%12.7), işçilik (10,3) amortisman (%7) izlemektedir.

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Üretim maliyetlerinin çok düşük olduğu Çin ve Uzakdoğu ülkeleri Türk Tekstil Sanayinin rekabet şansını azaltmaktadır, bu olnusuz durum en çok iplik ve dokuma işletmelerinde hissedilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada dokuma kumaş maliyeti ele alınmıştır. Çalışma kapsamında; mamul maliyetini oluşturan unsurlar kısaca özetlenerek, dokuma kumaş maliyetine etki eden unsurlar ele alınmıştır. Belirli tür ve miktardaki dokuma kumaş maliyetini hesaplama esasları çeşitli eşitliklere yer verilerek anlatılmış, iplik boyama, dokuma ve konfeksiyon bölümlerini içeren, seçilmiş bir tekstil işletmesinde üretilen %100 pamuklu dokuma kumaş için belirtilen eşitliklerin uygulaması yapılmış elde edilen maliyet verileri kaynaklarda yer alan verilerle karşılaştırılmıştır. Çalışmadan aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- 1) Dokuma maliyeti belirlenirken; hammadde maliyeti üretimde kullanılan iplik miktarı ile iplik fiyatının çarpılması sonucu elde edilirken, doğrudan işçilik, doğrudan enerji maliyetleri üretimin gerçekleştiği makinalardaki işlem süresi esas alınarak hesaplanmaktadır. Dolaylı enerji, dolaylı işçilik, amortisman, tamir bakım ile yardımcı madde, ar-ge, yönetim, satış pazarlama gibi diğer maliyetler ise aylık giderlerin dokuma kumaşa dağılımı ile elde edilmektedir.
- 2) Bahsedilen hesaplama usulü ile seçilmiş bir tesisin dokuma işletmesinde 50000m %100 pamuklu penye dokuma ring ipligidenden 1.68m eninde ve 112.96g/m² gramajında imal edilen seçilmiş kumaşın üretimi sırasında işletmede 61517.4 YTL harcama gerçekleştiği hesaplanmıştır. Yapılan masrafların üretilen kumaş miktarına bölünmesi ile birim dokuma kumaş maliyeti 1.253034 TL/m olarak elde edilmiştir. Literatürde aynı kumaş türü için değişik ülkelerde birim maliyet 0,713-1,2\$/m (1.0695 - 1.8 YTL/m) arasında değişmekte olup, hesaplanan değer bu aralığa düşmektedir. Ayrıca literatürde birim maliyet Türkiye için 0,807\$/m (1.2105 YTL/m) olarak belirtilmekte, bu değer hesaplanan değerden yaklaşık %3 oranında fazla olmaktadır.
- 3) Hesaplanan kumaş maliyetinde en büyük payı %66.7 ile hammadde almaktır; hammaddeyi sırayla, enerji (%12,7), işçilik (%10,3) ve amortisman (%7) maliyetleri izlemektedir. Literatürde Türkiye için aynı özellikteki iplik maliyetinde hammadde maliyeti telef dahil olmak üzere %38 oranında pay almaktır, hammaddeyi %31 oranı ile amortisman, %13 oranı ile enerji izlemektedir. Benzer oranlar diğer ülkeler için de geçerli olmakta olup, hammadde maliyetinin en büyük payı aldığı ülke %50 ile Çin olmaktadır. Hesaplanan değerlerde hammaddenin oranının yüksek olması, amortisman maliyetinin oranının düşük olmasına bağlanmaktadır; amortisman maliyetlerinin payının düşük olması ise; işletmede kullanılan makinaların birçoğunun amortisman süresini geçmesi ile ilişkilendirilebilmektedir.
- 4) Hesaplama ile elde edilen değerlerle, ITMF'nin maliyet karşılaştırmalarını yaptığı raporda yer verilen değerler arasındaki farklılığı; üretimde kullanılan hammadde cinsi, büzülme ve kayiplardan dolayı meydana gelen telef miktarı, kullanılan

makinalar ve özellikleri, üretimin gerçekleştiği işletme koşulları ve yönetim anlayışının farklılıklar gibi faktörlerin neden olabileceği tahmin edilmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Başer,G., "Dokuma Tekniği ve Sanatı, Dokuma Tekniği ve Kumaş Yapıları", TMMOB Tekstil Mühendisliği Odası Yayınları, Cilt 1, No: 2, İzmir, 1998.
2. Ak,M., "Tekstil İşletmelerinde Maliyet Oluşumu ve Muhasebe Organizasyonu", Marmara Univ., Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 117s., İstanbul, 2000.
3. Kaplan,E., "Tekstil Sektöründe Maliyet Unsurları-Enerji Maliyetlerinin Genel Değerlendirilmesi", Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 2004.
4. Haşıl,Ç., "Tekstil Sektöründe Maliyet Muhasebesi Uygulama Çalışması", İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 115s., İstanbul, 1999.
5. Bursal,N., Ercan,Y., "Maliyet Muhasebesi-İlkeler ve Uygulama", DER Yayınları, 511s., İstanbul, 1994.
6. Hatiboğlu,M., "Maliyet Muhasebesi", Sedok Yayınları, 163s., İstanbul, 1997.
7. Özak,Ö., "Pamuklu Tekstil Endüstrisinde Maliyet Analizleri", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 206s., İstanbul, 1990.
8. Okka,O., "Mühendislik Ekonomisi I", Nobel Yayın Dağıtım Ltd., 270s., Ankara, 2000.
9. Erel,Z., "Pamuklu Tekstil Endüstrisinde Maliyet Analizleri ve Bilgisayara Dayalı Uygulama Örnekleri", Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 167s., İzmir, 1988.
10. ITMF, "Uluslararası Üretim Maliyetlerinin Karşılaştırılması İplik / Dokuma / Örme", 31s., İsviçre, 2003.
11. Bilge,F.A., "Dokuma Kumaş Üretiminde Üretim Maliyeti Bilgilerinin Etkili Bir Kontrol ve Karar Aracı Olarak Kullanılacağı Bir Sistemin Geliştirilmesi", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 110s., İstanbul, 2000.

BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİİNDE GÜÇLENDİRİCİ KİRİŞ KONUMUNUN ÖNEMİ

Murat BİKÇE

M.K.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antakya-Hatay/Türkiye

Engin EMSEN, Orhan AKSOĞAN

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

ÖZET : Güçlendirici kırışlar boşluklu perdelerde oluşan yatay yerdeğiştirmeleri önemli ölçüde azaltmaktadır. Böylece, daha yüksek perdeler bu kırışlar sayesinde yapılabilmektedir. Deplasman değerini önemli bir şekilde etkileyebilecek olan güçlendirici kırışların sayısı ve yerleri proje mühendisine bağlıdır. Yapının tepe noktası deplasmanın artması veya azalması, güçlendirici kırış konumu ile bağlantılı olduğundan, güçlendirici kırış için en doğru konumun belirlenmesi tasarımcıya önemli miktarda ekonomi sağlamaktadır. Çok sırada boşluklu perdelerin analiziyle ilgili yapılan önceki çalışmalarda doğruluğu kanıtlanmış olan Sürekli Bağlantı Yöntemi (SBY)'ni kullanılarak Mathematica Programlama dilinde hazırlanan bilgisayar programı, bu çalışmada, tepe noktası deplasmanı açısından en uygun güçlendirici kırış konumunu belirleyecek şekilde geliştirilmiştir. Programın bir kez çalıştırılması ile güçlendirici kırışın birçok sayıdaki konum ihtimalleri programda ayrı ayrı denenerek, istenilen kat sayısındaki perde için en ekonomik yerdeğiştirme sonuçlarını bulmaktadır. Tasarımcı ideal boyutlandırma için sonuçları kıyaslayabilir. Bu çalışmada, hazırlanan bilgisayar programı kullanılarak çeşitli yatay yükler etkisinde güçlendiricili ve güçlendiricisiz boşluklu perdeler incelenmiş ve tepe noktası yerdeğiştirmesindeki değişim grafik olarak gösterilmiştir. Yapılan analiz sonunda örnek olarak incelenen perdelerde güçlendirici kırışın olmaması durumundaki maksimum ve doğru yere konulması ile elde edilen minimum tepe noktası yerdeğiştirmeleri arasındaki farkın, boşluklu perdelerin kat sayısına bağlı olarak değiştiği grafik olarak gösterilmiştir.

* Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: MMF-2004-D14

THE IMPORTANCE OF THE LOCATION OF STIFFENING BEAMS IN COUPLED SHEAR WALLS

ABSTRACT : *Stiffening beams decrease the lateral displacement of a coupled shear wall. Hence, higher shear walls can be designed by employing these beams. It is up to the project engineer to determine the number and levels of stiffening beams which affects the degree of lateral displacement being dependent on the foregoing choice, appreciable economy can be realized by employing the most suitable number and levels for the stiffening beams. Continuous Connection Method (CCM), which has provide its validity in the previous papers, being employed a minimization program for the top displacement of coupled shear walls by a suitable choice of stiffening beams is coded in the Mathematica Programming Language. A single run of the program tries many different settings of stiffening beams and presents the best choice for least lateral displacements for a certain coupled shear wall which has stories to been intended. The designer can compare the results for ideal dimensioning. Using the program prepared in this study, stiffened and unstiffened coupled shear walls are analyzed for different lateral loading conditions and the variation of the top displacement is presented in graphical forms. The example shear walls examined, showed the maximum top displacement without any stiffening beam and the minimum with a stiffening beam at the most effective position. Presentation of the results in graphical form showes that the difference of these displacements depends on the number of stories in the shear wall.*

1. GİRİŞ

Yüksek yapılarda kat sayısının artmasına bağlı olarak binaya daha fazla yatay kuvvet etkimekte ve düşey yükleri ileten kolonlar bu yatay kuvvetlerin oluşturduğu eğilme momentleriyle aşırı zorlanmalara maruz kalmaktadırlar. Ayrıca, bina tepesindeki yatay yerdeğiştirmeler kabul edilmez düzeylere çıkmaktadır. Bu sorunun çözümü için deprem perdeleri olarak adlandırılan, eğilme rijitliği yüksek yapı elemanları kullanılmaktadır. Yatay yükler etkisindeki boşluklu perdelerin analizi için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri Sürekli Bağlantı Yöntemi (SBY)'dır (1). Sürekli bağlantı yönteminde temel diferansiyel denklemler, her açıklıkta bağlantı kırışlarının orta noktasındaki düşey yerdeğiştirmeler için yazılan uygunluk denklemleridir (2). Boşluklu perde problemi, SBY sayesinde iki boyutlu tek boyutlu probleme indirgenir.

Bina yüksekliğinin artmasıyla birlikte bina tepe noktası yerdeğiştirmesi de artmaktadır. Yerdeğiştirmelerin kontrol altına alınarak genel tasarım sınırlamalarına uyabilmek amacıyla perdeli yüksek yapılarda belirli yüksekliklere "güçlendirici kiriş" olarak adlandırılan eğilme rijitliği yüksek bağlantı elemanları konulmaktadır. Boşluklu perdelerin güçlendirilmesi ile yatay yerdeğiştirmelerde azalmalar görüleceğinden perde yüksekliğinde artımda sağlanabilmektedir. Bu amaçla önce, güçlendiricinin tek sıra boşluklu perdenin tepesinde (3), daha sonra tepesinde ve tabanında (4) olması durumu için analitik çözümler verilmiştir. Güçlendirici kirişin bina yüksekliğini içinde herhangi bir yükseklikte alınması ile bölge sayısı ikiye çıkışmış ve güçlendirici kiriş yüksekliğinin değiştirilebildiği çözümler yapılmıştır (5). Coull ve Bensmail (6), ilk olarak, güçlendirici kiriş sayısını ikiye çıkarmışlar ve üç bölgeli problem için analitik çözüm vermişlerdir. Gerek formülasyondaki uzunluk gerekse bölge sayısındaki kısıtlamadan

dolayı sorun daha sonra tekrar ele alınmış (7), tek sıra boşluklu perdeler için çözüm yapan bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bikçe ve Ark., sonlu sayıda güçlendirici ve sonlu sayıda boşluğu olan perde problemlerinin SBY kullanarak statik (8, 9) ve dinamik (10) analizlerini yapan Mathematica programlama dilinde bir bilgisayar programı hazırlayarak literatürden çeşitli örnekler çözmüş ve elde edilen sonuçlar SAP2000 yapı analizi programı (11) ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Yapışal davranışta iyileşmeyi sağlayacak olan güçlendirici kırışların sayısı ve yerleri proje mühendisine bağlıdır. Özellikle yüksek yapılarda dikkat edilmesi gereken yapının tepe noktası yatay yerdeğitirmesi, güçlendirici kırışlar ile iyileştirilebilir olduğundan güçlendirici konumunun doğru yerde seçilmesi, tasarımcıya önemli ölçüde ekonomik getiri sağlamaktadır. Bu çalışmada, doğruluğu daha önceki çalışmalarında (8-10) kontrol edilmiş olan çok sıra boşluklu perdeler için hazırlanan statik analiz programı yeniden düzenlenerek, tek ve çok sıra boşluklu perdelerde her kat seviyesinde bir adet güçlendirici kırışın ayrı ayrı bulunması durumunda, perde tepesi minimum yanal yerdeğitirmesini belirleyecek şekilde geliştirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, yapıya etkien yataş yükün şekli, kat sayısı ve perde genişliklerindeki değişim gibi parametrelerin en uygun güçlendirici kırış konumunun belirlenmesine olan etkileri de araştırılmıştır.

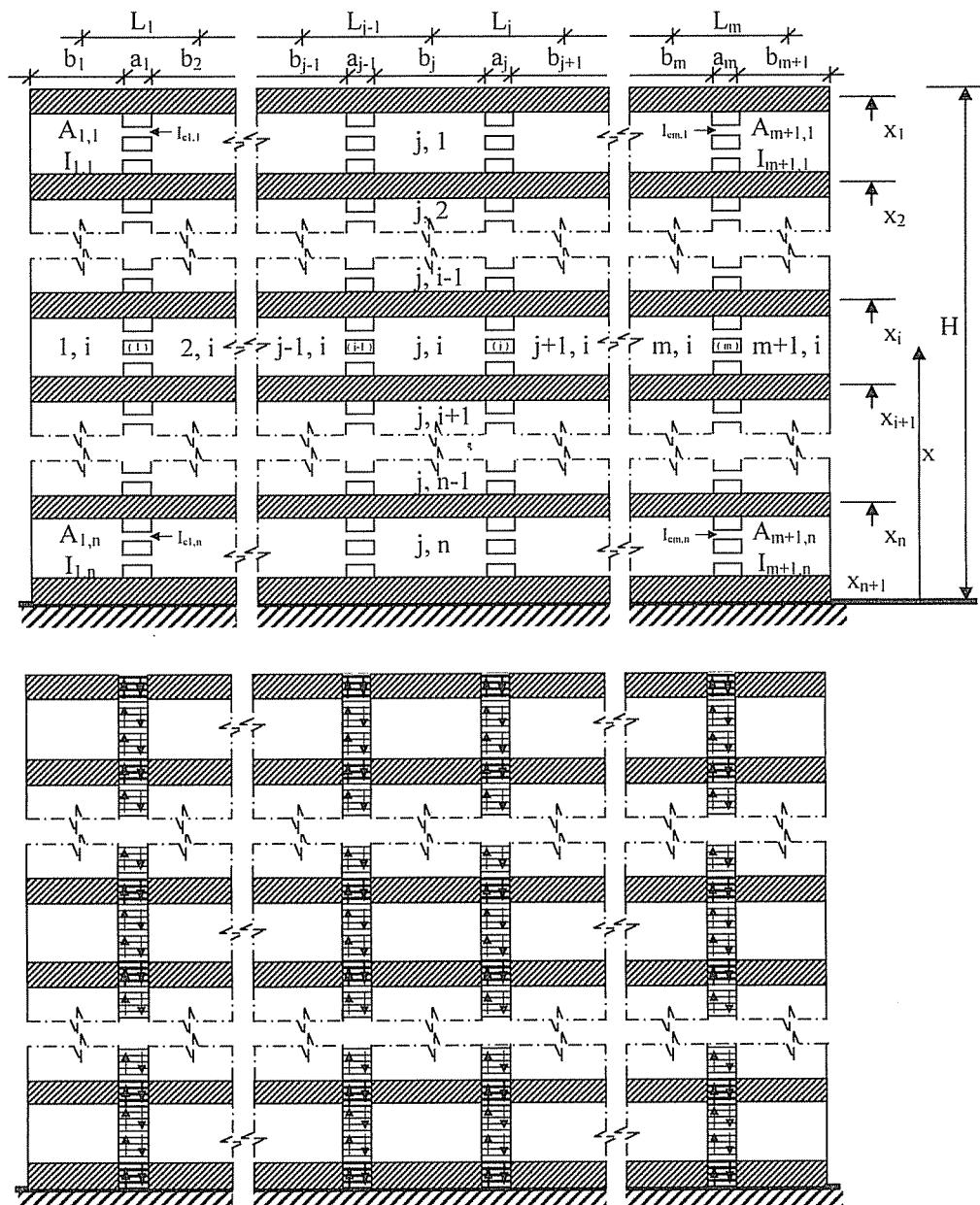
2. ANALİZ

SBY yönteminde bağlantı kırışları, bina yüksekliği boyunca eşdeğer rıjilikteki tabakalar şeklinde bir ortama dönüştürüllerken, yapının özellikleri yüksekliğin fonksiyonları olarak ele alınmaktadır (Şekil 1). SBY yönteminde yapılan en önemli kabul bağlantı kırışları ile güçlendirici kırışların eksenleri doğrultusunda sonsuz rıjitim gibi ele alınmalıdır. Bu kabul kat dösemeleri için çok yaygın şekilde kullanılan rıjıt diafram modeliyle eşdeğer olup, dösemelerin sağladığı rıjilikten dolayı gerçeğe çok yakın sonuçlar verdiği bilinen bir geçektir. Bu durumda herhangi bir yükseklikte perdelerin yatay yerdeğitirmeleri, dönmeleri ve eğrilikleri eşit olacağı gibi perdede oluşan eğilme momentleri de atalet momentleriyle orantılı olacaktır.

SBY'nin temel diferansiyel denklemleri, her sıra boşluk için bağlantı kırışlarının moment sıfır noktaları olan orta noktalarında düşey yerdeğitirme için yazılan uygunluk denklemlерidir. Her bölgede boşluk sayısı kadar denklemden oluşan ikinci dereceden, lineer, girişimli diferansiyel denklem takımı, değişken dönüşümü ile özdeğer problemi şeklinde dönüştürülür ve daha sonra da katsayılar matrisi köşegen ve denklem takımı girişimsiz şekilde sokularak çözülür. Bu analizde tabandaki sınır koşulları yazılrken elastik mesnet durumu için temelin düşey, yatay ve dönel rıjilikleri de gözönüne alınır. Bu analiz ile ilgili ayrıntılı bilgi literatürde (8, 9) sunulmuştur.

Yazar ve arkadaşları daha önceki çalışmalarında (8-10) elastik temele oturan, güçlendirici kırışlar ile desteklenmiş ve kırış-duvar bağlantı esnekliğini dikkate alan, kalınlık ve kat yüksekliği değişimini bölgeden bölgeye yapılabilen, bir duvar ve bağlantı kırışının geometrik ve fiziksel özellikleri diğer duvar ve bağlantı kırışlarında değiştirilebilen çok sıra boşluklu perdelerin kapalı çözümünü elde etmiş ve bu analizi yapan Mathematica bilgisayar programlama dilinde bir bilgisayar programı hazırlamışlardır. Bu yöntemin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla literatürdeki çeşitli

örnekler çözülmüş ve elde edilen sonuçlar SAP2000 yapı analizi programından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak, sonuçların oldukça uyumlu olduğu gözlenmiştir.

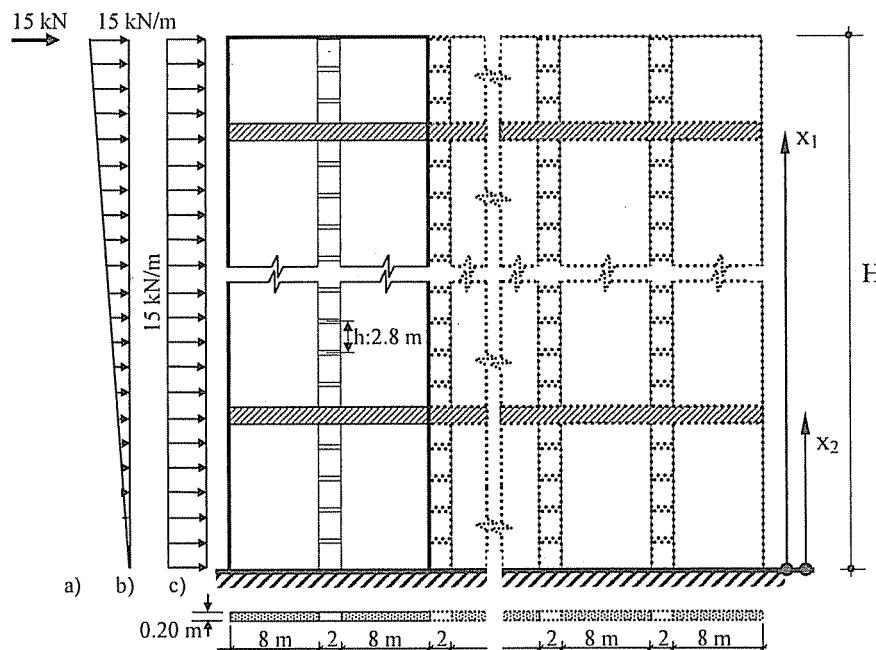


Şekil 1, 2. Çok sıra boşluklu perdelerde bağlantı ve güçlendirici kırışlarının sürekli ortama dönüştürülmesi

Böşluklu perde yapılarında öntasarım aşamasında güçlendirici kırış konumunun doğru belirlenmesi efektif ve ekonomik bir tasarım açısından çok önemlidir. Güçlendiricinin sisteme yanlış bir kata rasgele konulması yapının güçlendiricisiz gibi davranışlarıyla sonuçlanarak sisteme beklenen iyileşme gerçekleşmeyebilir. Herhangi bir sonlu elemanlar programında güçlendirici kırışın efektif konumunun saptanması için çok sayıda ihtimal ayrı ayrı modellenmesi, programın her ihtimal için ayrı ayrı çalıştırılması ve çıkan sonuçlar karşılaştırılarak en uygun konum için karar verilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, daha önce Mathematica dilinde hazırlanan program geliştirilmiş ve program bir kez çalıştırılarak yapı için en uygun güçlendirici konumunu belirlenmektedir. Bu da tasarımcıya kısa zamanda çeşitli ihtimallerin sonuçlarını kıyaslama şansını sunarak öntasarım aşamasında bir ekonomi sağlanmakta ve ideal boyutlandırma imkanı sunmaktadır. Bu çalışmada hazırlanan bilgisayar programı ile, çok sıra boşluklu perdelerin ön tasarım aşamasında boyutları belirlenerek kesin tasarımda sonlu elemanlar gibi üç boyutlu analiz yöntemi kullanılarak çözüme gidilebilir.

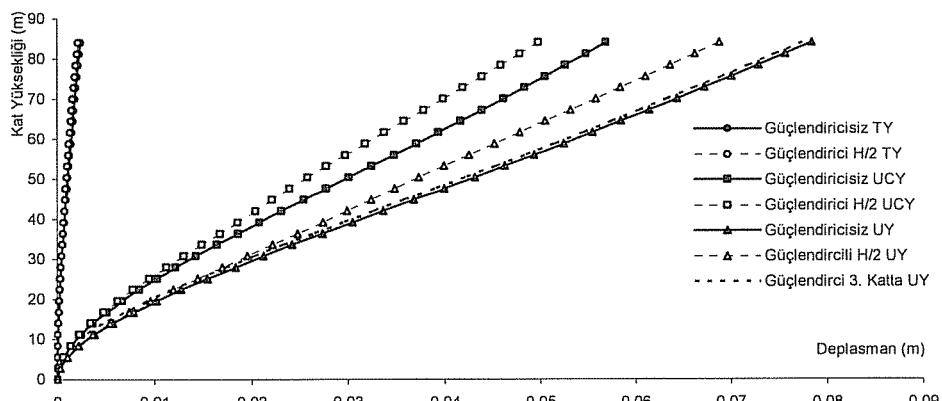
3. SAYISAL UYGULAMA

Bu bölümde, çok sıra boşluklu perdelerde ideal güçlendirici kırış konumunu etkileyen parametreler araştırılmıştır. Bu amaçla incelenen tek ve çok sıra boşluklu perdenin malzeme ve geometrik özellikleri, literatürde Coull ve Bensmail (6) tarafından ele alınan tek sıra boşluklu perde örneğinden alınmıştır ve geliştirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Probleme ait tek ve çok sıra boşluklu perde ve en kesitleri

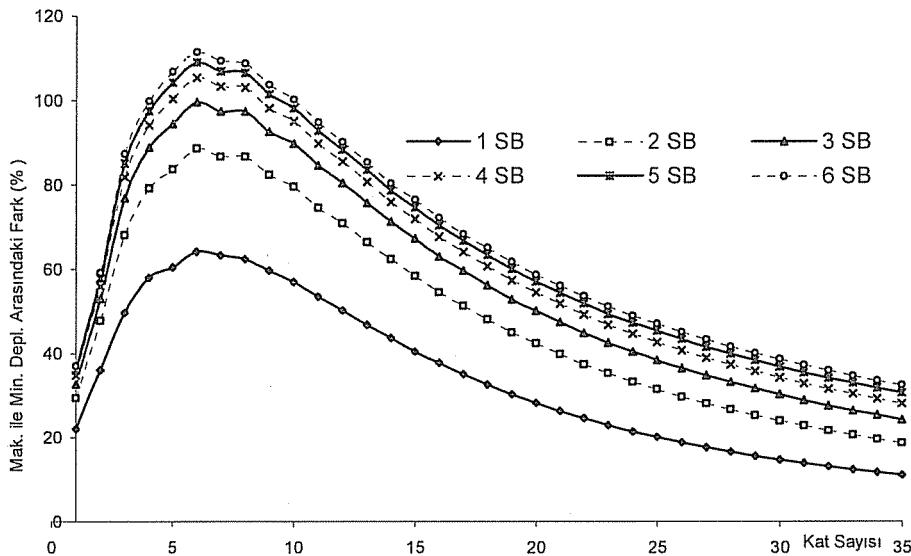
Şekil 3'te görülen boşluklu perde, simetrik ve rıjıt temele oturmakta olup kat yüksekliği 2.8 m, perde kalınlığı 0.2 m, genişliği 8 m, boşluk genişliği 2 m, bağlantı ve güçlendirici kırış yükseklikleri, sırasıyla, 0.35 m ve 1.00 m ve elastisite modülü 2×10^7 kN/m² olan perde üzerine yatay olarak uniform ve üçgen yük olarak 15 kN/m ve tekil yük olarak da 15 kN yük etki etmektedir. 30 katlı olan örnek perde, güçlendiricisiz ve yüksekliğin yarısında güçlendirici konularak sırasıyla tekil yük (TY), üçgen yayılı yük (UCY) ve uniform yayılı yük (UY) altında çözülmesi sonucunda elde edilen yerdeğiştirme değerleri Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Tek sıra boşluklu perde sisteminin üç farklı yükleme durumuna göre yanal yerdeğiştirme eğrileri

Yatay yük şekline göre güçlendirici kırış, sistemdeki yanal yerdeğiştirme değerlerini önemli derecede iyileştirmektedir (Şekil 4). Ancak güçlendiricinin yanlış bir kata konulması, sistemde hemen hemen hiç iyileştirme sağlamayabilir. Şekil 4'te de görüldüğü gibi güçlendiricinin 3 katta bulunması halinde sistem neredeyse güçlendiricisiz gibi davranışmaktadır. Bu da güçlendirici konumunun doğru seçilmesinin ne denli önemli olduğunu göstermektedir.

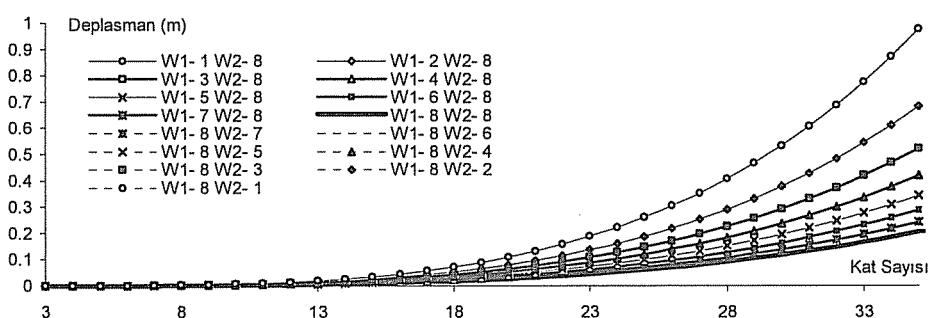
Güçlendirici kırışın herhangi bir kat seviyesine konulması sisteme mutlak bir büyük katkı sağlayacak anlamına gelmez. Yani güçlendirici en uygun olmayan yerde iken maksimum yerdeğiştirme elde edilirken aynı sisteme güçlendirici en uygun yerde iken minimum yerdeğiştirme elde edilecektir. Güçlendiricinin doğru yerde konumlandırılmasının önemini anlamak için tek ve çok sıra boşluklu perde sistemlerinde tek güçlendirici kırışın kullanılması ile elde edilen maksimum ve minimum yerdeğiştirmeler arasındaki yüzde olarak farklar kat sayılarına bağlı olarak uniform yükler altında Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Tek sıra boşluklu perde üniform yayılı yük etkisinde iken tepe noktası maksimum ve minimum deplasmanları arasındaki fark

Şekil 5'teki grafik incelendiğinde özellikle düşük kat sayılı sistemlerde maksimum ile minimum yerdeğiştirmeler arasındaki farkın büyük değerlere ulaştığı görülmektedir. Bu da özellikle düşük kat sayılı sistemlerde tasarımcının güçlendirici kiriş konumunu doğru belirlemesinin sağlayacağı faydanın çok önemli olduğunu göstermektedir. Kat sayısı arttıkça güçlendiricinin adedi artırılarak sisteme katkısı artırılabilir.

Şekil 3'te verilen tek sıra boşluklu perde, yalnızca üniform yayılı yük altında ve tüm geometrik özelliklerini sabitken birinci veya ikinci perde genişliklerinin değiştirilmesiyle elde edilen minimum yerdeğiştirme değerlerindeki değişim kat sayılarına bağlı olarak Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Üniform yayılı yük altında birinci veya ikinci perde genişliklerinin değiştirilmesiyle elde edilen minimum yerdeğiştirmeler

Birbirinin tersi genişliklerdeki perdelerde güçlendirici kiriş seviyelerine göre elde edilen minimum deplasman değerleri SBY'de yapılan rıjıt diafram kabulü nedeniyle tamamiyle aynıdır. Ayrıca, perdelerin toplam en kesitleri azaldıkça doğal olarak kat sayılarının artmasıyla yanal yerdeğiştirme değerleri daha fazla olmaktadır.

4. SONUÇLAR

Şekil 4-6'da görüldüğü gibi, güçlendirici kirişin yapacağı katının ancak doğru yere konulması ile gerçekleşeceği söylenebilir. Güçlendirici kiriş konumunun ne oranda sistemi etkilediğini anlayabilmek için güçlendirici kiriş konumu çeşitli seviyelere konularak yerdeğiştirmeler ölçülmüş ve aynı sistem için maksimum ve minimum yerdeğiştirmeler arasındaki oranlara bakılmıştır. Seçilen boşluklu perde örneği için bu yerdeğiştirmeler arasındaki yüzde farkın, kat sayısının 15'ten daha düşük olması halinde %40-60 mertebesinde olduğu, boşluk sıra sayısı arttıkça bu oranın %80-100 mertebesine kadar yükseldiği Şekil 5'te görülmektedir.

Bu çalışmada hazırlanan programının, veri dosyası hazırlamasının oldukça kolay olması ve en düşük yerdeğiştirmeyi veren güçlendirici kiriş konumunu belirleyebilmesi nedeniyle tasarımcıya öntasarım aşamasında ekonomi ve kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Rosman,R., "Approximate Analysis of Shear Walls Subject to Lateral Loads", *Journal of the American Concrete Institute*, 61(6), s.717-732, 1964.
2. Coull,A. ve Subedi,N.K., "Coupled Shear Walls with Two and Three Bands of Openings", *Building Science*, Pergamon Press, 7, s.81-86, Great Britain, 1972.
3. Coull,A., "Stiffening of coupled shear walls against foundation movement", *Structural Engineering*, 52(1), s.23-26, 1974.
4. Choo,B.S. and Coull,A., "Stiffening of laterally loaded coupled shear walls on elastic foundations", *Building and Environment*, 19(4), s. 251-256, 1984.
5. Chan,H.C. and Kuang,J.J., "Effect of a single deep beam on twin shear walls with rotational coupling", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 85(2), s. 503-515, 1988.
6. Coull,A. ve Bensmail,L., "Stiffened Coupled Shear Walls, *Journal of Structural Engineering*", 117(8), s.2205-2223, 1991.
7. Aksogan,O., Turker,H.T. ve Oskouei,A.V., "Stiffening of Coupled Shear Walls at Arbitrary Number of Heights", *Advances in Civil Engineering*, First Technical Congress, 2, s.780-787, North Cyprus, 1993.
8. Bikçe,M., "Çok sıra boşluklu perdelerin statik ve dinamik analizi", Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Türkiye, 2002.
9. Bikçe,M., Aksogan,O. and Arslan,H.M., "Stiffened multi-bay coupled shear walls on elastic foundation", *Iranian Journal of Science & Technology*, 28(B1), s. 43-52, 2004.
10. Aksogan,O., Bikçe,M., Emseñ,E. and Arslan, H.M., "Dynamic analysis of multi-bay stiffened coupled shear walls", *Computers and Structures* (submitted).
11. Wilson,E.L., "SAP2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures", *Computers and Structures*, Inc., 1-2, 1997.

KIRILAN DALGA ÇARPMASINA MARUZ DÜŞEY PLAKLARIN DİNAMİK VE EŞDEĞER STATİK ANALİZİ

M. Salih KIRKGÖZ ve Banu YÜKSEL
 Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Bir dalganın düşey yüzeyli deniz duvarı üzerinde kırılması, yüksek çarpmaların oluşmasına sebep olur. Yapılan teorik ve deneysel çalışmalar bu tür yapıların dalgça çarpmaya yükleri altındaki dinamik davranışının, yükün zamansal değişimiyle yakından ilgili olduğunu göstermektedir. Bir kıyı yapısının dinamik analizi ve tasarımını, tasarım çarpmaya yükünün zamana göre değişiminin bilinmesi ile yapılabılır. Ancak zamana bağlı çarpmaların ait deneySEL verilerin yetersiz olması nedeniyle, yapının statik analize dayalı bir yönteme göre tasarımını çok daha elverişlidir. Bu çalışmada, dalgça kırılmamasına maruz basit mesnetli düşey kıyı plaklarının dinamik tasarımında kullanılmak üzere "Dinamik Büyütme Faktörü" şeklinde tanımlanan bir katsayı için bulgular sunulmuştur.

DYNAMIC AND EQUIVALENT STATIC ANALYSIS OF VERTICAL PLATES EXPOSED TO WAVE BREAKING

ABSTRACT : When a wave breaks on a vertical faced coastal structure, high magnitude impact pressures are produced. The theoretical and experimental studies show that the dynamic response of such structures under wave impact loading is closely dependent on the magnitude and duration of the load history. The dynamic analysis and design of a coastal structure can be succeeded provided the design load history for the wave impact is available. Since these types of data are very scarce, it is much more convenient to follow a method which is based on static analysis for the design procedure. Therefore, to facilitate the dynamic design of simply supported vertical plates that are exposed to breaking wave impact, the results of a multiplication factor called "Dynamic Magnification Factor" are presented.

1. GİRİŞ

Günümüze dek yapılmış olan, deniz dalgaları ile kıyı yapılarının etkileşimi üzerindeki model ve prototip deneylerinden elde edilen basınçların yersel ve zamansal değişimlerine ait veriler, dalgaların düzlem yüzeyli düşey deniz duvarları üzerinde kırıldığında çarpma basıncı olarak bilinen kısa süreli yüksek basınçların oluştuğunu göstermektedir [1-7]. Geçmişte yapılmış deneylerden, çarpma basınçlarının büyüklükleri ve yersel dağılımları konusunda önemli ölçüde bilgi birikimi oluşmasına karşın, yapısal analiz ve tasarım amaçları bakımından çarpma basınçlarının zamansal değişimini hakkında daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır.

Çarpma basınçlarının zamansal değişimini ile ilgili sınırlı deneysel veriler kullanılarak, Kırkgöz ve Mengi [8,9] tarafından, kompozit bir dalgakırınanın dalga kırılmasına maruz düşey plağının dinamik analizi yapılmış ve bu tür plakların dinamik tasarımını için basit ve kolayca uygulanabilir bir yöntem önerilmiştir.

Kırkgöz [5] tarafından yapılan laboratuvar deneylerinin bulguları, kısa süreli çok yüksek çarpma basınçlarından doğan kırılan dalga yüklerinin, düşey plağın düzlemine dik deplasmanları üzerinde beklenenden daha düşük bir etkiye sahip olduğunu, aksine, uzun süreli alçak basınçlardan doğan yüklerin deplasman açısından daha etkili ve tehlikeli olduğunu göstermiştir. Yani, büyülüğüne rağmen kısa süreli çarpma yüklerine yapının dinamik olarak beklenen cevabı veremediği şeklinde yorumlanabilecek bu olgu deneysel çarpma yükleri kullanılarak Kırkgöz ve ark. [10] tarafından yapılan teorik çalışmada da doğrulanmıştır. Kırkgöz ve ark. [10], çarpma basınçlarının yersel ve zamansal değişimine ait Kırkgöz [5] tarafından verilen deneysel bilgileri kullanarak, aynı çalışmada elde edilen deneysel plak deplasmanlarının zamansal değişimlerini teorik bulgularla karşılaştırmışlardır. Teorik ve deneysel plak deplasmanlarının karşılaştırılmışından, çarpma basınçlarının yersel ve zamansal değişimlerinin bilinmesi halinde, dalga kırılmasına maruz bir plağın klasik plak teorisi yardımıyla teorik olarak analizinin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır. Mevcut durum itibarıyle, gerek ağırlık türü olsun, gerekse plak türü, dalgalarla etkileşim halinde olan kıyı yapılarının dinamik analizi ve tasarımını için mevcut bilgi birikiminin genişletilmesine yönelik teorik ve deneysel çalışmaların sürdürülmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

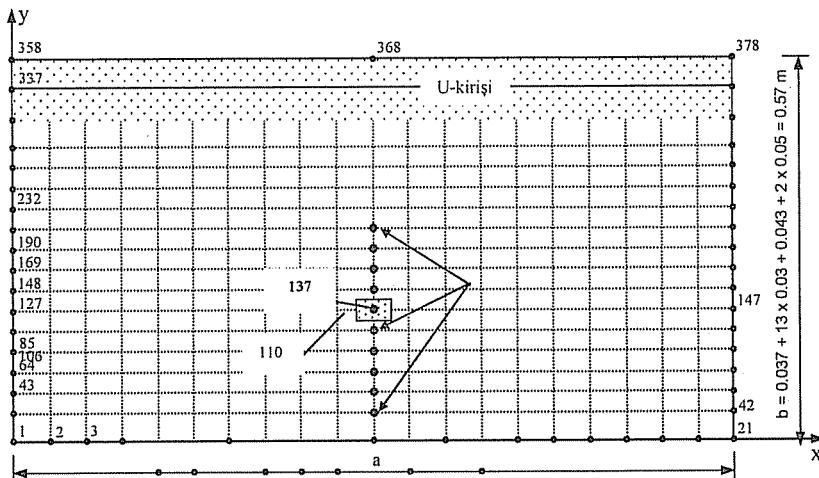
Dalga çarpma basınçlarının zamansal değişiminin tanımlanması kolay olmadığından, mühendislik uygulamalarında, bir kıyı plağının dinamik analize dayalı tasarımının yapılması da genel olarak kolay değildir. Bu nedenle, bu tür plakların dinamik analize dayalı tasarımını yerine, çarpma basınçlarının yersel dağılımı kullanılarak eşdeğer nitelikte statik analize dayalı bir tasarım yönteminin benimsenmesi çok daha pratik olacaktır. Bu çalışmada, dalga kırılmasından kaynaklanan çarpma yüklerine maruz basit mesnetli düşey kıyı plaklarının dinamik analizine eşdeğer olabilecek bir statik analiz yaklaşımı incelenmiştir.

2. ÇARPMA BASINÇLARI İÇİN DENEYSEL VERİLER

Bu çalışmada kullanılan, düşey duvarlar üzerinde kırılan dalgaların çarpma basınçlarının yersel ve zamansal değişimini ile ilgili deneysel veriler Kırkgöz [5]'den alınmıştır. Deneyler, Şekil 1'de gösterildiği gibi 1/10 eğimli tabana oturtulmuş ve boyutları 2.00x0.57m ve kalınlığı 10mm olan düşey bir çelik plak üzerinde yapılmış olup deneySEL ayrıntılar belirtilen çalışmada verilmiştir. Plağın üst kenarı U kirişi ile

güçlendirilmiş olup kırışın iki ucu ve plağın alt sınırı basit mesnetli, düşey sınırları ise serbest durumda bulunmaktadır. Çarpma basınçlarının yersel ve zamansal değişimlerini ölçmek için plak alt kenarından itibaren 37 mm mesafeden başlamak üzere plak orta düşeyine 30 mm aralıklarla on adet basınç-ölçer monte edilmiştir.

Deneylerde, periyodu $T=2s$, derin-su dalga yüksekliği $H_0=0.277m$ ve derin su dikliği $H_0/L_0=0.044$ olan düzenli salınım dalgaları kullanılmıştır. L_0 derin-su dalga boyunu göstermektedir. Deney plağının önündeki durgun su derinliği 0.16m olup deney dalgalarının bu derinlikte plak üzerinde tam olarak kırıldığı görülmüştür. Toplam 90 adet dalganın her birinde, çarpma basınçlarının zamana göre değişimini 25 μs aralıklarla 102.4 ms süre ile eş zamanlı olarak kaydedilmiştir. Şekil 2'de bir dalga çarpmasından elde edilen çarpma basınçları ve bileşke çarpma kuvvetinin zamana göre değişimleri ile plak üzerinde maksimum çarpma basıncı anında oluşan çarpma basınçlarının düşey dağılımı örnek olarak verilmiştir.



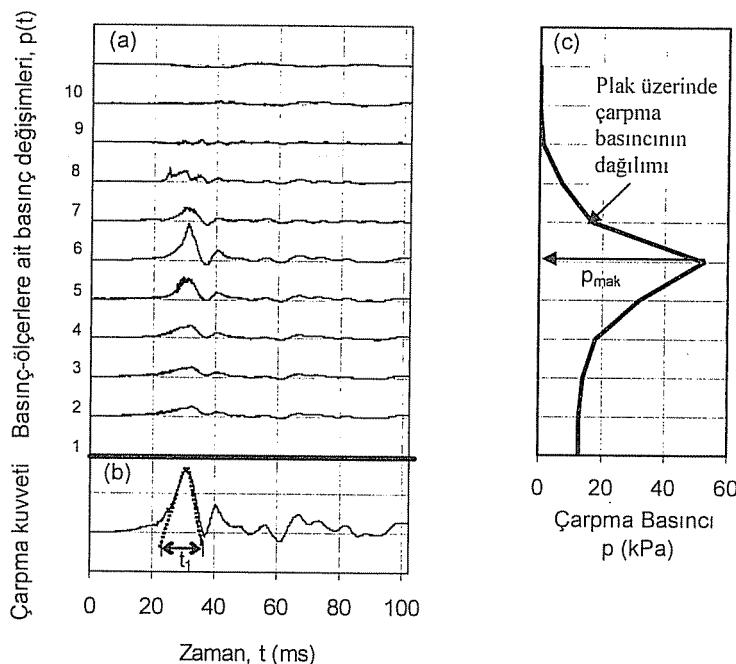
Şekil 1. Deneylerde ve hesaplarda kullanılan plak üzerinde sonlu elemanlar ağı

2.1. Temel Denklemler Ve Sayısal Çözüm

Dalga çarpmasına maruz Şekil 1'deki düşey plağın dinamik davranışını elastik plak teorisi ile formüle edilmiştir [11]. Şekilde görüldüğü gibi, plağın sol alt köşesine yerleştirilmiş olan x,y,z dik koordinat sisteminin x,y düzlemi plağın orta düzlemi ile çakışmaktadır, z ekseni ise çarpma basıncı $p(x,y,t)$ 'nın yönünde bulunmaktadır. Burada t zamanı göstermektedir.

Plağın z yönündeki w deplasmanını idare eden dinamik denklem aşağıdaki gibidir:

$$D \nabla^4 w + \rho h \ddot{w} - \frac{\rho h^3}{12} \nabla^2 \ddot{w} = p \quad (1)$$



Şekil 2. (a) On adet basınç-ölçerden elde edilen çarpma basınclarının zamansal değişimi, (b) Plak üzerinde çarpma kuvvetinin zamansal değişimi, ve (c) Maksimum basınç anında plak üzerindeki çarpma basıncının düşey dağılımı

Burada, $D=Eh^3/12(1-\nu^2)$ plaqın eğilme rijitliği, $\nabla^4=\nabla^2(\nabla^2)$ biharmonik operatör, $\nabla^2=\partial^2/\partial x^2+\partial^2/\partial y^2$ Laplace operatörü, p özgül kütle, h plak kalınlığı, E elastisite modülü, ν Poisson oranı ve nokta zamana göre türevi göstermektedir.

Plaqın eğilme momentleri w' ye bağlı olarak aşağıda verilmiştir:

$$M_x = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$M_y = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad (3)$$

Burada M_x ve M_y plak elemanın y ve x 'e paralel kenarlarının birim uzunluğuna etkiyen eğilme momentleridir.

Bu çalışmada analizi yapılan plaqın tüm sınırları basit mesnet olup sınır ve başlangıç şartları aşağıda verilmiştir.

Düşey sınırlar için:

$$(w)_{x=0,a} = 0 , \quad \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)_{x=0,a} = 0 \quad (4)$$

Yatay sınırlar için:

$$(w)_{y=0,b} = 0 , \quad \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)_{y=0,b} = 0 \quad (5)$$

Burada, a plak genişliğini ve b yüksekliğini göstermektedir. Plaqın t=0 anında hareketsiz olduğu varsayımlı ile aşağıdaki başlangıç şartları yazılabilir:

$$(w)_{t=0} = 0 , \quad \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)_{t=0} = 0 \quad (6)$$

(4)–(6) eşitlikleri ile verilen sınır ve başlangıç şartlarına göre (1) denkleminden plak deplasmanı, w, ve (2) ve (3) denklemlerinden de eğilme momentleri, M_x ve M_y, hesaplanabilir. Verilen sınır şartlarına göre (1) denkleminin yersel integrasyonu sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmıştır. Hesaplarda kullanılan sonlu elemanlar ağı Şekil 1'de verilmiştir. w'nin sayısal olarak hesaplanması on adet basınç-ölçerden kaydedilen çarpma basınçlarının düşey dağılımları kullanılmıştır. Çarpma basınçlarının, ölçme seviyeleri arasında doğrusal değiştiği, yatay doğrultuda ise sabit olduğu kabul edilmiştir. Diğer taraftan, plaqın alt kenarındaki basınçlar en alttaki basınç-ölçerden elde edilen değerlere eşit alınmıştır. (1) denkleminin sayısal çözümü SAP2000® [12] yapı analizi paket programı ile yapılmıştır.

2.2. Dinamik Büyütme Faktörü

Dinamik analize eşdeğer olabilecek nitelikte, daha pratik bir statik analiz yönteminin uygulanmasını sağlamak üzere plaqın dinamik ve statik analizlerinden elde edilen sayısal hesap bulguları ilişkilendirmek üzere, dinamik analiz sonucu plak deplasmanı ve eğilme momentleri için bulunan maksimum değerler ile statik analiz sonucu bulunan değerlerin oranları deplasmanlar ve momentler için ayrı, ayrı olmak üzere aşağıdaki gibi Dinamik Büyütme Faktörü olarak tanımlanmıştır:

$$R_w = \frac{\text{mak}(w)_{\text{dynamik}}}{(w)_{\text{statik}}} \quad (7a)$$

$$R_{Mx} = \frac{\text{mak}(M_x)_{\text{dynamik}}}{(M_x)_{\text{statik}}} \quad (7b)$$

$$R_{My} = \frac{\text{mak}(M_y)_{\text{dynamik}}}{(M_y)_{\text{statik}}} \quad (7c)$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kirkgöz ve ark. [10] tarafından yapılan çalışmada kullanılan çelik plaqın üst kenarı U kırışı ile güçlendirilmiş olup, kırışın iki ucu ve plaqın alt sınırı basit mesnetli, düşey sınırları ise serbesttir. Bu çalışmada, tüm sınırları basit mesnet olarak kabul edilen ve boyutları 2.00x0.57m, 1.00x0.57m ve 0.50x0.57m olan çelik plakların SAP2000 yapı analiz paket programı ile dinamik ve statik analizleri yapılmıştır.

Şekil 2'de görülen çarpma basınçlarının zamansal değişimleri kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile üç plaqın dinamik analizleri yapılmış ve plak deplasmanın zamana göre değişimi hesaplanmıştır. Ayrıca, Şekil 2c'de örneği verilen eş zamanlı düşey basınç dağılımları kullanılarak, farklı boyut oranına sahip üç plaqın statik analizleri yapılmıştır. Şekil 1'de gösterilen plak sonlu elemanlar ağının 137 numaralı düğüm noktasında 90 adet dalga çarpması için üç plakta hesaplanan maksimum dinamik ve statik deplasmanlar hesaplanmış ve aralarındaki ilişkiler (7a) denklemi ile tanımlanan dinamik büyütme faktörü, R_w , formunda sunulmuştur. Ayrıca plak sonlu elemanlar ağının 110 numaralı elemanı için hesaplanan maksimum dinamik ve statik M_x ve M_y eğilme momentleri (7b) ve (7c) denklemeleri ile tanımlanan dinamik büyütme faktörleri, R_{Mx} ve R_{My} formlarında aralarında ilişkilendirilmiştir.

Clough ve Penzien [13], sönümsüz tek serbestlik dereceli yapının şok türü bir yükle maksimum cevabının, bu yükün süresi, t_1 , ile yapının birinci doğal periyodu, T_1 , arasındaki orana bağlı olduğunu ifade ederek, dinamik büyütme faktörünün çeşitli formdaki şok yükler altında t_1/T_1 ile değişimini vermişlerdir. Şekil 2b'de görüldüğü gibi, çarpma kuvvetinin zamansal değişiminin t_1 süreli birinci pik bölgesi üçgen görünümünde bir şok yük özelliğini taşımaktadır. Bu bakımından, bu çalışmada, 90 adet dalga çarpmasından elde edilen deneysel maksimum çarpma basınçlarının, $p_{\text{mak}}/\gamma H_0$, t_1/T_1 ile değişimini grafiksel olarak sunulmuş ve Clough ve Penzien [13]'e benzer biçimde, (7a)-(7c) ifadeleri ile tanımlanan dinamik büyütme faktörlerinin t_1/T_1 ile değişimini incelenmiştir.

3.1. Maksimum Çarpma Basıncının t_1/T_1 ile Değişimi

Basit mesnetli farklı boyut oranlarındaki üç plaqın birinci doğal periyodu olan T_1 değerleri, Çizelge 1'de verilmiştir. Üç plak için, 90 adet dalga çarpmasından elde edilen deneysel boyutsuz maksimum çarpma basınçlarının, $p_{\text{mak}}/\gamma H_0$, t_1/T_1 değişimi Şekil 3'de görülmektedir. γ suyun özgül ağırlığıdır.

Şekil 3'ün incelenmesinden, maksimum basınçın, t_1/T_1 'in artmasıyla önce hızlı bir biçimde azaldığı ve bir yerden sonra azalmanın büyük ölçüde yavaşladığı görülmektedir. Kirkgöz [5] tarafından yapılan laboratuvar deneylerinde, 90 adet dalga çarpmasından ölçülen maksimum plak deplasmanı bulgularında, $p_{\text{mak}}/\gamma H_0 > 18$ olması

durumunda, çarpma yükünün plak deplasmanı üzerinde artırcı bir etkisinin kalmadığı görülmüştür. Deneysel olarak elde edilen bu sonucun, Şekil 3'deki maksimum çarpma basıncı değişimlerine de plakların dinamik davranış biçimini olarak yansıldığı görülmektedir. Şöyle ki, maksimum basıncın büyülüğündeki hızlı değişim süreci, her üç plak için de yaklaşık $p_{mak}/\gamma H_0 = 18$ civarında meydana gelmektedir.

Çizelge 1. Farklı boyut oranlı plaklar için bulunan T_1 değerleri

Plak boyutları $a \times b$ (m)	Plak boyut oranı a/b	Plağın birinci doğal periodyodu T_1 (s)
2.00 x 0.57	3.51	0.01220
1.00 x 0.57	1.75	0.00974
0.50 x 0.57	0.88	0.00528

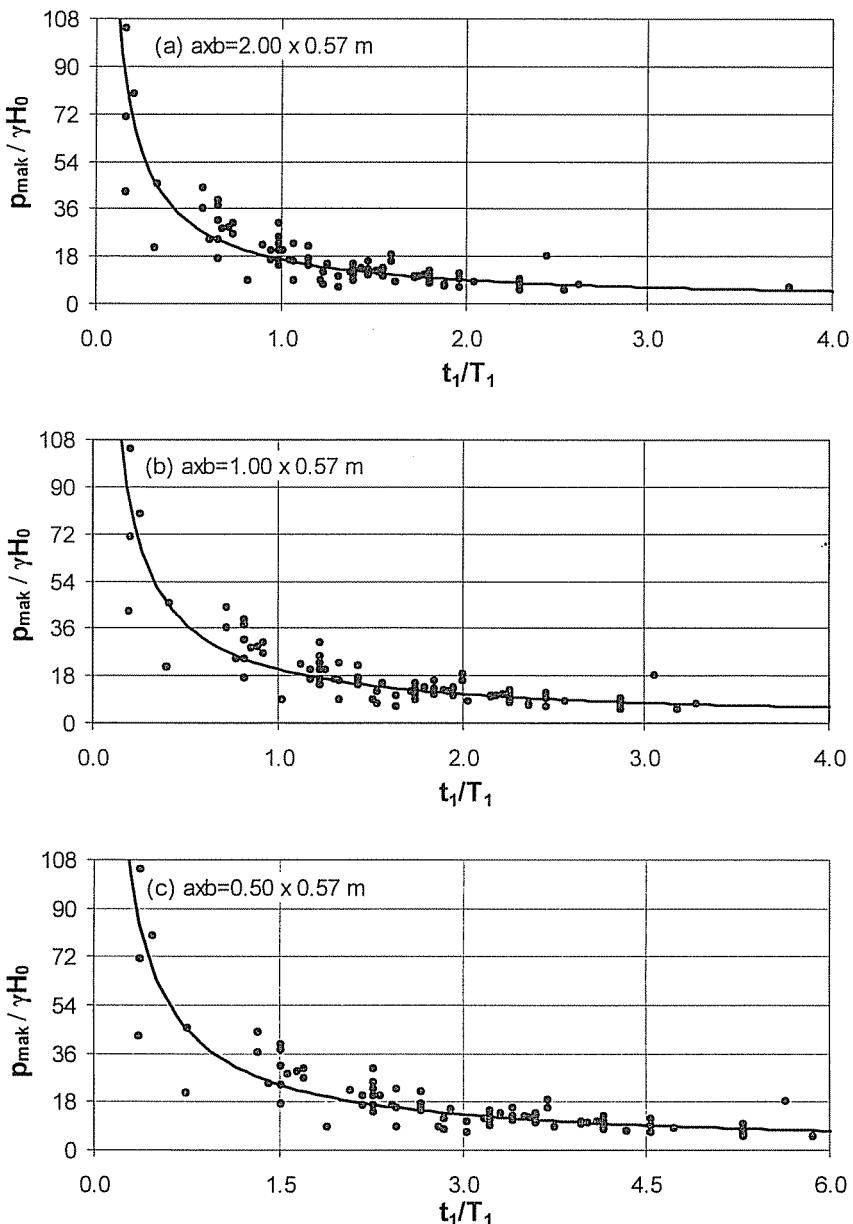
3.2. Teorik Maksimum Dinamik ve Statik Plak Deplasmanları

90 adet kırılan dalga çarpmasına maruz boyutları 2.00x0.57m, 1.00x0.57m ve 0.50x0.57m olan basit mesnetli üç plağın dinamik ve statik analizleri sonucu Şekil 1'deki sonlu elemanlar ağının 137 numaralı düğüm noktasında maksimum dinamik ve statik deplasman değerleri, $\text{mak}(w)_{\text{dinamik}}$ ve $(w)_{\text{statik}}$, hesaplanmış ve bulgular Şekil 4'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, genelde dinamik deplasman değerleri statik değerlerden büyük olmakla birlikte, az sayıdaki bazı çarpma durumları için plakların maksimum dinamik deplasmanları, Şekil 2c'deki statik yükleme koşulları altında bulunan deplasmanlarla karşılaştırıldığında daha küçük çıkmaktadır.

3.3. Dinamik Büyüütme Faktörü: Deplasmanlar İçin

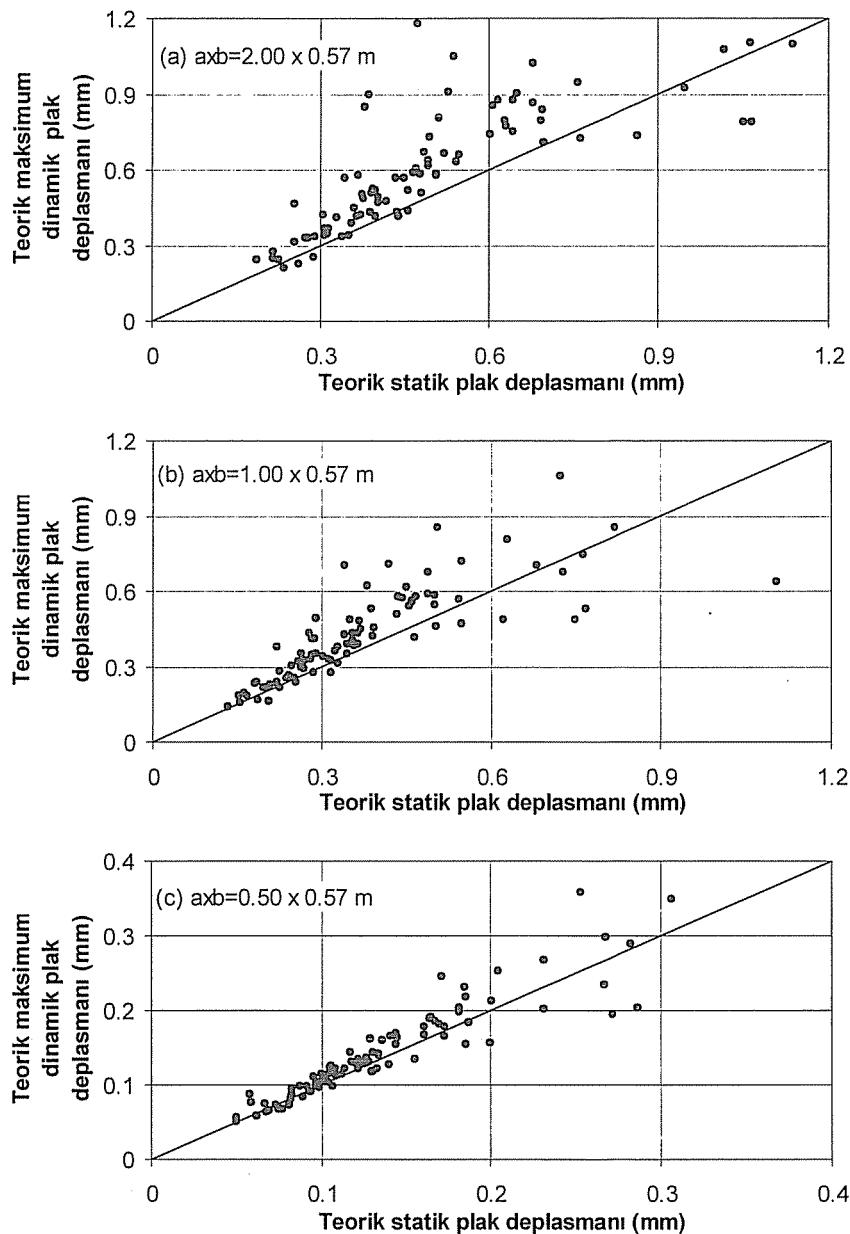
Şekil 1'in 137 nolu düğüm noktasında 90 adet dalga çarpması için dinamik analiz sonucu bulunan maksimum deplasman değerleri, statik analiz sonucu bulunan deplasman değerlerine oranlanarak (7a) denklemi ile tanımlanan dinamik büyütme faktörleri, R_w , bulunmuştur. Şekil 5'de, R_w 'nin her üç plak için t_1/T_1 değişimleri verilmiştir. Şekil 5'deki dağılımlarda, R_w 'nin 0.5 ile 2.5 arasında bir değişim aralığı olmakla birlikte, ağırlıklı olarak 0.8-1.8 arasında değerler aldığı görülmektedir. Şekil 5'in incelenmesinden görüldüğü gibi, her üç plak için hesaplanan R_w değerleri, t_1/T_1 'in küçük değerlerinde düşük kalmakta, t_1/T_1 'in artmasıyla birlikte büyümerek ortalama değerlere doğru yaklaşma eğilimi göstermektedir.

Deplasman için dinamik büyütme faktörünün, farklı boyutlu plaklardaki ortalama değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi hesaplanan R_w değerleri plak boyut oranına bağlı olarak 1.05 ile 1.26 arasında değişmektedir. Aynı çizelgede, Kırkgöz ve ark.[10] tarafından farklı sınır şartlarındaki plakların aynı noktasında hesaplanmış, R_w için verilen ortalama değerler de görülmektedir. Her iki çalışmanın Çizelge 2'de verilen ortalama R_w bulguları benzer değişim aralığında görünmelerine karşın plak boyut oranları bakımından farklılıklar göstermektedir.

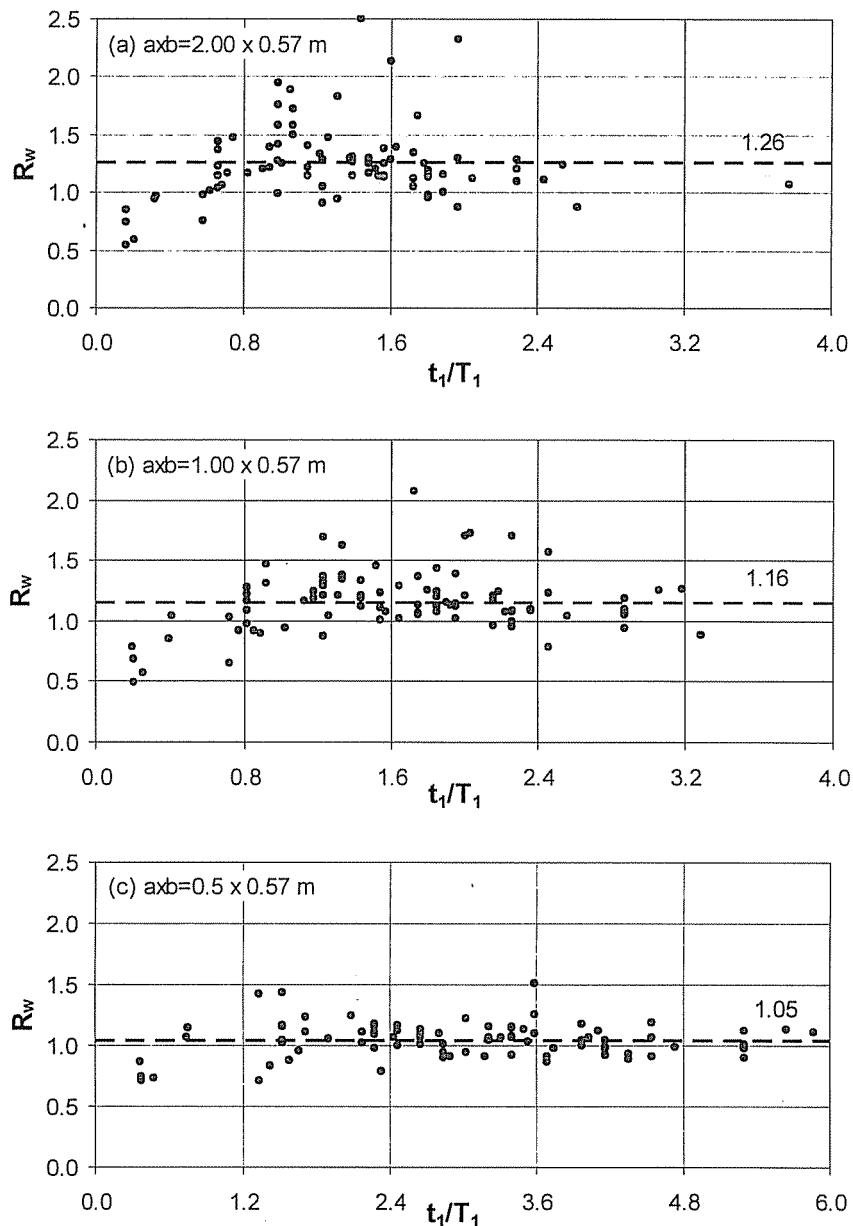


Şekil 3. Boyutsuz maksimum çarpma basıncının (a) $2.00 \times 0.57 \text{ m}$, (b) $1.00 \times 0.57 \text{ m}$, ve (c) $0.50 \times 0.57 \text{ m}$ boyutlu plaklar için t_1/T_1 ile değişimi

KIRILAN DALGA ÇARPMASINA MARUZ DÜŞEY PLAKLARIN
DİNAMİK VE EŞDEĞER STATİK ANALİZİ



Şekil 4. (a) $2.00 \times 0.57\text{m}$, (b) $1.00 \times 0.57\text{m}$, ve (c) $0.50 \times 0.57\text{m}$ boyutlu plaklar için teorik maksimum dinamik ve statik plak deplasmanları



Şekil 5. (a) $2.00 \times 0.57 \text{ m}$, (b) $1.00 \times 0.57 \text{ m}$, ve (c) $0.50 \times 0.57 \text{ m}$ boyutlu plaklar için R_w 'nin t_1/T_1 ile değişimi

Çizelge 2. Deplasmanlar için hesaplanan dinamik büyütme faktörleri

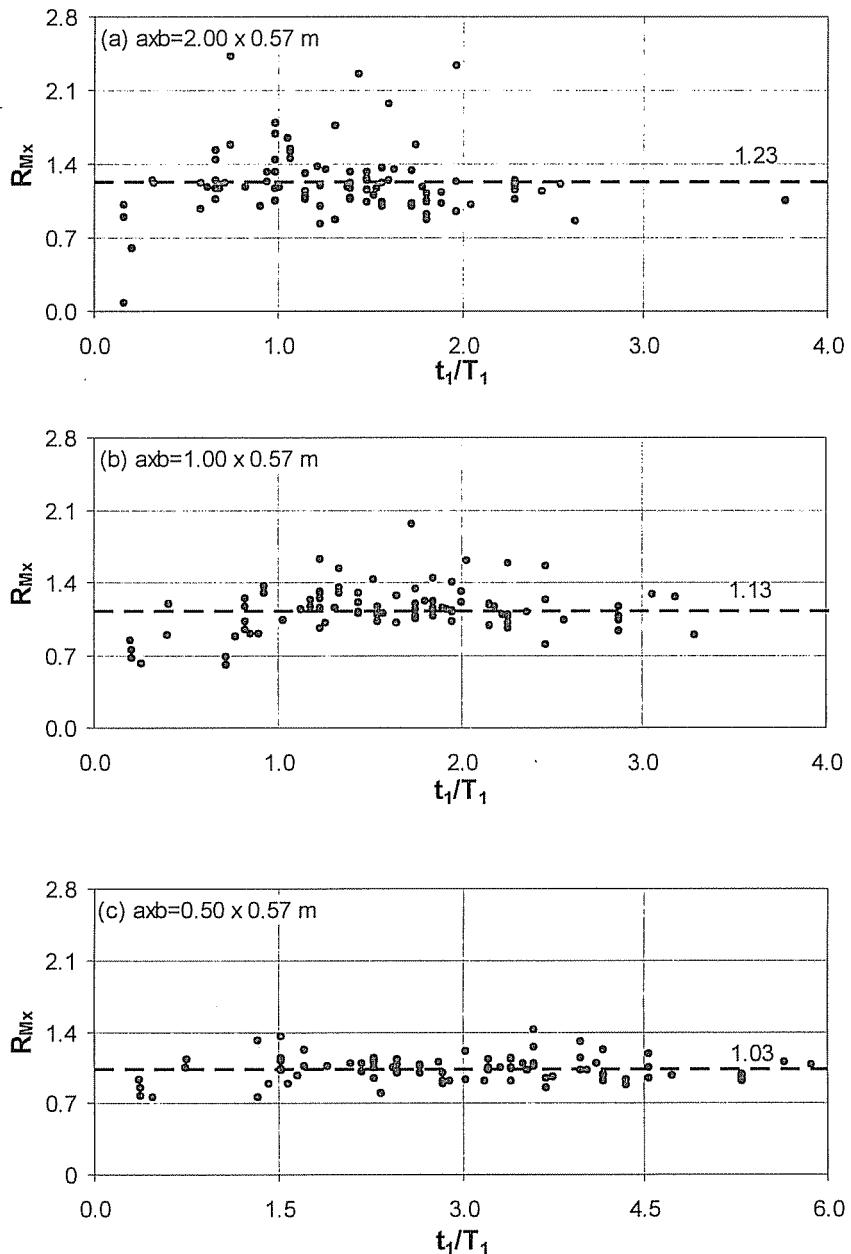
Plak boyutları axb (m)	Plak boyut oranı a/b	Dinamik büyütme faktörü R_w	Kırkgöz ve ark. [10] tarafından verilen R_w
2.00 x 0.57	3.51	1.26	1.15
1.00 x 0.57	1.75	1.16	1.20
0.50 x 0.57	0.88	1.05	1.25

3.4. Dinamik Büyütme Faktörü: Momentler İçin

SAP2000 paket programı kullanılarak, Şekil 1'de gösterilen plak üzerinde dinamik ve statik analizler yapılmış, plak elemanlarının y ve x'e paralel kenarlarının birim uzunluğuna etkiyen maksimum dinamik ve statik M_x , M_y momentleri 2.00x0.57m, 1.00x0.57m ve 0.50x0.57m boyutlu plaklar için hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar ağının 110 numaralı elemanı için 90 adet dalga çarpmasından hesaplanan maksimum dinamik ve statik M_x , M_y değerleri oranlanarak (7b) ve (7c) ifadeleri ile tanımlanan R_{Mx} ve R_{My} 'ler bulunmuş ve ortalama değerleri hesaplanmıştır. 90 adet dalga çarpması için üç plakta hesaplanan ortalama R_{Mx} ve R_{My} değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi ortalama değerler itibarıyle R_{Mx} değerleri farklı plak boyut oranları için 1.03 ile 1.23 değerleri arasında değişmekte, R_{My} değerlerinden çokluşukla daha büyük olmaktadır. Kırkgöz ve ark.[10] tarafından farklı sınır şartlarındaki plakların sonlu elemanlar ağındaki aynı elemanda hesaplanmış aynı çizelgedeki ortalama değerlerin, bu çalışmanın bulgularından daha düşük değerler aldığı görülmektedir. Çizelge 3'de verilen moment için dinamik büyütme faktörü değerlerinin plak boyut oranından nasıl etkilendiğine dair kesin bir sonuç çıkarmak mümkün görülmemektedir. Bu çalışmada daha büyük olarak elde edilen R_{Mx} 'in her üç plak için t_1/T_1 ile değişimine ait 90 adet dalga çarpmasından elde edilen bulgular Şekil 6'da görülmektedir. Şekil 6'daki sayısal bulguların dağılımı 0.1 ile 2.3 arasında geniş bir aralık içerisinde olmasına rağmen R_{Mx} 'in ağırlıklı olarak 0.8-1.8 arasında değerler alabileceğini göstermektedir.

Çizelge 3. Eğilme momentleri için hesaplanan dinamik büyütme faktörleri

Plak boyutları axb (m)	Plak boyut oranı (a/b)	Dinamik büyütme faktörü			
		R_{Mx}	R_{My}	R_{Mx} [10]	R_{My} [10]
2.00 x 0.57	3.51	1.23	1.11	0.95	0.85
1.00 x 0.57	1.75	1.13	1.06	1.15	1.10
0.50 x 0.57	0.88	1.03	1.09	0.95	1.05



Şekil 6. (a) $2.00 \times 0.57 \text{ m}$, (b) $1.00 \times 0.57 \text{ m}$, ve (c) $0.50 \times 0.57 \text{ m}$ boyutlu plaklar için R_{Mx} değerlerinin t_1/T_1 ile değişimi

4. SONUÇLAR

Bir model düşey plak üzerinde yapılan deneylerden elde edilen dalga çarpması basınçları kullanılarak farklı boyut oranlarındaki basit mesnetli üç plaqın dinamik ve statik analizleri yapılmıştır. Hesap bulguları, maksimum çarpma basıncı, $p_{\text{mak}}/\gamma H_0 = 18$ düzeyinin, hesaplanan plakların dinamik davranışları için önemli bir ayırım değeri olduğunu göstermiştir. Sayısal hesaplardan elde edilen bulgularda, dinamik maksimum değerle statik değerin oranı biçiminde tanımlanan dinamik büyütme faktörünün, mevcut koşullarda ağırlıklı olarak 0.8-1.8 arasında; ortalama olarak ise, deplasmanlar için 1.05-1.26 arasında, eğilme momentleri için de 1.03-1.23 arasında değiştiği görülmüştür. Bu çalışmadaki bulgulara dayanarak, kıyı plaklarının dinamik tasarımının, çarpma basınçlarının düşey dağılımı kullanılarak plaqın statik analizinden bulunan değerlerin dinamik büyütme faktörü ile çarpılarak gerçekleştirilebileceği sonucuna varılmıştır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma MMF2004YL43 nolu proje ile Çukurova Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir, teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Mogridge,G.R., Jamieson,W.W., "Wave impact pressures on composite breakwaters", Proceeding Seventeenth Conference on Coastal Engineering, ASCE, 23-28 March 1980, Sydney, 1829-1848, Australia, 1980.
2. Kirkgoz,M.S., "Shock pressure of breaking waves on vertical walls", J. WatWay, Port Coastal and Ocean Div., ASCE, 108, 81-95, 1982.
3. Blackmore,P.A., Hewson,P.J., "Experiments on full-scale wave impact pressures", Coastal Eng., 8, 331-346, 1984.
4. Chan,E.S., Merville,W.K., "Deep-water plunging wave pressures on a vertical plane wall", Proc. Royal Society London, A 417, 95-131, 1988.
5. Kirkgoz,M.S., "An experimental investigation of a vertical wall response to breaking wave impact", Ocean Eng., 17, 379-391, 1990.
6. Kirkgoz,M.S., "Impact pressure of breaking waves on vertical and sloping walls", Ocean Eng., 18, 45-59, 1991.
7. Kirkgoz,M.S., "Breaking wave impact on vertical and sloping coastal structures", Ocean Eng., 22, 35-48, 1995.
8. Kirkgoz,M.S., Mengi,Y., "Dynamic response of a caisson plate to wave impact", J. WatWay, Port Coastal and Ocean Div., ASCE, 112, 284-297, 1986.
9. Kirkgoz,M.S., Mengi,Y., "Design of a caisson plate under wave impact", Ocean Eng., 14, 275-283, 1987.
10. Kirkgoz,M.S., Tanrikulu,A.K., Dündar,C., "Theoretical and experimental investigation of a vertical wall response to wave impact", Ocean Eng., 29, 769-782, 2002.
11. Timoshenko,S.P., "Theory of Plates and Shells", McGraw-Hill, New York, 1959.
12. SAP2000®, "Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures", Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA, 1999.
13. Clough,R.W., Penzien,J., "Dynamics of Structures", McGraw-Hill, New York, 1993.



YATAY BİR DAİRESEL SİLİNDİR ETRAFINDAKİ AKIMDA HİZ ALANININ DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ

M. Salih KIRKGÖZ ve A. Alper ÖNER

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

ÖZET : Akım içerisinde batmış iki boyutlu dairesel silindirler yapı elemanı olarak mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar, bu nedenle bu tür küt cisimlerin akışkan akımı ile etkileşimi konusundaki araştırmalar tasarım amaçları bakımından önem arz etmektedir. Bir silindir etrafındaki akımın yapısını belirlemeye hız alanı en önemli parametreyi oluşturmaktadır. Bu çalışmada, açık kanal içerisindeki yatay, dairesel, izole bir pürüzsüz silindirin etrafındaki su akımında hızlar deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Akım hızlarının ölçülmesinde PIV teknigi ile çalışan ölçme sistemi kullanılmıştır. Hız alanının teorik analizi için, $k-\varepsilon$ türbüfans modeli ile birlikte, süreklilik ve momentum denklemleri, bu temel denklemlerin sonlu elemanlar çözümünde ANSYS-Flotran CFD paket programı kullanılmıştır. Sayısal hesaplamalar sonucu bulunan akım hızlarının, silindirin memba tarafında deneysel bulgularla uyumlu olduğu görülmüştür.

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATION OF VELOCITY FIELD OF FLOW AROUND A HORIZONTAL CIRCULAR CYLINDER

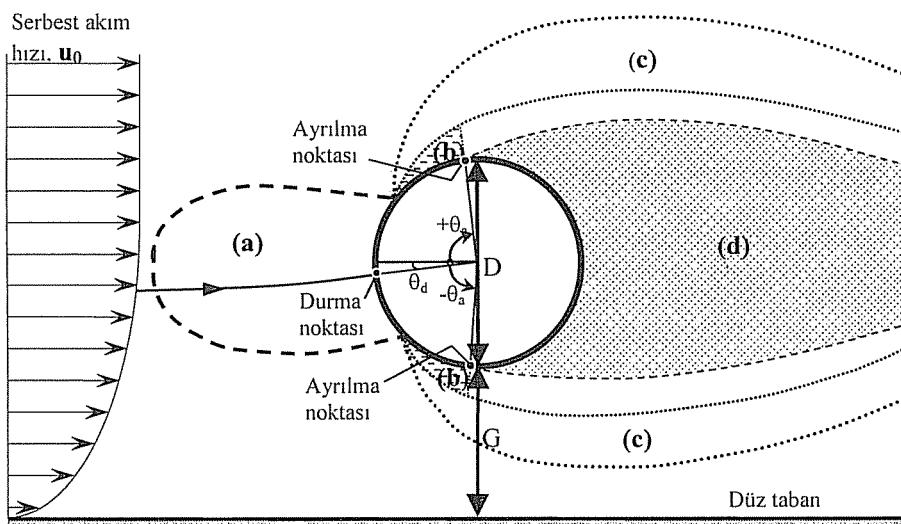
ABSTRACT : Two-dimensional submerged circular cylinders are widely used structural elements in engineering practices, and therefore the studies on the interaction of such bluff bodies with the fluid flow are important for design considerations. The velocity field is the most important parameter in determining the flow structure around a cylinder. In this study, the water velocity field of flow around an isolated horizontal circular smooth cylinder in an open channel is investigated both experimentally and theoretically. PIV technique is used to measure the flow velocities. The theoretical analysis of velocity field is carried out using the conservation of mass and conservation of momentum with $k-\varepsilon$ turbulence model. In the finite element solution of the governing equations ANSYS-Flotran CFD package is used. The numerical results for the flow velocities seem to compare well with the experimental data in the upstream of the cylinder.

1. GİRİŞ

Mansabında geniş ve çoğunlukla kararsız kuyruk (ayrılma) bölgeleri oluşturan cisimler hidrodinamik tanımlama bakımından küt cisimler olarak adlandırılırlar. Akım ile içerisinde batmış durumda bulunan küt cisimlerin etkileşiminden doğan problemler mühendislik uygulamalarında önem arzettmektedir. Etkileşime maruz iki boyutlu silindirik elemanlar üçgen, dikdörtgen, çokgen, eliptik veya dairesel kesitlere sahip olabilir. Basit geometrisi nedeniyle tercih edilen dairesel silindirik yapı elemanları; havacılıkta, inşaat, makina, kıyı ve deniz mühendisliği uygulamalarında akışkan akımları ile etkileşim halinde olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Denizaltı boru hatlarının mühendislik uygulamaları, bu bağlam içerisinde önemli bir yer tutmaktadır.

Batmış durumda yatay, düşey veya eğik silindirik elemanların, tasarım açısından maruz bulunduğu en önemli etken, etkileşimden doğan dinamik kuvvetlerin belirlenmesidir. Yanı sıra, katı madde bakımından hareketli tabanlara yakın silindirik elemanların sebep olduğu taban oyuşmaları veya katı madde yığılmaları da hidrolik mühendisliğinin önemli konularını oluşturmaktadır. Bu konularla bağlantılı olarak silindir etrafındaki akımın yapısı geçmişte birçok araştırmacı tarafından deneyel [1-4] ve teorik [5,6] olarak incelenmiştir.

Silindir etrafındaki akım alanının yapısı; akışkanın viskozitesine, akımın hızına ve derinliğine, silindir kesitinin şekil ve boyutuna, silindirin akım içindeki konumuna, ve silindirin katı sınırlardan uzaklığuna bağlı olarak büyük değişimler göstermektedir. Akımda batmış durumda bulunan dairesel bir silindir etrafındaki akım için Şekil 1'de verildiği gibi dört farklı akım bölgesi tanımlanabilir [7,8], bunlar: (a) Silindir membasisinde yavaşlama bölgesi, (b) Silindir yüzeyinde simetrik biçimde oluşan sınır tabakaları, (c) Silindirin iki yanında hızlanma bölgeleri, ve (d) Mansaptaki sınır tabakası ayrılma (kuyruk) bölgesidir.



Şekil 1. Akım alanı içerisindeki silindirden etkilenen farklı bölgeler

Price ve ark. [4], deneysel bulgularına dayanarak, tabandan itibaren çapına eşit veya daha büyük bir mesafede bulunması (yani $G/D \geq 1.0$) durumunda, yatay bir dairesel silindirin etrafındaki akımın katı sınır etkisinden büyük ölçüde soyutlandığını ifade etmişlerdir. Şekil 1'de tanımlanan farklı özellikteki akım bölgelerinin karakterini belirleyen en temel unsur hız alanında gözlenen farklılıklarlardır. Hız alanındaki değişimler, akışkan ile silindir etkileşiminden kaynaklanan temel parametreleri de kontrol etmektedir.

Bu çalışmada, açık kanal su akımında kanal tabanından iki çap kadar yukarıda ($G/D=2$) yatay olarak duran pürüzüsüz izole bir silindir etrafındaki akımda hızlar deneysel olarak ölçülmüş, ve hız alanı için teorik olarak hesaplanan bulgular deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

2. TEMEL DENKLEMLER VE SAYISAL ÇÖZÜM

Silindir etrafında oluşan iki-boyutlu, düzenli, sıkışmayan, türbülanslı, Newtonien akışkan hareketini idare eden temel denklemler, kütlenin korunumu ve momentumun korunumu (Reynolds denklemleri), aşağıdaki gibidir:

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

$$\rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = \rho K_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(-\overline{\rho u'_i u'_j} \right) \quad (2)$$

Burada u_i yatay (x) ve düşey (y) hız bileşenlerini, K_i yerçekiminin sebep olduğu kütlesel kuvveti, p basıncı, μ akışkanın dinamik viskozitesini, ρ ; akışkanın yoğunluğunu, ve (2) denklemindeki son terimin parantez içi türbülans gerilmelerini göstermektedir. Silindirin merkezi, koordinat sisteminin orijini olarak alınmıştır.

(2) denklemindeki türbülans kayma gerilmesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$-\rho \overline{u'v'} = \eta \frac{\partial u}{\partial y} \quad (3)$$

Standart $k-\epsilon$ modelinde, (3) denklemindeki türbülans viskozitesi, η , türbülans kinetik enerjisi, k , ve onun kayıp oranına, ϵ , bağlı olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [9]:

$$\eta = \rho C_\eta \frac{k^2}{\epsilon} \quad (4)$$

(4) denklemindeki C_η türbülans sabiti olup 0.09 olarak verilmiştir.

(1) ve (2) denklemelerinin sayısal çözümü için Hesaplama Akışkanlar Dinamigi-Computational Fluid Dynamics (CFD) kapsamında son yıllarda birçok ticari paket program geliştirilmiştir. Bu çalışmada, temel denklemelerin sayısal çözümü için sonlu elemanlar yöntemine dayalı ANSYS-Flotran paket programı kullanılmıştır. Açıklanan

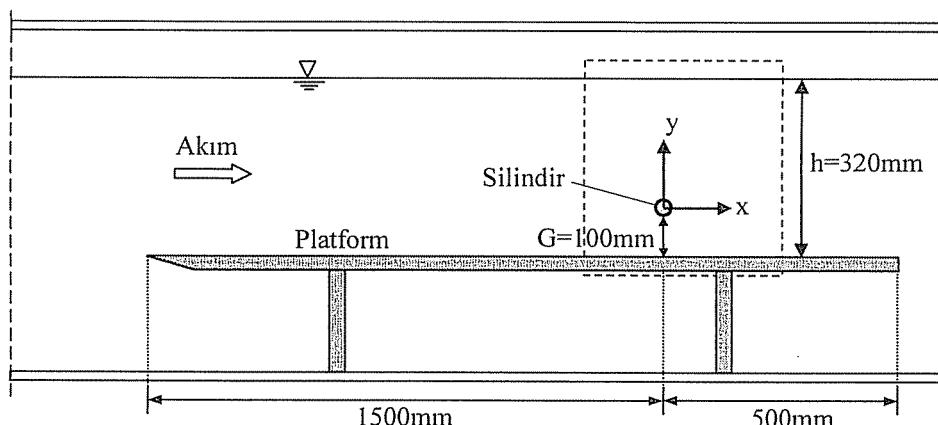
teorik yöntem, aşağıda verilen deney koşullarındaki akımlara uygulanarak deney silindirinin etrafındaki akımda hızlar hesaplanmıştır. Sayısal hesaplamada, hesap bölgesinin sınır şartları; giriş ve alt sınırlar ile silindir yüzeyi akım hızı ile, üst (serbest yüzey) ve çıkış sınırları ise basınç şartı ile tanımlanmıştır.

3. DENEYLER

3.1. Deney Düzeni

Deneyler, Ç. Ü. Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarındaki kapalı çevrim olarak çalışan 1m genişlik, 0.75m derinlik ve 14m uzunluğundaki saydam pleksiglas duvarlı açık kanalda gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi, kanal başlangıcından 4m uzaklığa kanal ile aynı genişliğe sahip 2m uzunluk ve 15mm kalınlıklı, ve kanal tabanından 265mm yükseklikte pleksiglasdan yapılmış bir platform yerleştirilmiştir. Platformun memba ucu sıvırıltılerek akımın platforma girişi rahatlatılmıştır. $D=50\text{mm}$ çaplı pürüzsüz pleksiglas silindir, platform başlangıcından itibaren 1500mm (30D) mesafede, düşey açıklık $G=100\text{mm}$ ($G/D=2$) olacak şekilde platformun üzerine yatay olarak monte edilmiştir. Bu şekilde, platform üzerindeki açık kanal akımının, sınır tabakası açısından silindir bölgesinde tam gelişmiş akım durumuna yaklaşacağı, ayrıca silindir etrafındaki akımın platform üzerinde oluşacak sınır tabakasının dışına düşerek katı tabandan etkilenmeyeceği varsayılmıştır.

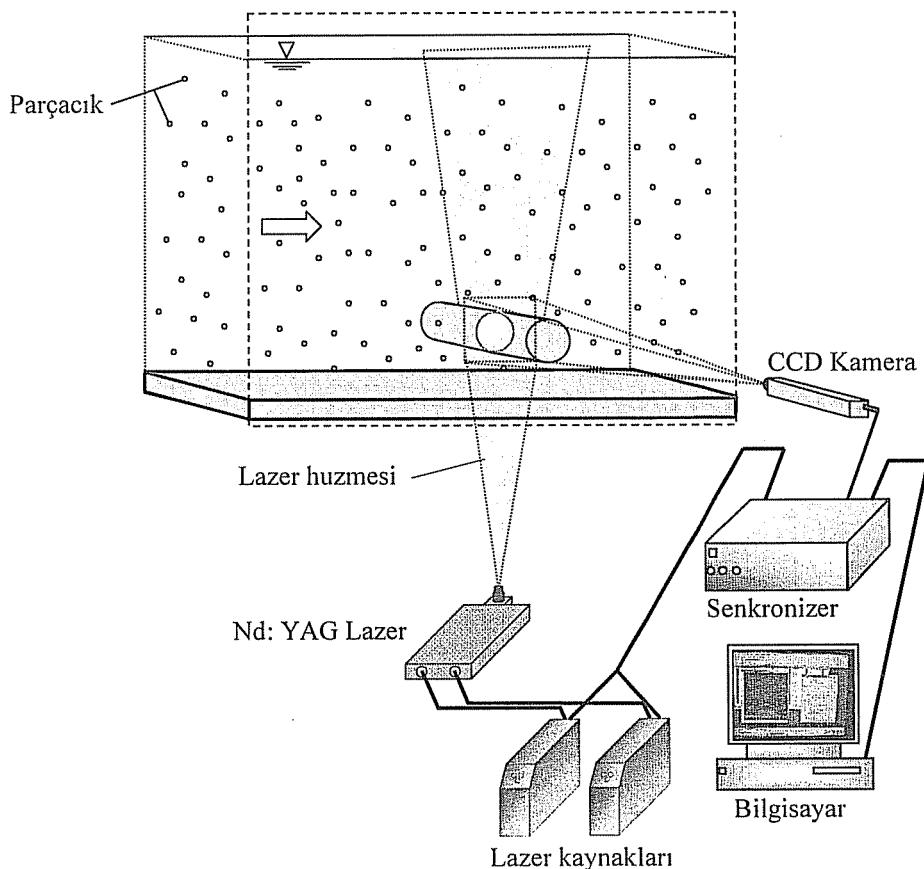
Deneyler, su derinliği $h=320\text{mm}$ 'de sabit tutularak iki farklı akım koşulunda yapılmıştır. Deneylerin her birisi için kanalda ölçülen serbest akım hızları $u_0=87\text{mm/s}$ ve 197mm/s , ve hesaplanan Reynolds sayıları $Re_D(=u_0 D/\nu)=4150$ ve 9500 şeklindedir. Akımda hız ölçümleri, Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü-Particle Image Velocimetry (PIV) teknigi kullanan ölçme sistemi ile yapılmıştır.



Şekil 2. Deney düzeninin şematik görünümü

3.2. PIV Sistemi ile Hız Ölçümü

PIV ölçme tekniği ile çalışan cihazlar, akımı rahatsız etmeden, akım alanındaki düzlemsel bir lazer huzmesi bölgesindeki mikron boyutundaki çok sayıda katı parçacıkların hareketini izleyerek anlık akım hızlarını ölçmekte ve belirli bir zaman aralığındaki ortalama hızları vermektedir. Şekil 3'de görüldüğü gibi ölçüm yapılmak istenen bölgeye lazer demeti gönderilerek bir görüntüleme yüzeyi oluşturulur. Lazer belli aralıklarla ışırır ve iki ışırma arasında CCD kamera parçacıkların hareketi ile ilgili görüntülerini kayıtlıdır. Alınan görüntüler birbirleriyle kros korelasyona sokulur ve elde edilen sinyaller özel yazılımlarla işlenerek akımdaki hız alanı ile ilgili çeşitli bilgilere dönüştürülür. Bu çalışmada hız ölçümü için Dantec PIV ölçüm sistemi ve yazılımı kullanılmıştır. Ölçüm sistemi Şekil 3'de şematik olarak görülmektedir. PIV sisteminin çalışma prensibi ve kullanımına ait daha geniş bilgi Şahin ve ark. [10] tarafından verilmiştir.



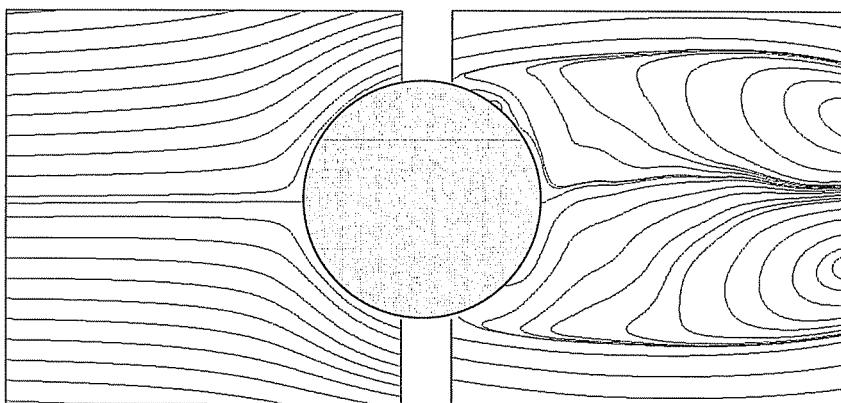
Şekil 3. PIV sisteminin çalışma şeması

4. DENEYSEL VE SAYISAL BULGULAR

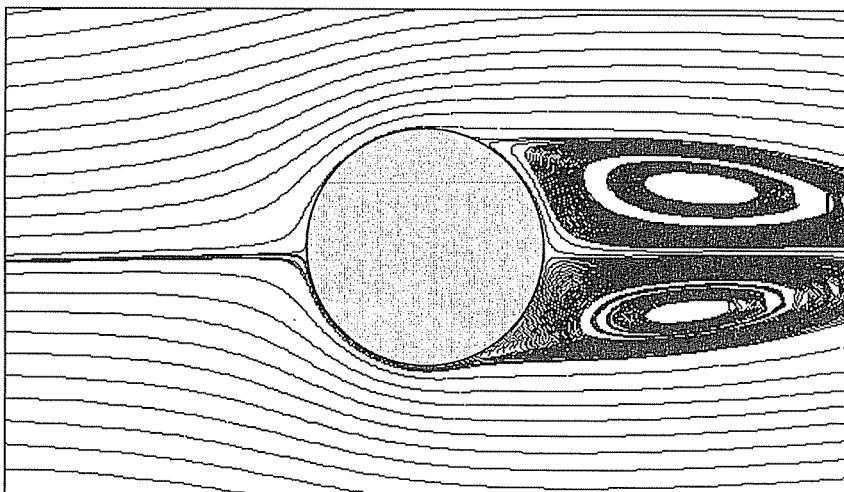
Bu çalışmada, açık kanal akımında, taban etkisinden etkilenmeyecek seviyede yatay olarak akıma dik doğrultuda duran pürüzsüz bir silindirin etrafındaki akımda hız alanı teorik olarak hesaplanmış ve deneysel ölçümlerden elde edilen bulgularla karşılaştırılmıştır.

4.1. Akım Çizgileri

Şekil 4 ve 5'de iki farklı akım koşulu için deneysel ve teorik hız alanlarından elde edilen akım çizgileri verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi, deneysel ve teorik hız bulgularından elde edilen akım çizgileri deseni silindir kesiti düşey ekseninin memba



(a) Deneysel akım çizgileri

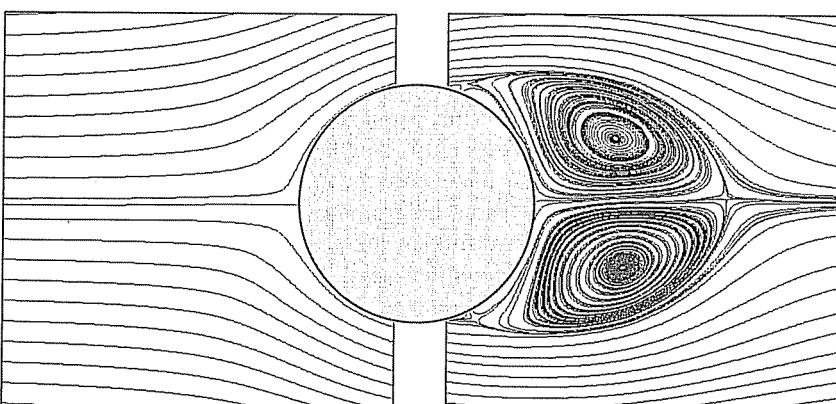


(b) Teorik akım çizgileri

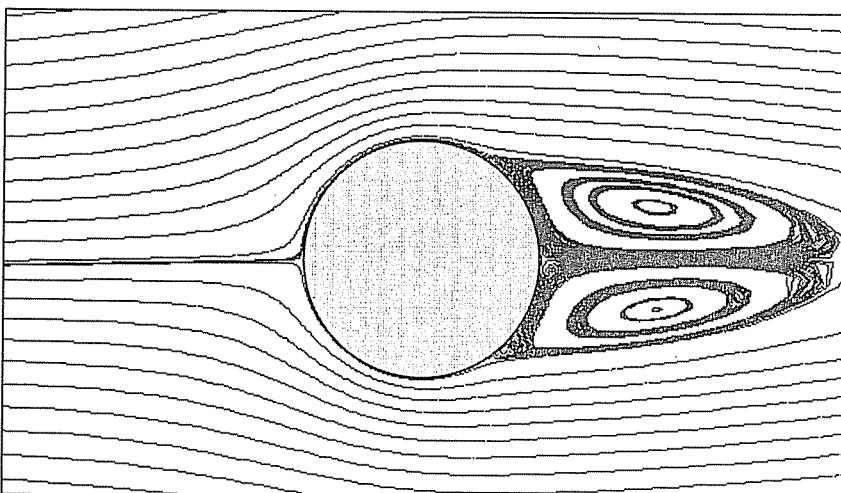
Şekil 4. $Re_D=4150$ için silindir etrafındaki deneysel ve teorik akım çizgileri

**YATAY BİR DAİRESEL SİLİNDİR ETRAFINDAKİ AKIMDA
HİZ ALANININ DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ**

tarafındaki akım bölgesinde birbirleri ile oldukça uyumludur. Silindirin mansap tarafında benzer uyum görülememektedir. Reynolds sayısının artması ile birlikte silindirin mansabındaki ayrılma bölgesinin boyutlarında hem deneysel hem de teorik olarak azalmalar görülsel de, ayrılma bölgesinin deneysel ve teorik bulgularдан elde edilen geometrisi, mevcut deney koşulları itibariyle önemli farklılıklar göstermektedir. Sınır tabakası ayrılma noktaları itibariyle karşılaştırıldığında, teorik bulgularda ayrılmmanın daha mansaba kaydığı görülmektedir. Deneysel ve teorik akım çizgilerinin desenleri, silinder kesitinin yatay eksenine göre simetrik bir yapı göstermektedir. Yani, Şekil 1'de görülen durma noktası açısı $\theta_d=0^\circ$, ve sınır tabakası ayrılma açıları ($\pm\theta_a$) eşit durumda bulunmaktadır. Akım çizgileri desenindeki bu görüntü, mevcut koşullardaki



(a) Deneysel akım çizgileri



(b) Teorik akım çizgileri

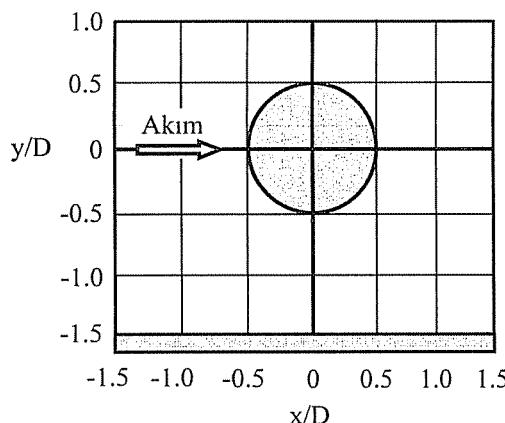
Şekil 5. $Re_D=9500$ için silinder etrafındaki deneysel ve teorik akım çizgileri

silindir etrafındaki akımın, kanal tabanındaki katı sınır etkisindeki sınır tabakası akımından etkilenmediğini ortaya koymaktadır.

4.2. Hız Dağılımları

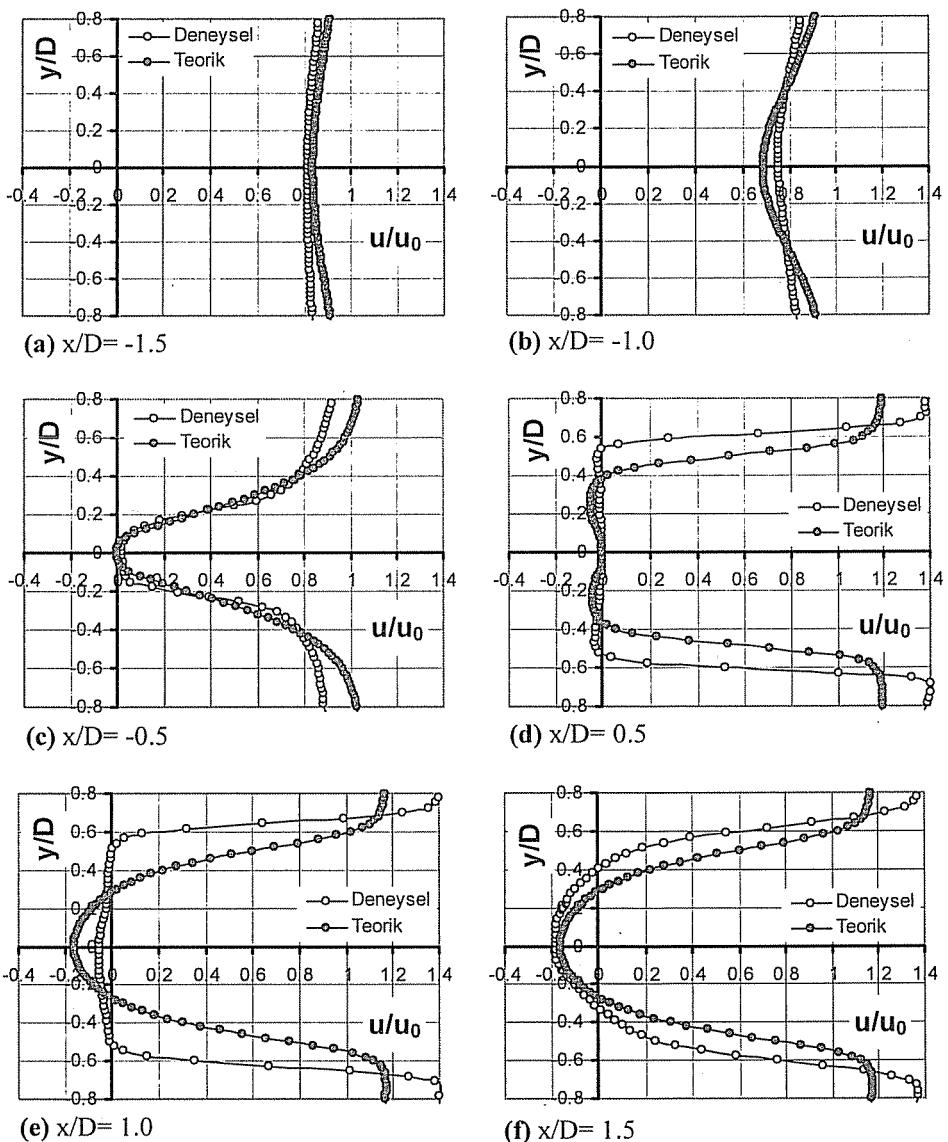
Bu bölümde, yatay silindirin memba ve mansabındaki çeşitli kesitlerde akımın deneysel ve teorik yatay ve düşey hız bileşenlerinin düşey dağılımları ile yatay hız bileşeninin silindir merkezinden geçen yatay eksen üzerindeki değişimleri verilmiştir. Hızlar serbest akım hızı u_0 ile boyutsuzlaştırılmıştır. Hızların düşey dağılımları Şekil 6'da görülen $x/D = \pm(0.5, 1.0, 1.5)$ kesitlerinde verilmiştir.

Şekil 7-10'da, iki ayrı deney koşulunda, $Re_D=4150$ ve 9500 , yatay ve düşey boyutsuz hız profilleri, u/u_0 ve v/v_0 , görülmektedir. Şekil 7-10'un incelenmesinden hız profillerinin genelde x eksenine göre simetrik olduğu görülmektedir. Şekil 7c ve 9c'de, Şekil 1'de tanımlanan yavaşlama bölgesinin sonundaki $x/D=-0.5$ kesitlerinde yatay hızın sıfırlandığı durma noktası x simetri eksenin üzerinde meydana gelmektedir. Hız alanında gözlenen simetrik oluşumlar, mevcut $G/D=2$ koşulundaki akımlarda silindir etrafındaki akımın tabandaki katı sınır etkisinden soyutlanmış olduğuna işaret etmektedir. Deneysel ve teorik bulguların karşılaştırılmasından, silindirin memba tarafındaki teorik hız profillerinin deneylerle daha uyumlu olduğu görülmektedir. Silindirin mansap tarafında, yani ayrılma bölgesinde, deneysel ve teorik akım çizgileri deseninde Şekil 4 ve 5'de görülen farklılıklar, hız profillerine de aynen yansımaktadır. Bununla birlikte, teorik modelden elde edilen Şekil 7-10'da verilen hızların, deneylerle karşılaştırıldığında, ayrılma bölgesinde de yer, yer gerçekçi olabileceği söylenebilir. Şekil 7-10'daki iki farklı Reynolds sayısı koşullarındaki hız profillerinin karşılaştırılmasından yüksek Reynolds sayılarındaki ($Re_D=9500$) teorik hız bulgularının deneylerle daha iyi uyum sağladığı anlaşılmaktadır. Bu sonuç, uygulanan türbülans modelinin, türbülans şiddetinin artmasıyla daha başarılı olduğu anlamına gelmektedir.

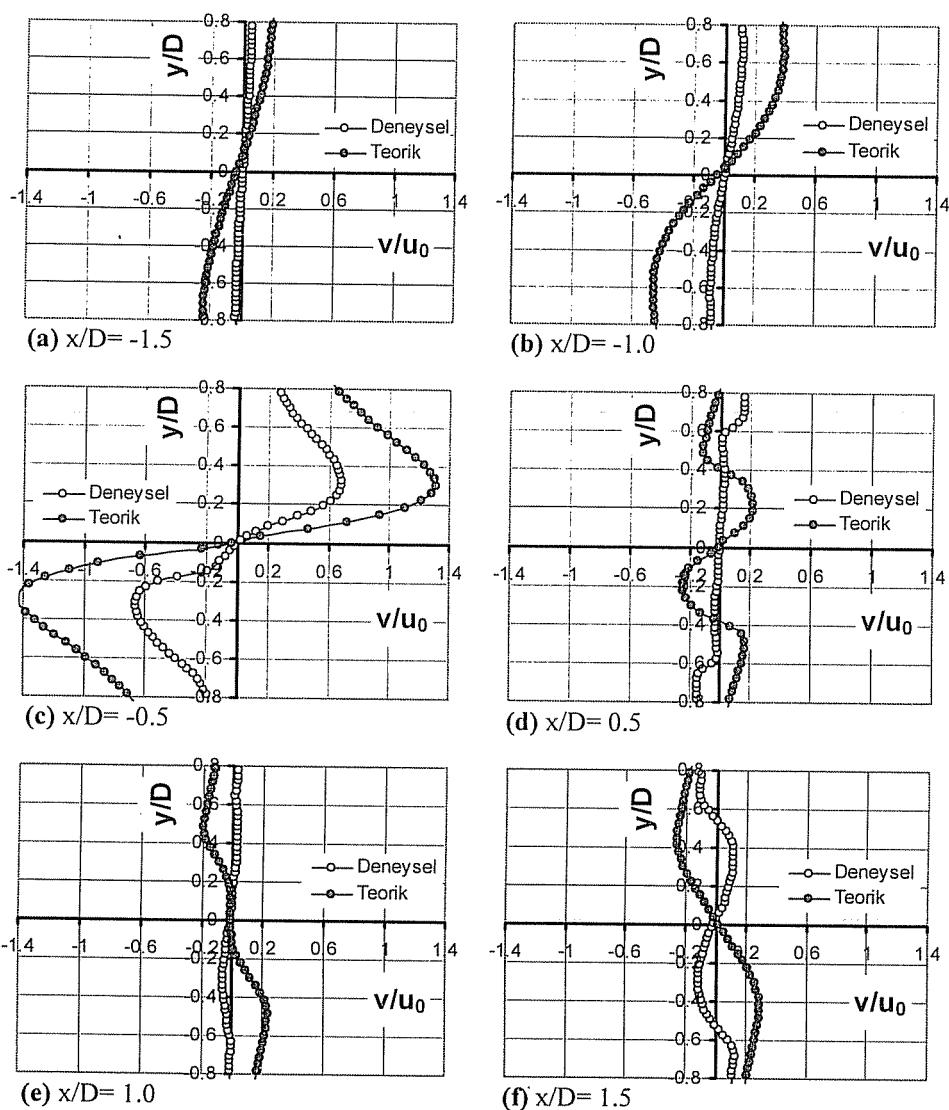


Şekil 6. Silindirin memba ve mansabında hız dağılımlarının verildiği kesitler

YATAY BİR DAİRESEL SİLİNDİR ETRAFINDAKI AKIMDA
HİZ ALANININ DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ

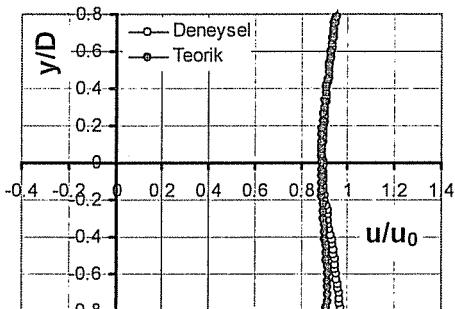


Şekil 7. $Re_D=4150$ için silindir memba ve mansabındaki farklı kesitlerde deneyssel ve teorik yatay hız dağılımları

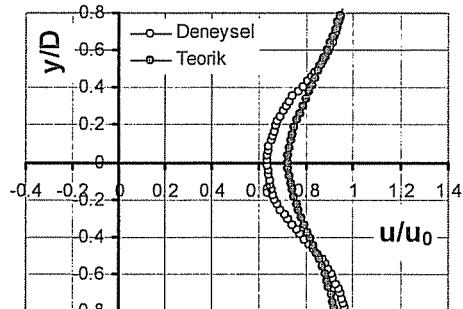


Şekil 8. $Re_D=4150$ için silindir memba ve mansabındaki farklı kesitlerde deneysel ve teorik düşey hız dağılımları

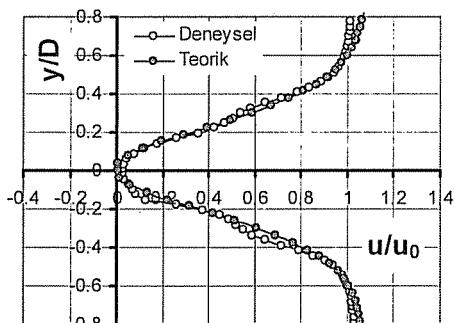
YATAY BİR DAİRESEL SİLİNDİR ETRAFINDAKİ AKIMDA
HİZ ALANININ DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ



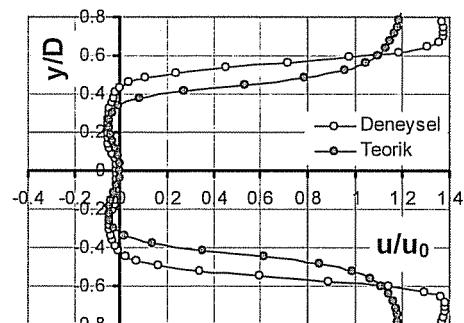
(a) $x/D = -1.5$



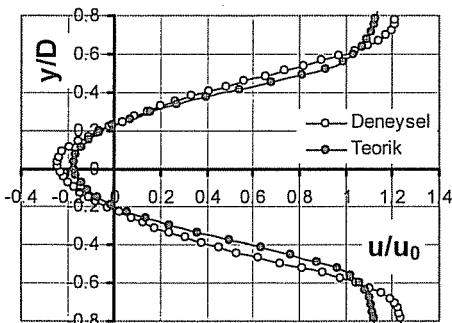
(b) $x/D = -1.0$



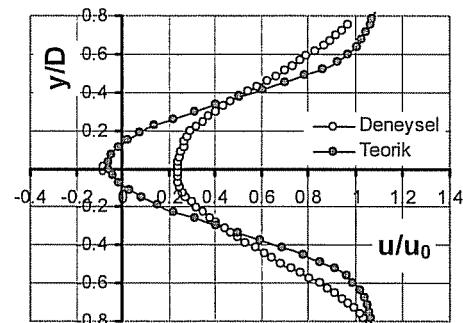
(c) $x/D = -0.5$



(d) $x/D = 0.5$

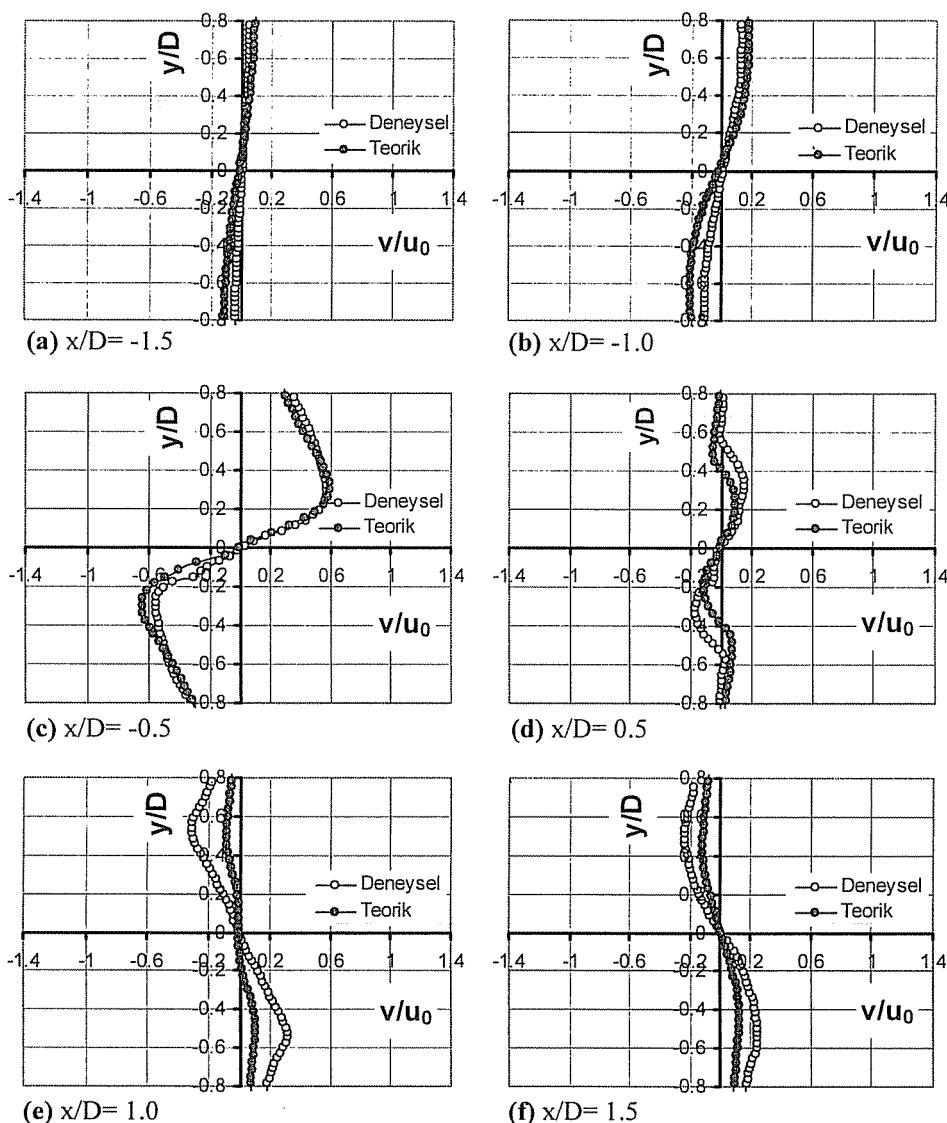


(e) $x/D = 1.0$



(f) $x/D = 1.5$

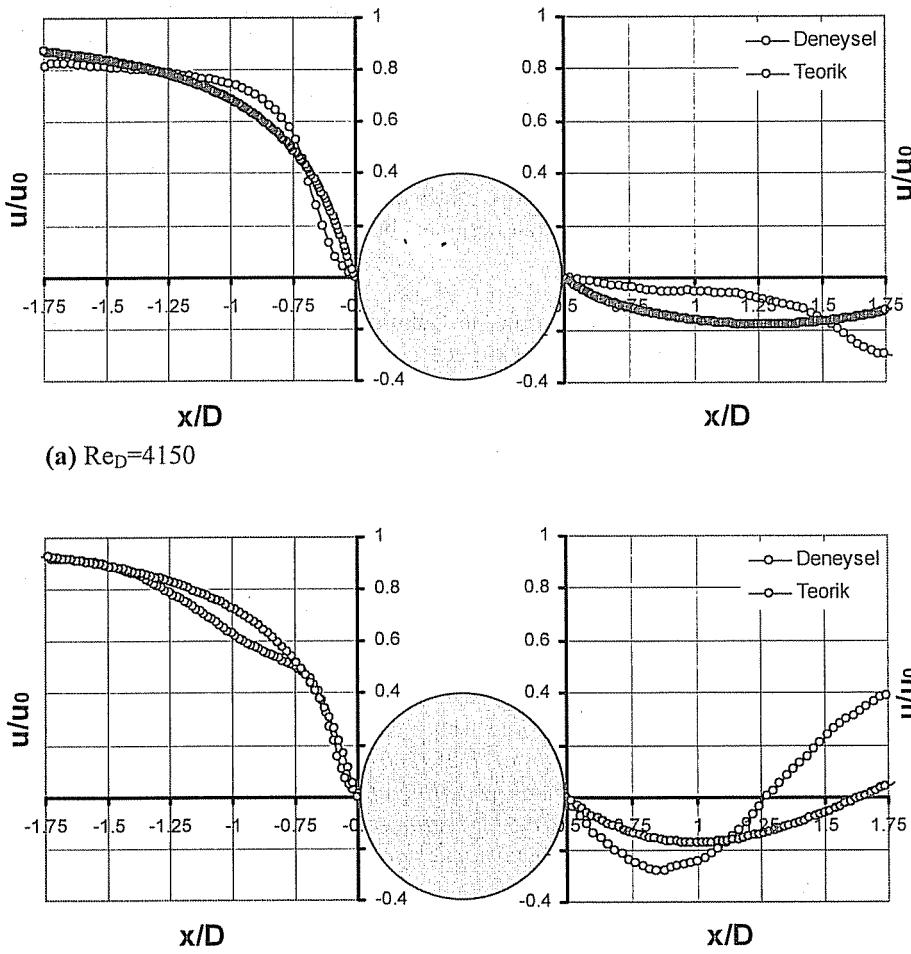
Şekil 9. $Re_D=9500$ için silindir memba ve mansabındaki farklı kesitlerde deneysel ve teorik yatay hız dağılımları



Şekil 10. $Re_D=9500$ için silindir memba ve mansabındaki farklı kesitlerde deneySEL ve teorik düşey hız dağılımları

**YATAY BİR DAİRESEL SİLİNDİR ETRAFINDAKİ AKIMDA
HİZ ALANININ DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ**

Şekil 11'de, silindir merkezinden geçen yatay eksen boyunca her iki akım durumu için, hızın yatay bileşeninin değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, silindir membاسındaki teorik hız dağılımları, mansap tarafındakilerle kıyaslandığında, her iki Reynolds sayısında da deneylerle daha uyumlu olduğu görülmektedir. Şekil 11'deki bulgularda da teorik modelin, yüksek Reynolds sayılarındaki akım koşulunda, silindir membası itibariyle daha başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 11. x ekseni üzerinde yatay hız bileşeninin değişimi

5. SONUÇLAR

Açık kanal akımı içeresine, tabandan itibaren açıklık/çap oranı $G/D=2$ olacak şekilde yatay olarak yerleştirilen dairesel pürüzsüz bir silindir etrafındaki akım hızları iki farklı koşulda, $Re_D=4150$ ve 9500 , PIV ölçme tekniği ile deneysel olarak ölçülmüş, ve aynı koşullardaki teorik akım hızları hesaplanmıştır. Teorik modelden ANSYS paket programı ile hesaplanan ve ölçülen hızlardan elde edilen akım çizgileri ve hız dağılımlarının karşılaştırmasından; hesaplanan hızların silindirin memba tarafında deneysel verilerle uyumlu olduğu görülmüştür. Bu uyumun, iki akımdan Reynolds sayısı büyük olanında daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Silindirin mansabında ise hız alanındaki teorik ve deneysel verilerin uyumu, memba tarafına kıyasla daha zayıftır. Hız alanlarının, silindirin merkezinden geçen yatay eksene göre simetrik oluşumlar göstermesi, silindir ile etkileşim durumundaki akım bölgesinin, mevcut koşullarda, kanal tabanındaki sınır tabakası akımdan etkilenmediğini göstermektedir. Bu çalışmada teorik ve deneysel hız bulgularının karşılaştırmasından, uygulanan CFD benzeşimi ile batmış yatay bir silindirin, etrafındaki akımla etkileşim bölgesindeki hız alanının belirli ölçülerde başarılı olarak hesaplanabileceği sonucuna varılmıştır.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma MMF2004D4 nolu proje ile Çukurova Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir, teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

1. Bearman,P.W., Zdravkovich,M.M., "Flow around a circular cylinder near a plane boundary", *Journal of Fluid Mechanics*, 89, 33-47, 1978.
2. Zdravkovich,M.M., "Forces on a circular cylinder near a plane wall", *Applied Ocean Research*, 7, 197-201, 1985.
3. Choi,J.H., Lee,S.J., "Ground effect of flow around an elliptic cylinder in a turbulent boundary layer", *Journal of Fluids and Structures*, 14, 697-709, 2000.
- 4.. Price,S.J., Sumner,D., Smith,J.G., Leong,K., Paidoussis,M.P., "Flow visualization around a circular cylinder near to a plane wall", *Journal of Fluids and Structures*, 16, 175-191, 2002.
5. Zovatto,L., Pedrizzetti,G., "Flow about a circular cylinder between parallel walls", *Journal of Fluid Mechanics*, 440, 1-25, 2001.
6. Liang,D., Cheng,L., "Numerical modelling of flow and scour below a pipeline in currents Part I. Flow simulation", *Coastal Engineering*, 52, 25-42, 2005.
7. Sümer,B.M., Fredsoe,J "Hydrodynamics around Cylindrical Structures", World Scientific, Singapore, 1997.
8. Zdravkovich,M.M., "Flow Around Circular Cylinders, Vol. 1: Fundamentals", Oxford University Pres Inc., New York, 1997.
9. Launder,B.E., Spalding,D.B. "The numerical computation of turbulent flows", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3, 269-289, 1974.
10. Şahin,B., Akıllı,H. Öztürk,N.A., Karakuş,C., Kahraman,A., Akar,A., Yanıktepe,B., Özalp,C., Gürlek,C., "Açıksınlar mekaniği uygulamalarında parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniği (PIV)", Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Özel Sayı, 18, 103-111, 2003.

TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ 98'DE ÖNERİLEN YATAY ÖTELEME KOŞULLARININ İRDELENMESİ

Cengiz DÜNDAR, İ. Fatih KARA ve Berkay DİLMAÇ
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Bu çalışmada, Türk Deprem Yönetmeliği (TDY98)'de önerilen yatay öteleme koşulları irdelenmiş ve bu amaçla değişik yapı modelleri oluşturularak, yatay ve düşey yükler etkisi altında bu yapı sistemlerinde meydana gelen kat deplasmanları ve kesit tesiri değerleri gerek lineer analizle gerekse kırış ve kolonlarda oluşabilecek çatlamalar gözönünde bulundurularak yapuların üç boyutlu analizi için daha önceden geliştirilen program aracılığı ile elde edilmiştir. Oluşturulan yapı modellerinde katlar için rıjît diyagram kabiliyeti yapılmış ve analizler sonucu elde edilen değerlere bağlı olarak her bir sistem için TDY98'de belirtilen ikinci mertebe etkisi ve görelî kat ötelemesi kontrolleri yapılmıştır. Betonarme çerçeveler analiz edilirken kırışlar üzerindeki düşey yükler sabit kalırken yapının kat seviyelerindeki master noktalarına etki eden yatay yükler belirli oranlarda (%10'dan %40'a kadar) artırılarak, çatlamaların göz önünde bulundurulması ve bulundurulmaması halleri için maksimum rölatif yatay ötelemelerin uygulanan yatay yüklerle göre değişimi incelenmiş ve TDY98'de belirtilen sınır değerlerin aşıp aşulmadığı kontrol edilmiştir. Çatlamaların etkisi göz önünde bulundurularak elde edilen maksimum görelî kat ötelemelerinin yatay yük seviyesinin artmasına bağlı olarak lineer analize göre büyük değişimler gösterdiği ve TDY98'de belirtilen sınır değerleri aştığı görülmüştür.

A STUDY ON THE LIMITATION OF STORY DRIFTS USED IN TURKISH EARTHQUAKE CODE 98

ABSTRACT : In this paper a study on the limitation of story drifts used in Turkish Earthquake Code (TDY98) has been carried out and for this purpose different structural models subjected to lateral and vertical loads are analyzed by the linear elastic model. These reinforced concrete structures have also been analyzed by means

of the developed computer program, considering the beams and columns in cracked and uncracked states. Rigid diaphragm model is used for the three dimensional analysis and the control of second order effects and of relative story drift stated in TDY98 have been performed using the displacements obtained from the results of the linear and nonlinear analyses. In the analysis, the lateral loads acting at master points are increased at the ratio varied from 10% to 40% while the intensity of uniform loads on the beam elements remain constant and the variation of relative story drifts with respect to lateral applied loads have been observed. It is seen that the differences between the relative lateral displacements obtained from the results of the linear and nonlinear analysis, when cracking is considered and not considered in members, display large variations with the increase in the lateral load level and the relative lateral drift obtained from the nonlinear analysis does not satisfy the maximum relative lateral displacement requirements for frames in TDY98.

1. GİRİŞ

Betonarme yapı sistemleri düşey yüklerle birlikte yatay yükleri de güvenilir bir şekilde taşıması gereklidir. Bina türünden betonarme yapılarında sabit yükler sınıfından sayılan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların ağırlıkları ile hareketli yükler düşey yükleri oluştururlar. Deprem ve rüzgar etkileri de en önemli yatay yükleri meydana getirirler. Yatay ve düşey yük etkisi altındaki betonarme yapılarının projelendirilmesinde kesit hesaplarında beton ve çeliğin elastik ötesi davranışlarının göz önüne alınmasına karşın, yapısal analizde lineer elastik hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak betonarme elemanların doğrusal olmayan davranışlarının, özellikle çatlamaadan sonra eğilme ve kayma rijitliklerinde oluşacak azalmaların göz önüne alınması, hem yapıda oluşacak iç kuvvet dağılımını hem de yer değiştirme değerlerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Rijitlikteki azalmaların çatlamaların ilerlemesine bağlı olarak arttığı da düşünülürse, betonarme bir elemanda çatlamaadan sonraki durum büyük bir öneme sahip olabilmektedir.

Betonarme yapıların projelendirilmesindeki temel amaç, yapıya etkiyen yükler neticesinde kesitte oluşan zorlamların güvenli bir şekilde karşılanmasıyla birlikte, kullanım yükleri altında elemanların fonksyonlarını yerine getirebilmesi için şekil değiştirme ve dolayısıyla yer değiştirmelerin küçük kalması ve belli değerleri aşmamasıdır. Bu amaçla düşey yükler etkisi altında bulunan kirişlerde oluşan çökmelerin gerçeğe daha yakın olarak hesaplanabilmesi için çatlamaadan sonra bu elemanların eğilme ve kayma rijitliklerinde oluşan değişimler önemli olmaktadır. Yapılar düşey yükler yanında deprem ve rüzgar etkisi nedeniyle oluşan yatay yüklerde maruzdurlar. Bu yüklerden dolayı gerek yapıda meydana gelen yatay yer değiştirmelerin, gerekse ikinci mertebe momentlerinin hesaplanması kolonlarda çatlamaadan sonra oluşacak etkili eğilme ve kayma rijitlikleri de önem kazanmaktadır. Bu değerleri uygun yöntemlerle göz önüne alarak yapılan analizler, çatlamayı göz önünde bulundurmadan geliştirilen lineer analiz yöntemlerine göre daha gerçekçi sonuçlar ortaya çıkarabilir.

Yatay ve düşey yüklerden dolayı betonarme elemanlarda oluşan çatlamlar göz önünde bulundurularak, betonarme çerçeve sistemlerinin yapısal analizine yönelik çalışmalar literatürde mevcuttur. Kara, Dündar ve diğ., kiriş ve kolon elemanlardaki

çatlamaları göz önünde bulundurarak, taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan betonarme yapıların rıjıt diyafra姆 modeli ile üç boyutlu analizi için bu çalışmada da kullanılan bir bilgisayar programı geliştirmișlerdir (1). Yapıya etkiyen yüklerden dolayı elemanların çatlaması halinde, etkili atalet momentlerinin hesabında ACI (2) ve CEB (3) modellerini kullanmışlardır. Analizde ayrıca kayma deformasyonlarının etkisini de göz önünde bulundurarak etkili kayma modüllerinin hesabında literatürde mevcut olan değişik yöntemleri kullanmışlardır. Chun-Man, Mickleborough et. al., yatay yükler etkisi altındaki betonarme yapılarında çatlamaların etkisini olasılığa dayalı etkili rıjıtlik modeli aracılığı ile göz önünde bulundurarak iteratif yöntemlere dayalı iki farklı analiz algoritması geliştirmișlerdir (4). Çalışmalarında yatay ve eksenel yükler etkisi altındaki iki katlı betonarme bir çerçeveyi de deneysel olarak yüklemeye tabi tutup, geliştirdikleri analiz yöntemlerinden elde ettikleri sonuçlarla deneysel sonuçları karşılaştırmışlar ve özellikle yüklerin servis yüklerini aşmadığı (yapı taşıma gücü yükünün yaklaşık olarak %70 olduğu seviye) durumlarda uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir. Tezcan, Akbaş et. al., yatay ve düşey yük etkisi altındaki betonarme yapılarında oluşan hasarların kontrolünü incelemeye yönelik olarak bir çalışma geliştirmișlerdir (5). Çalışmalarında betonarme sistemlerde oluşan kat ötelemelerine bağlı olarak çeşitli ülkelerin deprem yönetmeliklerindeki görelî kat deplasmanlarına göre hasar kontrolünü yapmışlardır. Taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarları kontrol etmeye yönelik olarak da hasar kontrol indeksi ve deplasman kriteri değerlerini elde etmişlerdir.

2. TDY 98'DE BELİRTİLEN KONTROLLER

2.1. Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirmeye farkını ifade eden görelî kat ötelemesi Δ_i , (1) denklemindeki gibi elde edilmektedir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (1)$$

Bu denklemde d_i ve d_{i-1} , binanın i 'inci ve $(i-1)$ 'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında hesapla elde edilen yatay yer değiştirmeleri göstermektedir.

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i 'inci katındaki kolon veya perdede, (1) denklemi ile hesaplanan görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $(\Delta_i)_{max}$, (2a) ve (2b) denklemelerinde verilen koşulların en elverişsiz olanının sağlanmalıdır (6).

$$(\Delta_i)_{max} / h_i \leq 0.0035 \quad (2a)$$

$$(\Delta_i)_{max} / h_i \leq 0.02 / R \quad (2b)$$

(2a) ve (2b) denklemelerindeki h_i kat yüksekliğini, R ise taşıyıcı sistem davranış katsayısını ifade etmekte olup bu denklemelerde verilen koşulların en elverişsiz olanının binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rıjitliği arttırılarak hesaplar tekrarlanmalıdır.

2.2. İkinci Mertebe Etkilerinin Kontrolü

Taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal elastik olmayan davranışını esas alan daha kesin bir hesap yapılmadıkça, ikinci mertebe etkileri aşağıda belirtilen şartla göre göz önüne alınabilir.

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{\text{ort}} \sum_{j=1}^N W_j}{V_i h_i} \quad (3)$$

$$\theta_i \leq 0.12 \quad (4)$$

Burada,

V_i : i 'inci kattaki kesme kuvvetini,

h_i : i 'inci kattaki kat yüksekliğini,

$\sum_{j=1}^N W_j$: i 'inci katın üstündeki kat ağırlıkları toplamını göstermektedir.

(3) denklemindeki $(\Delta_i)_{\text{ort}}$ ise, i 'inci kattaki kolon ve perdelerde hesaplanan göreli kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değerini ifade etmekte olup (5) denklemi yardımıyla

$$(\Delta_i)_{\text{ort}} = ((\Delta_i)_{\max} + (\Delta_i)_{\min}) / 2 \quad (5)$$

şeklinde elde edilmektedir. Göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta, ikinci mertebe gösterge değeri, θ_i 'nin (4) denklemi ile verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertebe etkileri, yürürlükteki betonarme ve çelik yapı yönetmeliklerine göre değerlendirilecektir. İkinci mertebe değeri θ_i 'nin herhangi bir katta 0.12'den büyük olması durumunda taşıyıcı sistem rıjitliği yeterli ölçüde arttırılarak hesaplar tekrarlanmalıdır.

3. ÇATLAMALAR GÖZ ÖNÜNDE BULUNDURULARAK GELİŞTİRİLEN YÖNTEM VE BU YÖNTEMDE KULLANILAN MODELLER

Bu çalışma kapsamı içerisinde oluşturulan çok katlı yapı modelleri daha önce de belirtildiği gibi, kiriş ve kolon elemanlardaki çatlamalar göz önünde bulundurularak taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan betonarme yapıların üç boyutlu analiz için Kara ve arkadaşları tarafından geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile çözümlenmiştir. Lineer olmayan analiz yöntemine dayalı olarak geliştirilen bu çalışmada yapıya etkiyen yatay ve düşey yüklerden dolayı elemanların çatlaması halinde etkili atalet momenti ve etkili kayma modülünlü değerleri değişik modeller aracılığı ile göz önünde bulundurulmuştur. Deprem ve rüzgar etkisi nedeniyle oluşan yatay yüklerle birlikte düşey yüklerle maruz kiriş ve kolon elemanların çatlaması halinde çatlayan elemanlardaki etkili atalet momentleri, ACI, CEB ve olasılığa dayalı etkili rıjitlik modelleri aracılığı ile göz önünde bulundurularak analize dahil edilmişlerdir.

ACI Modeli:

$$I_{\text{eff}} = \left(\frac{M_{\text{cr}}}{M} \right)^m I_1 + \left[1 - \left(\frac{M_{\text{cr}}}{M} \right)^m \right] I_2, \quad M \geq M_{\text{cr}} \quad (6a)$$

$$I_{\text{eff}} = I_1, \quad M < M_{\text{cr}} \quad (6b)$$

CEB Modeli:

$$I_{\text{eff}} = \left[\beta_1 \beta_2 \left(\frac{M_{\text{cr}}}{M} \right)^2 \frac{1}{I_1} + \left(1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{M_{\text{cr}}}{M} \right)^2 \right) \frac{1}{I_2} \right]^{-1}, \quad M \geq M_{\text{cr}} \quad (7a)$$

$$I_{\text{eff}} = I_1, \quad M < M_{\text{cr}} \quad (7b)$$

Bu denklemlerde geçen I_1 ve I_2 kesitin sırasıyla çatlamalardan önceki ve sonraki atalet momenti değerleridir.

Olasılığa Dayalı Etkili Rijitlik Modeli:

Bu modelde yapıya etkiyen yüklerden dolayı çatlayan kiriş ve kolon elemanlarındaki etkili atalet momenti değerleri bu elemanlarda oluşan moment diyagramındaki çatlayan ve çatlamayan bölge alanlarının, toplam alana oranına bağlı olacak şekilde (Şekil 1) elde edilmektedirler. Literatürde olasılığa dayalı etkili rijitlik şeklinde de belirtilen bu yöntemde etkili atalet momentleri (8) denklemlerindeki gibi elde edilmektedir.

$$A_{\text{uncr}} = A_1 + A_2 = \int_{M(x) < M_{\text{cr}}} M(x) \quad (8a)$$

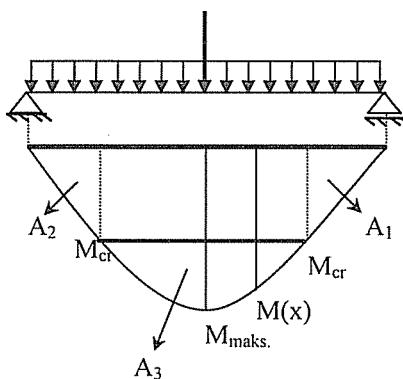
$$A_{\text{cr}} = A_3 = \int_{M(x) \geq M_{\text{cr}}} M(x) \quad (8b)$$

$$A = A_{\text{cr}} + A_{\text{uncr}} \quad (8c)$$

$$P_{\text{uncr}} [M(x) < M_{\text{cr}}] = \frac{A_{\text{uncr}}}{A} \quad (8d)$$

$$P_{\text{cr}} [M(x) \geq M_{\text{cr}}] = \frac{A_{\text{cr}}}{A} \quad (8e)$$

$$I_{\text{eff}} = P_{\text{uncr}} I_1 + P_{\text{cr}} I_2 \quad (8f)$$



Şekil 1. Yükler etkisi altındaki basit mesnetli bir kirişte eğilme momentinden dolayı oluşan çatlayan ve çatlamayan bölgeler

Bu denklemlerdeki P_{uncr} bir kiriş veya kolon elemanında oluşan moment dağılımına bağlı olarak M momentinin M_{cr} momentinden küçük olma olasılığını, P_{cr} ise M momentinin M_{cr} momentini aşma olasılığını yani kesitin çatlama olasılığını ifade etmektedir. (6), (7) ve (8) eşitliklerindeki M , ilgili kesitteki eğilme momentini M_{cr} ise çatlama anındaki eğilme momentini ifade etmekte olup, kirişlerde,

$$M_{cr} = \frac{f_r I_l}{y_t} \quad (9)$$

şeklinde, kolonlarda ise her iterasyon sonucunda elde edilen eksenel yük düzeyine bağlı olarak değişen formda

$$M_{cr} = \frac{(f_r + \sigma_v) I_l}{y_t} \quad (10)$$

ifadesindeki gibi hesaplanmaktadır. (9) ve (10) denklemlerindeki f_r , betonun eğilmektedeki çekme dayanımını, y_t kesitin en alt çekme yüzünden ağırlık merkezine olan uzaklığını, σ_v ise eksenel basınç gerilmesini ifade eden değerlerdir.

Elemanların en alt yüzünde oluşan çekme şekil değiştirmesi değerinin çatlama anındaki çekme şekil değiştirmesi değerini aşması halinde, etkili kayma modülleri literatürde mevcut olan (7, 8, 9) ve aşağıdaki denklemlerde görülen çeşitli modeller aracılığı ile analize dahil edilmişlerdir.

Al-Mahaidi Modeli:

$$\bar{G}_c = \frac{0.4 G_c}{\varepsilon_l / \varepsilon_{cr}}, \quad \varepsilon_l \geq \varepsilon_{cr} \quad (11a)$$

$$\bar{G}_c = G_c, \quad \varepsilon_l < \varepsilon_{cr} \quad (11b)$$

Yüzüğüllü ve Scobritch Modeli:

$$\bar{G}_c = 0.25 G_c, \quad \varepsilon_l \geq \varepsilon_{cr} \quad (12)$$

Cedolin ve Dei Poli Modeli:

$$\bar{G}_c = 0.24 G_c (1 - 250 \varepsilon_l), \quad \varepsilon_l \geq \varepsilon_{cr} \quad (13)$$

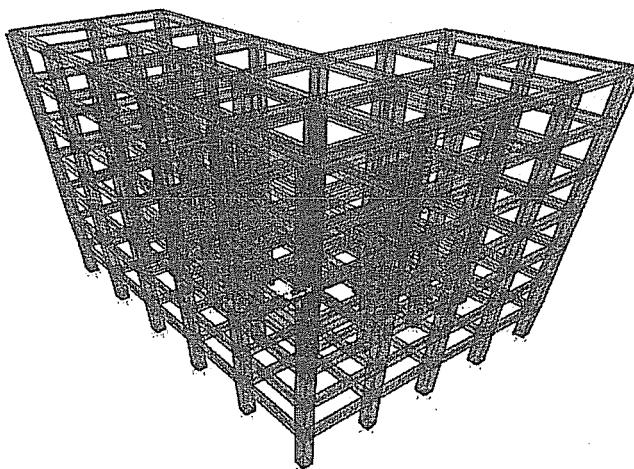
Bu denklemlerdeki G_c betonun elastik kayma modülünü, ϵ_1 ilgi kesitteki çekme şekil değiştirmesini, ϵ_{cr} ise çatlama anındaki çekme şekil değiştirmesini ifade etmektedirler.

4. SAYISAL UYGULAMALAR

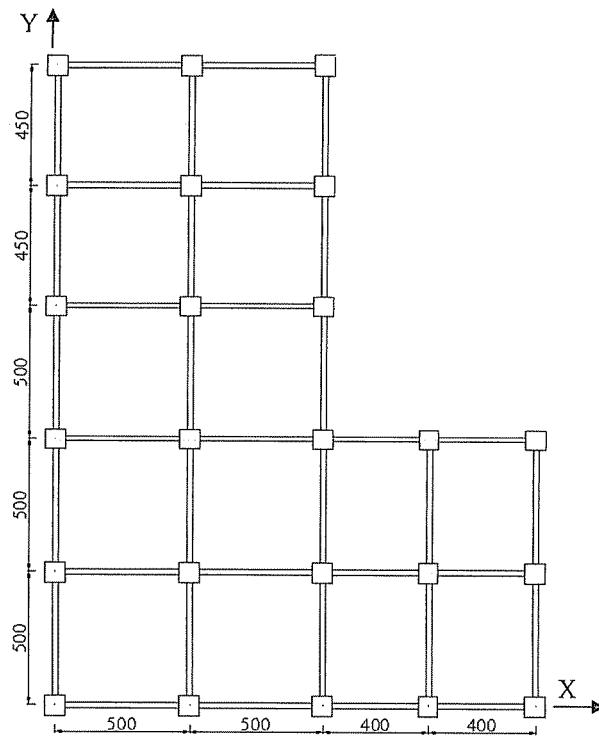
Bu çalışma kapsamında değişik boyut ve ölçülerle farklı katlara sahip bir çok betonarme yapı analiz edilmiş fakat sınırlama nedeniyle bu makalede sadece iki örneğe yer verilmiştir.

4.1. Örnek 1

Bu örnekte, Şekil 2'de görülen simetrik olmayan 7 katlı betonarme çerçeve modeli, yatay ve düşey yükler etkisi altında gerek lineer gerekse kırış ve kolonlardaki çatlamlar göz önünde bulundurularak çözülmüştür. Yapıya ait kırış ve kolon elemanlarının boyutları, kat yükseklikleri ve her katta master noktalarına etkiyen yatay yükler Çizelge 1'de verilmiştir. Yapı sistemi, kırış elemanlar üzerindeki düşey yükler sabit kalırken her kattaki master noktalarına etki eden yatay yükler sırasıyla %10, %20, %30 ve %40 oranında artırılarak analiz edilmiş ve her bir yük adımı için elde edilen deplasman değerlerine bağlı olarak TDY 98'de belirtilen ilgili kontroller yapılmıştır. Bu örnekte, etkili atalet momentlerinin hesabında ACI modeline ek olarak olasılığa dayalı etkili rijitlik yöntemi, etkili kayma modüllerinin hesabında ise Al-Mahaidi'nin önermiş olduğu yöntem kullanılarak çözümlemeler yapılmış ve elde edilen deplasman değerlerine bağlı olarak $(\Delta_i)_{max}/h_i$ ve θ_i 'nin farklı modellere göre karşılaştırmaları Çizelge 2 ve Çizelge 3'de verilmiştir. Ayrıca $(\Delta_i)_{max}/h_i$ 'nin master noktalarına uygulanan yatay yüklerde göre değişimi ise Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 7 Katlı betonarme çerçeve örneği



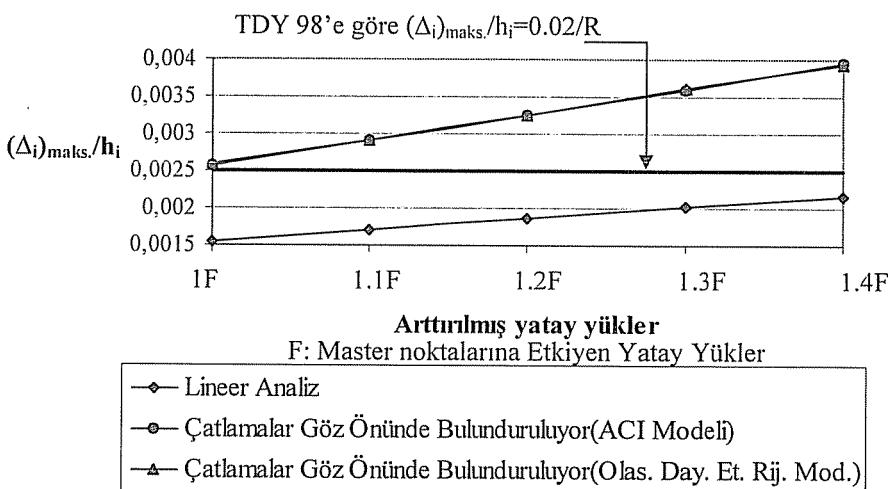
Şekil 3. 7. Kat kolon yerleşim planı (cm)

Çizelge 1. Betonarme çerçeve örneğine ait bilgiler

	Kolon boyutları (mm*mm)	Kiriş boyutları (mm*mm)	Kat Yükseklikleri (mm)	Master Noktasına X ekseni doğrultusunda etkiyen yatay yükler (kN)
1. Kat	550*600	350*600	3100	120
2. Kat	550*600	350*600	3100	240
3. Kat	550*600	350*600	3100	360
4. Kat	550*600	350*600	3100	475
5. Kat	550*600	350*600	3100	590
6. Kat	550*600	350*600	3100	710
7. Kat	550*600	350*600	3100	560
R=8 (Sünekliklilik düzeyi yüksek betonarme çerçeve sistemi)				

Çizelge 2. Lineer ve lineer olmayan analizler sonucu elde edilen görelî kat ötelemeleri

Yük Katsayıları	Lineer Analiz $(\Delta_i)_{maks.}/h_i$	Lineer Olmayan Analiz	
		$(\Delta_i)_{maks.}/h_i$ (ACI Modeli)	$(\Delta_i)_{maks.}/h_i$ (Olas. Day. Etk. Rij. Mod.)
1	0.00155	0.00258	0.00257
1.1	0.00170	0.00292	0.00290
1.2	0.00187	0.00326	0.00324
1.3	0.00202	0.00361	0.00359
1.4	0.00216	0.00394	0.00392

**Şekil 4.** $(\Delta_i)_{maks.}/h_i$ 'nin yatay yüklerde değişimi

Şekil 4'den görüldüğü gibi X ekseni doğrultusundaki yatay yüklerden dolayı lineer analiz sonucu elde edilen görelî kat ötelemeleri tüm yatay yük katsayıları (master noktalarına etkiyen 1.0F, 1.1F, 1.2F, 1.3F, 1.4F yatay yükleri) için TDY 98'de belirtilen şartı sağlamasına rağmen, çatlamalar göz önünde bulundurularak elde edilen maksimum rölatif yatay ötelemeler bu şartı sağlamamaktadır.

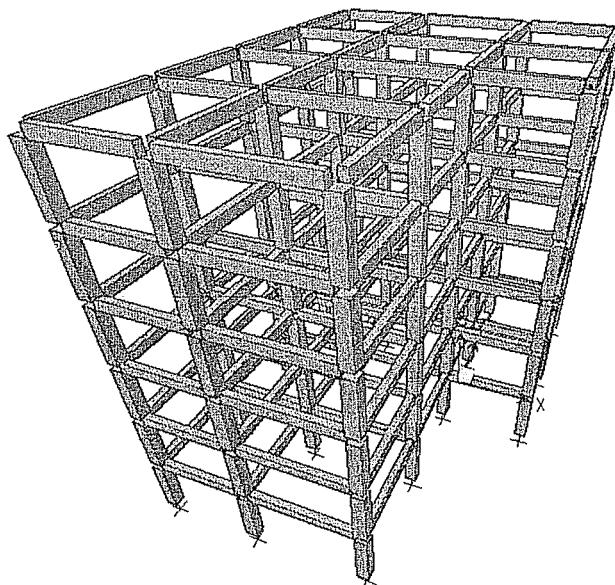
Çizelge 3. Lineer ve lineer olmayan analizler sonucu elde edilen ikinci mertebe gösterge değerleri

Yük Katsayıları	Lineer Analiz θ_i	Lineer Olmayan Analiz	
		θ_i (ACI Modeli)	θ_i (Olas. Day. Etk. Rij. Mod.)
1	0.0112	0.0189	0.0190
1.1	0.0129	0.0214	0.0216
1.2	0.0141	0.024	0.0242
1.3	0.0152	0.0268	0.0269
1.4	0.0163	0.0293	0.0293

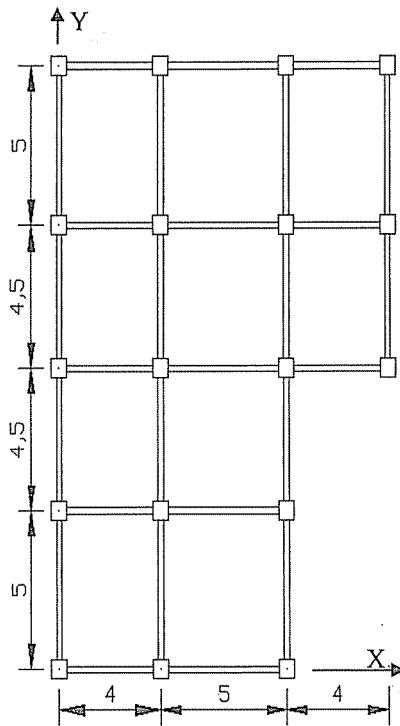
Yapıya uygulanan yatay ve düşey yüklerden dolayı gerek lineer gerekse çatlamaların etkisi göz önünde bulundurularak yapılan analizler sonucu elde edilen ikinci mertebe gösterge değerleri, TDY 98'nin belirttiği şartı, tüm yatay yük katsayıları (master noktalarına etkiyen 1.0F, 1.1F, 1.2F, 1.3F, 1.4F yatay yükleri) için Çizelge 3'den de görüldüğü gibi sağlamaktadır.

4.2. Örnek 2

Bu örnekte ise Şekil 5'de gösterilen 6 katlı betonarme çerçeveye, yatay ve düşey yükler etkisi altında bir önceki örnekte olduğu gibi gerek lineer gerekse kırış ve kolonlardaki çatlamalar göz önünde bulundurularak çözülmüştür. Betonarme çerçeveye sistemi, kırışlar üzerindeki düşey yükler sabit kalırken master noktalarına etki eden yatay yükler, belirli oranda arttırılarak analiz edilmiştir. Çatlamaların etkisini göz önünde bulundurmak için etkili atalet momentlerinin hesabında ACI ve olasılığa dayalı etkili rijitlik modelleri etkili kayma modüllerinin hesabında ise Al-Mahaidi'nin önermiş olduğu yöntemler kullanılarak çözümlemeler yapılmış ve elde edilen deplasman değerlerine bağlı olarak $(\frac{\Delta_i}{h_i})_{\max}$ ve θ_i 'nin karşılaştırımları yapılmıştır.



Şekil 5. 6 Katlı betonarme çerçeveye örneği



Şekil 6. 6. Kat kolon yerleşim planı(m)

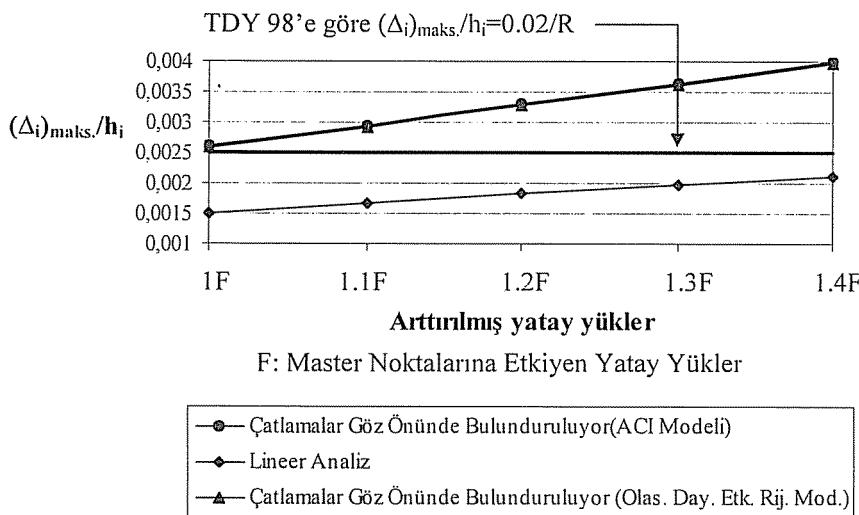
Çizelge 4. Betonarme yapıya ait bilgiler

	Kolon boyutları (mm*mm)	Kiriş boyutları (mm*mm)	Kat yükseklikleri (mm)	Master noktasına X ekseni doğrultusunda etkiyen yatay Yükler (kN)
1. Kat	500*500	300*500	3000	70
2. Kat	500*500	300*500	3000	140
3. Kat	500*500	300*500	3000	210
4. Kat	500*500	300*500	3000	280
5. Kat	500*500	300*500	3000	350
6. Kat	500*500	300*500	3000	280

R=8 (Sünekliklilik düzeyi yüksek betonarme çerçeve sistemi)

Çizelge 5. Lineer ve lineer olmayan analizler sonucu elde edilen rölatif yatay ötelemeler

Yük Katsayıları	Lineer Analiz $(\Delta_i)_{maks.}/h_i$	Lineer Olmayan Analiz	
		$(\Delta_i)_{maks.}/h_i$ (ACI Modeli)	$(\Delta_i)_{maks.}/h_i$ (Olas. Day. Etk. Rij. Mod.)
1	0.00151	0.00261	0.00259
1.1	0.00167	0.00294	0.00292
1.2	0.00182	0.00330	0.00327
1.3	0.00197	0.00365	0.00362
1.4	0.00212	0.004	0.00397

**Şekil 7.** $(\Delta_i)_{maks.}/h_i$ 'nin yatay yüklerde değişimi

Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme çerçevede çatlamaların etkisi göz önünde bulundurularak elde edilen maksimum görelî kat ötelemelerinin yatay yük seviyesinin artmasına bağlı olarak lineer analize göre büyük değişimler gösterdiği ve tüm yatay yük katsayıları için TDY 98'de belirtilen sınır değerleri aştiği Şekil 7'den görülmektedir.

Çizelge 6. Lineer ve lineer olmayan analizler sonucu elde edilen ikinci mertebe göstergeleri

Yük Katsayıları	Lineer Analiz θ_i	Lineer Olmayan Analiz	
		θ_i (ACI Modeli)	θ_i (Olas. Day. Etk. Rij. Mod.)
1	0.0107	0.0176	0.0177
1.1	0.0117	0.02	0.02
1.2	0.0128	0.0224	0.0225
1.3	0.0139	0.0249	0.025
1.4	0.0149	0.0275	0.0275

Çizelge 6'dan görüldüğü gibi yapıya etkiyen yatay ve düşey yüklerden dolayı gerek çatlamaların etkisi göz önünde bulundurularak yapılan analiz gerekse lineer analiz sonucu elde edilen ikinci mertebe göstergeleri, TDY 98'nin belirttiği şartı, tüm yatay yük katsayıları için bir önceki örnekte de olduğu gibi sağlamaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamı içerisinde, değişik boyut ve ölçülerle, farklı katlara sahip bir çok yapı modeli gerek lineer gerekse kırış ve kolonlardaki çatlamalar göz önünde bulundurularak yapıların üç boyutlu analizi için daha önceden geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile çözümlenmiştir. Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme çerçevelerde, çatlamaların etkisi göz önünde bulundurularak elde edilen maksimum görelî kat ötelemelerinin yatay yük seviyesinin artmasına bağlı olarak lineer analize göre büyük değişimler gösterdiği ve TDY 98'de belirtilen sınır değerleri aştığı görülmüştür. Aynı yük seviyesinde lineer analiz sonucu elde edilen maksimum rölatif

yatay ötelemeler TDY 98'de belirtilen sınır değeri ($\frac{(\Delta_i)_{\max}}{h_i} = 0.0025$) aşmazken,

çatlamaların etkisi göz önünde bulundurularak elde edilen maksimum görelî kat ötelemelerinin bu sınır değeri aştığı görülmüştür. Bununla birlikte gerek lineer gerekse çatlamaların etkisi göz önünde bulundurularak elde edilen ikinci mertebe göstergeleri (θ_i) TDY 98'de belirtilen sınır şartı sağlamaktadır. Bu çalışmada aynı zamanda betonarme yapılar analiz edilirken çatlamaların etkisini göz önünde bulundurmak için etkili eğilme rijitliği hesabında farklı modeller kullanılarak deplasmanlar elde edilmiş ve değişik modeller kullanılmasına karşın sonuçların birbirleriyle uyum içinde olduğu gözlenmiştir. Ayrıca yapıya etkiyen yükler nedeniyle çatlamaların oluşmasıyla birlikte elemanlar arasında kuvvet aktarımlarının oluşturduğu gözlenmiştir. Bu bulgular ışığında, çatlamaların etkisinin analizlerde dikkate alınmasının, tasarım sırasında faydalı olabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların bir yol gösterici olduğu ve bu sonuçları genelleyebilmek için ise farklı kat, boyut ve ölçülere sahip daha bir çok yapı modelinin analiz edilmesi gereği ifade edilebilir..

6. KAYNAKLAR

1. Kara, İ.F., Dündar, C. ve Tanrıkuşlu, A.K., "Kirişlerde ve Kolonlarda Oluşan Çatlamalar Göz Önünde Alınarak Yapıların Rijit Diyafıram Modeli İle Üç Boyutlu Analizi", *Türkiye İnşaat Mühendisliği XVII. Teknik Kongre ve Sergisi*, 47-52, 2004.
2. ACI Committee 435, "Deflection of Reinforced Concrete Flexural Members", *ACI J.*, 63, 637-674, 1966.
3. Comite Euro-International du Beton, *Manual on Cracking and Deformation, Bulletin d'Information*, No.158-E, 1985.
4. Chun-Man Chan, Neil,C. Mickleborough,Feng Ning, "Analysis of Cracking Effects On Tall Reinforced Concrete Buildings", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 126, No. 9, 995-1003, 2000.
5. Sindel,Z., Akbaş,R. and Tezcan,S., "Drift Control and Damage In Tall Buildings", *Engineering Structures*, 18(12), 957-966, 1996.

6. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 1998.
7. Al-Mahaidi,R.S.H., "Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Deep Members", Department of Struc. Engrg., Cornell Universty, Report No. 79-1, 1978.
8. Codelin,L., Dei Poli,S., "Finite Element Studies of Shear Critical Reinforced Concrete Beams", J. Engineering Mech. Div., ASCE, (EM3), 1977.
9. Yüzügullü,O., Schnobrich,W.C., "A Numerical Procedure for the Determination of the Behaviour of a Shear Wall Frame System", ACI J., 70(7), 474-479, 1973.
10. Cosenza,E, "Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Elements In a Cracked State", Computers& Structures, 36(1), 71-79, 1990.
11. Türk Standartları, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (TS 500), Türk Standartları Enstitüsü, 2000.

YENİ BİR YÜK KONTROLLÜ ÜÇ EKSENLİ DENEY DÜZENEĞİ İLE GERİLME İZLİ ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYLERİ

M.Arslan TEKİNSOY ve Taha TAŞKIRAN
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Yük kontrollü üç eksenli basınç deneylerinin, bazı zemin davranışlarının anlaşılması ve tanımlanması açısından bazı avantajları vardır. Yüklemelerin, deformasyon kontrolü yapıldığı klasik üç eksenli düzeneklerde, yüklemenin kontrol edilmesi oldukça güçtür. Bu nedenle, bu deneylerin gerçekleştirilemesi için gelişmiş "hidrolik üç eksenli basınç düzeneklerine" ihtiyaç vardır. Bu düzenekler pahalı düzenekler olup, ülkemiz koşullarında, pek çok laboratuarda bulunmamaktadır. Bu tez çalışması kapsamında, ihtiyaca cevap verebilen, oldukça pratik yeni bir deney düzeneği tasarlanmıştır. Tasarlanan bu yeni düzenek ile, yükleme düzeyinin kontrol edilebildiği "yük kontrolü (load controlled) üç eksenli basınç deneyi" gerçeklestirme imkanı elde edilmiştir. Bu yeni düzenek ile, Tarsus/Yenice kili üzerinde, sabit gerilme izi ($\frac{\Delta q}{\Delta p} = \text{sabit}$) eğimine sahip, yük kontrollü üç eksenli basınç deneyleri gerçekleştirılmıştır.

Söz konusu düzenek kullanılarak, zeminlerin akma zarfları, rijitlik parametreleri ve anizotropik elastik parametreler v.s gibi zemin özellikleri araştırılabilir.

Anahtar Kelimeler: yük kontrollü üç eksenli basınç deneyi, gerilme izli deney, akma

USING A NEW LOAD CONTROLLED TRI-AXIAL TEST APPARATUS IN STRESS PATH TRIAXIAL TEST

ABSTRACT : Load controlled triaxial tests have some advantages to understand and determine some feature of soil behaviour. In the conventional triaxial apparatus, the axial stress is applied by strain-controlled loading and it is difficult to control the loads. Therefore hydraulic triaxial apparatus are required to perform those tests. These kinds of test apparatus are expensive and not available in most of laboratory in our country. In the content of this study, a quite practical new test apparatus is established which can meet the need. This new apparatus make it possible to perform load controlled test by which the level of loads can be controlled. Using this new apparatus, "stress path tests", with $\frac{\Delta q}{\Delta p}$ constant, were carried out on Tarsus/Yenice clay.

Again, by means of this apparatus, it is possible to investigate yielding envelope, stiffness, anisotropic elastic parameters e.t.c. of a specific soil.

Key Words: load controlled tri-axial test, stress path test, yielding

1. GİRİŞ

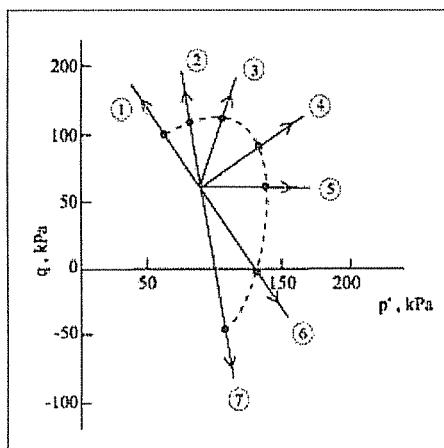
Zeminlerin dayanım ve rıjilik özellikleri, başlangıç durumu, yükleme ve boşaltma tarihçesi ve yükleme-boşaltma süreçlerinde maruz kalınan eksenel ve radyal gerilmelerdeki değişimlerden önemli ölçüde etkilenirler. Öte yandan, zeminlerin laboratuar koşullarındaki davranışlarını iyice izleyebilmek için; eksenel, radyal gerilmelerin ve boşluk basınçlarının ayrı ayrı kontrol edilebildiği deney düzeneklerine ihtiyaç vardır. Geleneksel üç eksenli basınç düzeneklerinde, yüklemeler deformasyon kontrollü gerçekleştirildiklerinden eksenel yükün kontrol edilmesi oldukça güçtür.

Üç eksenli basınç deneyleri ile, gerilme ve deformasyon değişkenleri; p' , q , v ve ε aşağıda verildiği gibi ifade edilebilir (1).

$$\begin{aligned} p' &= \frac{(\sigma'_{11} + 2\sigma'_{33})}{3} \\ q &= \sigma'_{11} - \sigma'_{33} \\ v &= \varepsilon_{11} + 2\varepsilon_{33} \\ \varepsilon &= \frac{2(\varepsilon_{11} - \varepsilon_{33})}{3} \end{aligned} \quad (1)$$

Burada verilen, gerilme ve deformasyon değişkenleri ile, zeminlerin sergiledikleri bazı davranışların anlaşılması mümkündür. Aşağıda, bu duruma bir örnek verilmiştir.

Tavenas ve arkadaşları, Kanada St. Louis kilinden aldıkları örselenmemiş numuneler üzerinde gerçekleştirdikleri sabit gerilme izi eğimine sahip farklı sıkışma deneyleri ile, akma noktalarını elde etmişlerdir (2). Şekil 1'de akma noktaları gerilme izleri ile birlikte verilmiştir. Akma noktaları, $p' - \varepsilon_p$ (hacimsel deformasyon) veya $q - \varepsilon_a$ (eksenel deformasyon) eğrilerinden tahmin edilmiştir.



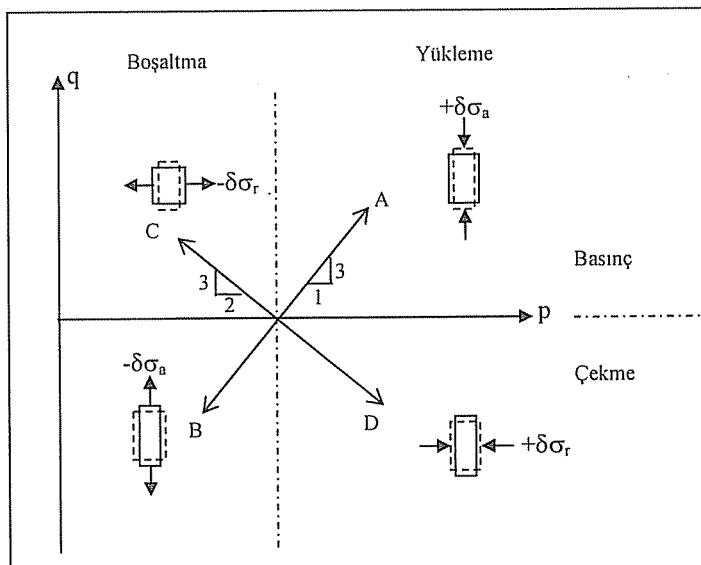
Şekil 1. Örselenmemiş St. Louis kilindeki üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen akma eğrisi (2).

**YENİ BİR YÜK KONTROLLÜ ÜÇ EKSENLİ DENEY DÜZENEĞİ İLE
GERİLME İZLİ ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYLERİ**

Burada verilen, farklı gerilme izi eğimlerine sahip yüklemeler için “yük kontrollü üç eksenli basınç deney düzeneklerine” ihtiyaç duyulmaktadır.

Öte yandan, efektif gerilmelerin belirli gerilme izleri takip edilerek gerçekleştirilemesi ile yapılan deneyler “gerilme izli deneyler” olarak adlandırılmaktadır ve bu tür deneyler “hidrolik üç eksenli deney düzenekleri” ile gerçekleştirilmektedir. Hidrolik üç eksenli basınç düzeneklerinin numune, başlıklar ve tesisat düzenleri, klasik üç eksenli düzenekler ile benzerdir. Bu iki düzenek türü arasındaki en önemli fark, eksenel yükün uygulanışı ile ilgilidir. Öte yandan modern hidrolik üç eksenli düzeneklerin çoğunda, bütün donanımlar elektroniktir ve okumalar veri kaydedici sistemlere otomatik yapıılır. Yüklemeler ise elektronik basınç çeviricileri kullanılarak otomatik kontrollü gerçekleştirilmektedir.

Şekil 2’de, hidrolik üç eksenli basınç düzeneği kullanılarak gerçekleştirilen bazı deneyler ve bu deneylere ait gerilme izleri görülmektedir. Aynı Şekil’de, dört farklı toplam gerilme izine ilaveten basınç, çekme, yükleme ve boşaltma gibi terimler verilmiştir. Ancak burada bir önemli nokta, üç eksenli basınç düzeneklerinde σ_a ve σ_r ’nin her zaman pozitif olması gerektigidir. Ancak $\sigma_a < \sigma_r$, durumuna bağlı olarak (ki bu durumda da, yükleme pistonu, yükleme düzeni ile temas etmektedir) q ve q’ pozitif yada negatif değerler almaktadır.



Şekil 2. Hidrolik üç eksenli basınç düzeneklerinde elde edilebilen gerilme izleri (3).

Şekil 2’de verilen, dört toplam gerilme izi, σ_a ve σ_r ’den birisi sabit tutulurken, diğerinin artırılması yada azaltılması ile elde edilmiştir. Yine aynı Şekil’de, yükleme-boşaltma ve basınç-çekme arasında ayırım yapılmıştır. Numune üzerinde basınç olması durumunda kısalma ve şisme, çekme durumunda ise boy uzaması ve zayıflama (çap

küçülmesi) görülmektedir. Aynı Şekil içinde görülen OA hattı, klasik üç eksenli düzeneklerle, sabit hücre basıncı altında artan eksenel yükleme ile elde edilebilen tek gerilme izidir. Farklı gerilme izi eğimlerine sahip yüklemelerin yapılması, klasik düzenekler ile mümkün değildir.

- Bu çalışma kapsamında, statik yüklemeler ile eksenel gerilmenin, küçük adımlar ile artırılarak veya azaltılarak kontrol edilebildiği, ihtiyaca cevap veren, oldukça pratik, yeni bir “yük kontrollü” üç eksenli deney düzeneği tasarlanmıştır. Bu yeni düzenek ile, Tarsus/Yenice kili üzerinde, sabit gerilme izi ($\frac{\Delta q}{\Delta p} = \text{sabit}$) eğimine sahip, yük kontrollü üç eksenli basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

2. Yük Kontrollü Üç-Eksenli Deney Düzeneğinin Tasarlanması

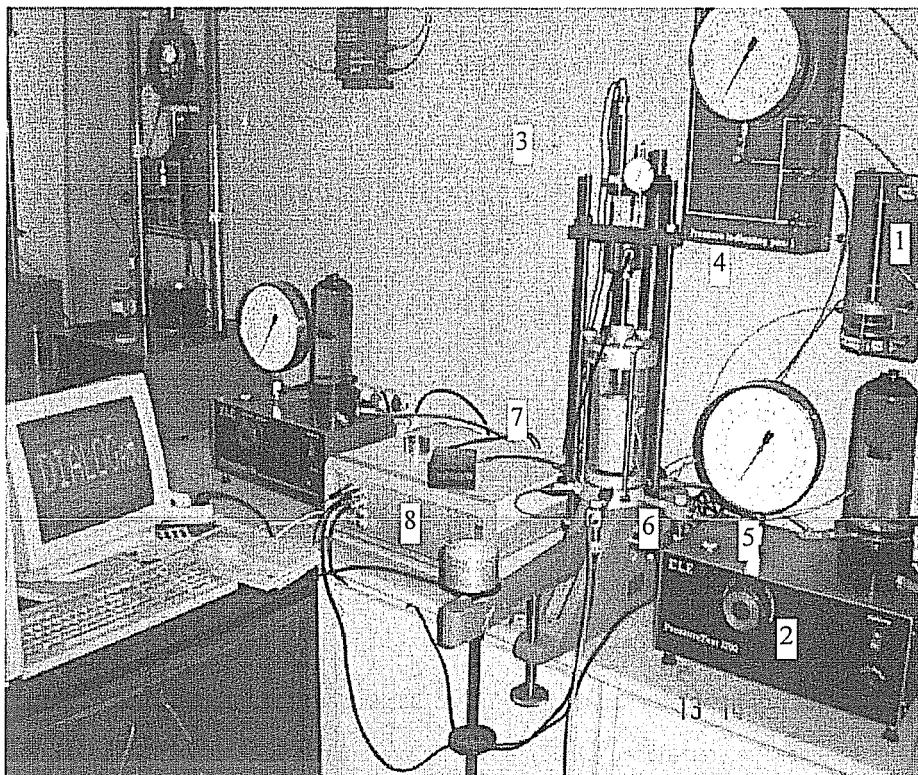
Bu çalışma kapsamında geliştirilen, yük kontrollü üç-eksenli deney düzeneği, şu şekilde oluşturulmuştur.

Klasik deneylerde kullanılan üç eksenli basınç hücresi, sahip olduğu bütün donanımlar ile birlikte, konsolidasyon aletine yerleştirilmiş ve numuneye kontrollü yük uygulanması ve yük değerinin hassas bir şekilde okunabilmesi için, sistem üzerinde gerekli modifikasyonlar yapılmıştır. Bu amaçla, konsolidasyon yan askı kolları 65 cm uzunluğuna ve 16 mm çapına artırılarak, konsolidasyon yükleme kolu ile numune üzerine yük uygulama imkanı elde edilmiştir. Numuneye yük uygulayan yükleme pistonu ile, konsolidasyon askı kollarını birleştiren üst yükleme kırışının arasına, bir “yükleme hücresi” (load cell) monte edilmiş ve bu sayede zemin numunesi üzerine, arzu edilen yük miktarının doğrudan ve hassas bir şekilde uygulanması ve ölçülmesi imkanı elde edilmiştir. Konsolidasyon yükleme kolu üzerine konulan ağırlıklar ile, numune üzerine sabit yük uygulanmıştır. İstenilen yük düzeyine erişmek için, yüklerin kontrollü olarak ve küçük adımlarla değiştirilmesi ve bu sırada yükleme hücresi indikatörünün sürekli olarak takip edilmesi gerekmektedir. Deneylerde kullanılan yük kontrollü modifiye üç eksenli basınç deney düzeneğine ait fotoğraf Şekil 3’de verilmiştir.

Deneyel çalışmaların farklı aşamalarında kullanılmak üzere, üç eksenli basınç hücresi tabanında bulunan kanallardan birine 700 kPa kapasiteli basınç transduseri, bir diğerine ise zemin örneğine ait hacim değişimlerini ölçebilen “hacim değiştirme transduseri” monte edilmiştir. Bu çalışmada, ELE firmasından temin edilen ve hacim değişimlerini elektriksel yolla ölçebilen, 0.01cm^3 hassasiyetli, bir hacim değiştirme transduseri kullanılmıştır. Yükleme sonucunda numunede meydana gelen eksenel boy değişimlerini ölçmek amacıyla bir adet LVDT deplasman transduseri kullanılmıştır.

Deney süresince sonuçların okunması ve kaydedilmesi için EL27-1495 seri numaralı ve 8 kanal girişli ADU (Autonomous Data Acquisition) veri kayıt (data logger) cihazı kullanılmıştır. Veri kayıt cihazı, bilgisayar ortamına gelen sinyalleri, Dialog isimli bilgisayar programı vasıtası ile sayısal olarak kaydetmektedir. Kullanılan deney düzeneğine ait şema Şekil 4’te verilmiştir.

**YENİ BİR YÜK KONTROLLÜ ÜÇ EKSENLİ DENEY DÜZENEĞİ İLE
GERİLME İZLİ ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYLERİ**



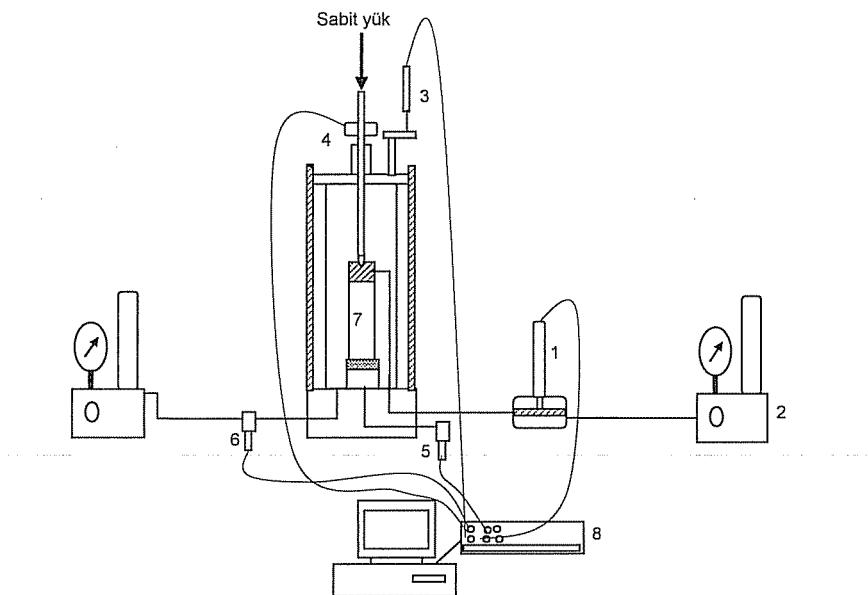
1-Hacim değiştirme transduseri
2-Sabit basınç sağlar
3-Deplasman transduseri (LVDT)
4-Yükleme hücresi

5-Boşluk basıncı transduseri
6-Hücre basıncı transduseri
7-Zemin numunesi
8-Data logger

Şekil 3. Yük kontrolü üç eksenli basınç deney düzeneği

Bu çalışmada kullanılan load cell, Japon Sakki Kenkyuja Co. Ltd. firmasından temin edilen TCLP-50kPa tipinde, 1.5 mV/V hassasiyetli bir yükleme hücresidir.

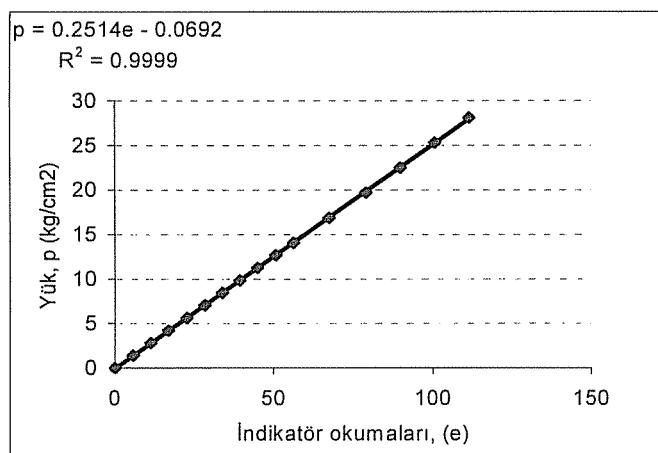
Yükleme hücresini kalibre etmek için, yükleme hücresi üzerine değeri bilinen ağırlıklar konularak bunlara karşılık gelen indikatör okumaları kaydedilmiştir. Karşılıklı gelen, yük-indikatör okuması değerlerinin işaretlenmesi ile oluşturulan noktalardan geçen en yüksek korelasyon katsayısına sahip ilişki araştırılmış ve bunun lineer bir ilişki olduğu görülmüştür (Şekil 5). Buna göre yükleme hücresi indikatöründe meydana gelen en küçük değişime karşılık gelen yük değerinin 25 gr olduğu tespit edilmiştir. Bu değer ise mevcut çalışma açısından yeterince hassas bir değerdir.



1-Hacim değiştirme transduseri
2-Sabit basınç sağlar
3-Deplasman transduseri (LVDT)
4-Yükleme hücresi

5-Böşluk basıncı transduseri
6-Hücre basıncı transduseri
7-Zemin numunesi
8-Data logger

Şekil 4. Yük kontrollü üç eksenli basınç deneyine ait şema



Şekil 5. Load cell kalibrasyon eğrisi.

3. Yük Kontrollü Üç Eksenli Basınç Deneyleri

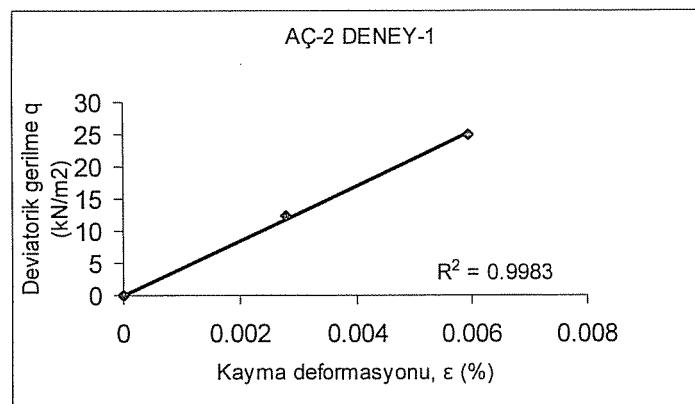
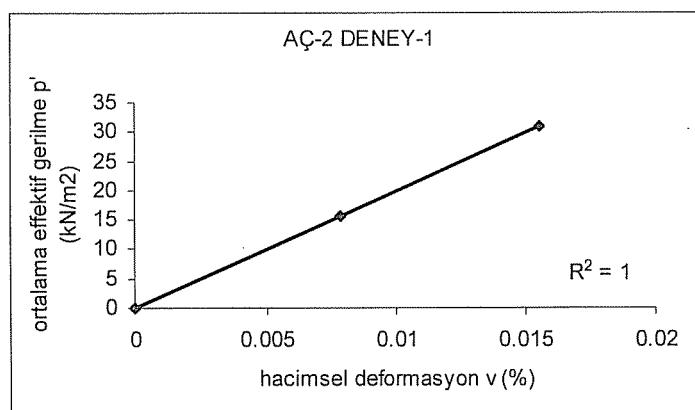
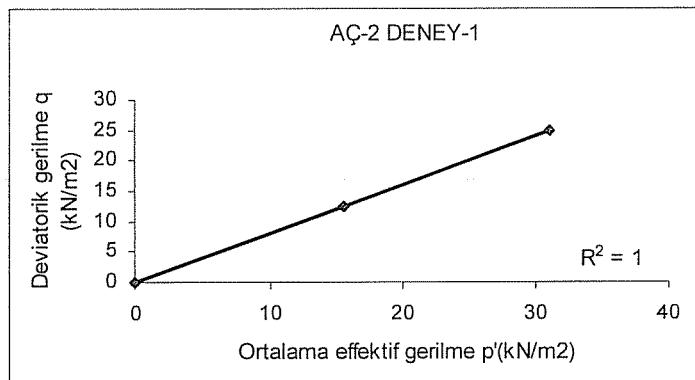
Deneysel çalışmada kullanılan zemin örnekleri Tarsus ili Yenice ilçesinden temin edilmiştir. Kullanılan deney örnekleri, örselenmemiş silindirik blok numunelerden kesilerek temin edilmiştir. Numunelerin deney düzeneğine yerleştirilmesinin hemen ardından, boşluk suyu parametresi (B), İngiliz standartında (BS 1377) önerilen metod takip edilerek ölçülmüştür. Numuneler üzerinde, aynı standartta belirtilen işlemler takip edilerek $B>0.95$ şartı sağlanıncaya kadar doyurma işlemi devam ettirilmiştir. Bu aşamada hücre basıncı ile numune porlarına empoze edileri boşluk suyu basıncı arasında 10 kPa “fark basıncı” olacak şekilde, numune basınç maruz bırakılarak doyurulmaya çalışılmıştır.

Numuneye uygulanan boşluk suyu basıncı, bir hacim değiştirme transduseri üzerinden geçirilerek numuneye uygulanmıştır. Bu şekilde, hem numune içine giren su miktarı ölçülebilmiş hem de numune içine su girişinin devam edip etmediği izlenebilmiştir. Numunelerin tümümüzde, zeminin suya doyurmak için 300 kPa boşluksu basıncı düzeyine çıkma gereği duyulmuştur.

Doyurma işlemini takiben numuneler, yük kontrollü üç eksenli basınç koşullarında yüklenmişlerdir. Uygulanan gerilmelerin, p-q düzleminde, yaklaşık olarak doğrusal gerilme izlerine sahip olacak şekilde olmalarına dikkat edilmiştir.

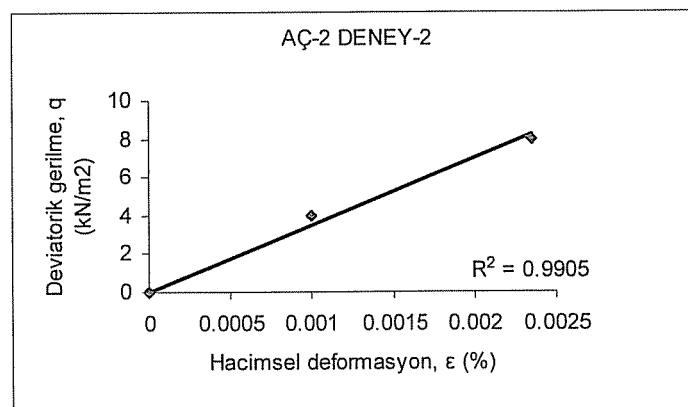
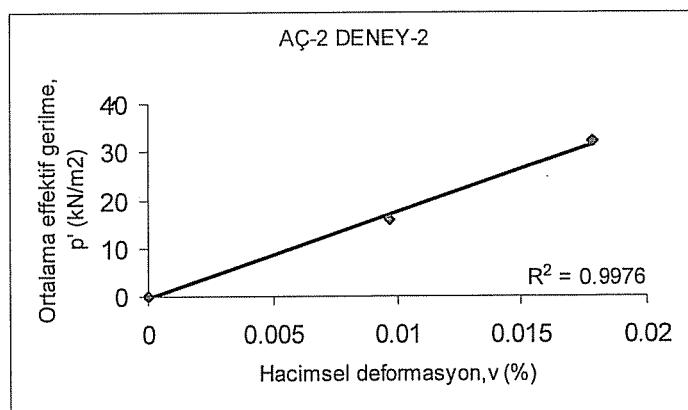
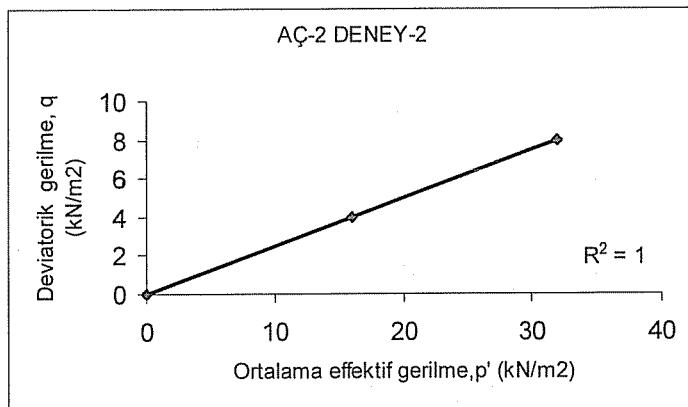
Bu işlemin gerçekleştirilmesi, için şu işlem sırası takip edilmiştir: İlk aşamada numuneye uygulanacak olan gerilme izi $\Delta q/\Delta p$ oranı seçilmiştir. Daha sonra bu oranı gerçekleştirecek Δq artım miktarı seçilerek, buradan Δp artım miktarı hesaplanmıştır. Daha sonra $\Delta p=1/3(\sigma_1+2\sigma_3)$ ilişkisinden yararlanılarak numuneye uygulanması gereken çevre basıncı, σ_3 , eksenel basınç σ_1 değerleri hesaplanmıştır. Numuneye uygulanması gereken deviatorik gerilme ($\sigma_1-\sigma_3$) ve çevre basıncı σ_3 artım miktarları, en az üç kademe böülüner numune üzerine uygulanmışlardır. Ayrıca her kademedede boşluk suyu basınçlarının artımları izlenmiş ve boşluk suyu basıncının yükselme eğilimi durduğunda diğer kademeye geçilmiştir.

Toplam iki takım, sabit yük kontrollü üç eksenli basınç deneyi gerçekleştirilmiş ve her takımda iki adet numune, $p'-q$ düzleminde farklı gerilme izi eğimlerine sahip olacak şekilde yüklenmişlerdir. Birinci deney setinde uygulanan gerilme izi eğimleri ($\Delta q/\Delta p$) sırası ile 0,25 ve 0,80 olarak, ikinci deney setinde ise 0,77 ve 0,30 olarak seçilmiştir. Her yüklemeye kademesinde bir gün süre ile yüklemeye işlemi sürdürülümüş ve bu arada numuneden su çıkışının devam edip etmediği, hacim değiştirme indikatörü değişiminin sürekli grafiği çizdirilerek izlenmiştir. Ayrıca LVDT transduseri ile numunen boy değişimlerini izlenmiştir. Bu çalışmada 24 saatten önce, numunelerin hem boy değişimlerinin ve hem de hacim değişimlerinin stabil hale geldiği ve bu sürenin yeterli olduğu kanaatine varılmıştır. Her dört saniyede bir, otomatik veri kaydedici sisteminin, dört kanaldan (çevre basıncı, boşluk suyu basıncı, hacim değişimini, boy değişimini) topladığı veriler kaydedilmiştir. Bir takım üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak oluşturulan (p-q), (p-v) ve (q-ε) ilişkileri Şekil 6.a ve Şekil 6.b'de verilmiştir.



Şekil 6.a. AÇ-2 Deney-1 için (p' - q), (p' - v) ve (q - ϵ) ilişkileri

**YENİ BİR YÜK KONTROLLÜ ÜÇ EKSENLİ DENEY DÜZENEĞİ İLE
GERİLME İZLİ ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYLERİ**



Sekil 6.b. AÇ-2 Deney-2 için (p' - q), (p' - v) ve (q - ϵ) ilişkileri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, gerilme izli üç eksenli basınç deneylerini gerçekleştirebilecek özellikle, ihtiyaca cevap veren oldukça pratik yeni bir “yük kontrollü” üç eksenli deney düzeneği tasarlanmıştır. Tasarlanan bu yeni düzenek ile, yükleme düzeyi kontrol edilebilmekte ve bu sayede “yük kontrolü (load controlled) üç eksenli basınç deneyleri” gerçekleştirilebilmektedir. Bu yeni düzenek kullanılarak, Tarsus/Yenice kili üzerinde, sabit gerilme izi ($\frac{\Delta q}{\Delta p} = \text{sabit}$) eğimine sahip, yük kontrollü üç eksenli basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmadan elde edilen p , q , v ve ϵ , gerilme ve deformasyon değişkenleri kullanılarak, Tarsus Yenice kiline ait $(p-q)$, $(p-v)$ ve $(q-\epsilon)$ ilişkileri oluşturulmuştur. Yumuşak killerin akma noktası öncesinde, lineere oldukça yakın bir davranış sergilemeleri beklenmektedir. Elde edilen ilişkiler incelendiğinde, tüm ilişkilere ait eğrilerde, söz konusu parametreler arasında oldukça yüksek korelasyonların olduğu ve ilişkilerin “lineer” sayılabileceği kolaylıkla görülebilmektedir. Bu durum, hem söz konusu kilin yük altındaki davranışının, literatürde verilen akma öncesi lineer davranışını sergilediğini ve deneylerin sağlıklı koşullarda gerçekleştirilmiş olduğunu göstermektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Schofield,A.W., Wroth,C.P., (1968) “Critical state soil mechanics”, McGraw-Hill London, 1968.
2. Tavenas,F., Des Rosiers J.P., Leroueil,S., Larachelle,P., Roy,M., “The Use of Strain energy as a yield and creep criterion for lightly overconsolidated clays”, Geotechnique, vol. 29, No 3, 285-303, 1979.
3. Atkinson,J., “An introduction to the mechanics of soils and foundation through critical state soil mechanics”, McGraw- Hill International Series in Civil Engineering, London, 1993.

TARSUS/YENİCE KİLİNDE DÜZLEMSEL ANİZOTROPİK ELASTİK PARAMETRELERİN SAPTANMASI

M. Arslan TEKİNSOY ve Taha TAŞKIRAN
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana Türkiye

ÖZET : Zeminlerin, anizotropik malzeme kabul edilerek mühendislik problemlerinin yeniden ele alınması daha gerçekçi ve daha doğru sonuçlar vermesine karşın, ihtiyaç duyulan anizotropik parametrelerin ölçülmesi oldukça güçtür. Düzlemsel anizotropiyi temsil den beş bağımsız elastik sabit, laboratuarlarda rutin deneylerde kullanılan deney düzenekleri ile elde edilememekte ve gelişmiş deney düzeneklerine ihtiyacı gerektirmektedir.

Öte yandan, Graham ve Houlsby tarafından, bilinmeyenlerin sayısını indirgeyen ve E^* , v^* ve α dan oluşan, üç parametreli bir çözüm önerilmiştir (1). Söz konusu yöntem, üç eksenli basınç deneylerine ait akma öncesi gerilme ve deformasyon verileri ile, beş bağımsız elastik parametrenin elde edilmesini mümkün kılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, Tarsus/Yenice kılinden iyi derecede örselenmemiş zemin örnekleri alınmış ve yük kontrollü (load controlled) üç eksenli basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde, zemin örnekleri üzerinde, sabit gerilme izi eğimine sahip, farklı gerilme izli deneyler gerçekleştirilmiş ve akma öncesi bölgeye ait deney verileri kullanılarak, Graham ve Houlsby yöntemi izlenerek, anizotropik beş bağımsız elastik parametre elde edilmiştir (1).

DETERMINATION OF CROSS-ANISOTROPIC ELASTIC CONSTANTS OF TARSUS/YENİCE CLAY

ABSTRACT : Although assuming soils as anisotropic media and to consider engineering problems in this respect provides more realistic results, it is difficult to measure the required anisotropic elastic parameters. Five elastic parameters which represent cross-anisotropic property can not be obtained with the conventional laboratory tests and requires advanced test equipments.

On the other hand, a solution method, which includes E^* , v^* , α and reduces the number of unknown parameter to three, was proposed by Graham and Houlsby (1). The mentioned method enables to obtain five independent cross anisotropic elastic parameters using pre-yield stress-deformations data.

In the content of this study, good quality undisturbed soil samples were taken from Tarsus/Yenice clay and subjected to load controlled tri-axial tests. In testing program, stress path triaxial tests having constant inclination in $p-q$ space were realized and five anisotropic elastic constant were obtained using the pre-yield stress-strain data.

1. GİRİŞ

Zeminlerin birçoğu, yatay yönde çok geniş bir yayılıma sahip alanlar üzerinde birikirler ve birikimi izleyen safhada ise çoğulukla tek eksenli deformasyon yapmaya başlarlar. Uzun bir zaman sürecinde meydana gelen bu tek yönlü konsolidasyon, kil dokularının, danelerin veya her ikisinin de yatay düzlem üzerinde konumlanarak zeminin dispers bir yapı kazanmasına neden olur. Bunun sonucu olarak zeminler, yatay ve düşey yönlerde farklı farklı malzeme özellikleri kazanırlar ve izotrop olarak tanımlanan kabullerden sapma gösteririler. Tek bir simetri eksenine sahip, farklı anizotropi türleri, zemin mekaniği literatüründe “düzlem anizotropi” (cross-anisotropy) olarak adlandırılmıştır (2).

Doğal zeminler üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar, bunların anizotrop gerilme-deformasyon ve dayanım davranışını sergilediklerini göstermektedir. Öte yandan zeminlerin düzlemsel anizotropik malzemeler olduğunu gösteren çok sayıda araştırma bulunmaktadır (3-5).

Anizotropinin, birçok zemin davranışının tanımlanmasında önemli bir etken olduğu yapılan çalışmalarla giderek daha fazla anlaşılmaktadır. Bu durum anizotropik özelliklerinin fazla olduğu zeminlerde daha fazla önem kazanmaktadır.

Zeminlerin izotrop malzemeler kabul edilerek mühendislik problemlerinin ele alınması oldukça yaygın bir yaklaşımındır. Gerek kulanım kolaylıklarını ve gerekse daha az parametreye ihtiyaç duymaları nedeni ile bu çözümler, yaygın kabul görmüşlerdir. Oysaki, zeminler üzerinde yapılan araştırmalar zeminlerin anizotrop malzeme olarak modellenmelerinin daha gerçekçi ve ekonomik avantaj sağladığını ortaya koymuştur. Bu nedenle zeminlerin anılan şekilde modellenmeleri ile, mühendislik problemlerinin yeniden ele alınması birkaç onyl dan beri giderek artan bir eğilim olarak ortaya çıkmaktadır.

Anizotrop özellik sergileyen killi zeminlerde meydana gelen oturmalar üzerinde yapılan araştırmalar, zemin anizotropisinin dikkate alınması durumunda hesaplanan yüzey oturmalarının, arazi ölçümleri ile oldukça uyumlu olduğunu göstermiştir (6).

Öte yandan, zeminlerde düzlemsel anizotropik davranışın tam olarak tanımlanması için beş bağımsız elastik sabite ihtiyaç duyulmaktadır. Bu parametrelerin ölçülmesi ise bu tip zeminler ile ilgilenirken en temel noktası teşkil etmektedir. Anizotropik parametrelerin elde edilmesine yönelik yeni deneysel süreç ve teknikler ve mevcut tekniklere dayanılarak geliştirilen yeni teorik analizler hala sürdürmektedir.

Beş bağımsız elastik sabit, laboratuarlarda rutin deneylerde kullanılan deney düzenekleri ile elde edilememekte ve gelişmiş deney düzeneklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma kapsamında, zemin numunesi üzerine belirli sabit gerilme izi ($\frac{\Delta q}{\Delta p} = \text{sabit}$) uygulayabilen ve yükün kontrol edilebildiği yeni bir düzenek kullanılarak, yük kontrollü üç eksenli basınç deneyleri gerçekleştirilmiş ve Tarsus/Yenice kiline ait anizotropik elastik sabitler, Graham ve Houlsby tarafından önerilen yöntem takip edilerek elde edilmiştir (1). Ayrıca, sözü geçen yöntem ile elastik parametrelerin, kolaylıkla elde edilebilmeleri için, “mathematica” yardımıyla bir program oluşturulmuş ve anizotropik elastik parametreler bu program yardımı ile hesaplanılmışlardır.

2. ZEMİNLERİN ANİZOTROPİK ELASTİK DAVRANIŞI VE ANİZOTROPI'NİN ÖLÇÜLMESİ

Bu bölümde; zeminlerin anizotropik elastisitesi hakkında bilgiler verilecek ve anizotropik elastik parametrelerin elde edilmesine yönelik, farklı deneyel ve kuramsal yöntemler tanıtılacak olacak.

2.1. Anizotropik Elastisite

Düzlemsel anizotropiye sahip, lineer elastik bir malzeme için, efektif gerilme ve deformasyon artımları arasındaki ilişki, Love tarafından matris formunda, aşağıdaki gibi verilmiştir (7).

$$\begin{bmatrix} \delta\epsilon_{xx} \\ \delta\epsilon_{yy} \\ \delta\epsilon_{zz} \\ \delta\epsilon_{yz} \\ \delta\epsilon_{zx} \\ \delta\epsilon_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/E_h & v_{hh}/E_h & v_{vh}/E_v \\ -v_{hh}/E_h & 1/E_h & -v_{vh}/E_v \\ -v_{vh}/E_h & -v_{hv}/E_h & 1/E_v \end{bmatrix} \times \frac{1}{G_{hv}} \begin{bmatrix} \delta\sigma'_{xx} \\ \delta\sigma'_{yy} \\ \delta\sigma'_{zz} \\ \delta\tau_{yz} \\ \delta\tau_{zx} \\ \delta\tau_{xy} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Denklem (1)'de yer alan parametreler için; z düşey, x ve y yatay doğrultuları göstermek üzere,

E_v : Düşey elastik modül (z doğrultusu)

E_h : Yatay elastik modül (x ve y doğrultularındaki)

v_{vh} : Düşey doğrultudaki gerilme nedeniyle yatay doğrultudaki Poisson oranı

v_{hv} : x-y düzlemindeki gerilme nedeniyle düşey doğrultudaki Poisson oranı

v_{hh} : x ve y düzlemindeki gerilme nedeniyle, x-y düzlemindeki Poisson oranı

G_{hv} : z-x ve z-y düzlemindeki kayma modülü

G_{hh} : x-y düzlemindeki kayma modülü

Elastik sabitler arasında, simetriden dolayı, aşağıdaki ilişkiler de geçerlidir. Bu ilişkilerden dolayı, bağımsız elastik parametre sayısı beş indirgenmektedir.

$$\frac{v_{vh}}{E_v} = \frac{v_{hv}}{E_h} \quad (2)$$

$$G_{hh} = \frac{E_h}{2(1 + v_{hh})} \quad (3)$$

2.2. Anizotropi'nin Üç Eksenli Deneyler ile Araştırılması

Üç eksenli basınç deneyleri ile; beş bağımsız elastik sabitin, doğrudan bulunması imkansızdır. Düzlem anizotrop malzeme kabul edilecek bir zemin örneği üzerinde, üç eksenli basınç deneyinin gerçekleştirilmesi halinde, örnek üzerinde herhangi bir kayma gerilmesi ($\tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{xy}$) uygulanamayacağı için, herhangi bir kayma deformasyonu da ($\gamma_{yz}, \gamma_{zx}, \gamma_{xy}$) ölçülemez. Bu nedenle; Denklem (1)' de verilen uygunluk matrisi ve bu bölüme ait parametreler, işin içine katılamayacaklarından, elde edilemezler. Bu durumda, uygunluk matrisinin sadece sol üst 3×3 elemanın elde edilmesine yönelik araştırmalar yapılabilir. Üç eksenli deney koşullarında $\delta\varepsilon_{xx} = \delta\varepsilon_{yy} = \delta\varepsilon_{hh}$ ve $\delta\sigma'_{xx} = \delta\sigma'_{yy} = \delta\sigma'_h$ olması nedeni ile, denklem (1) aşağıdaki gibi basitleştirilebilir (2). Burada, x, y ve h sembollerini, yatay yönü ifade etmektedirler.

$$\begin{bmatrix} \delta\varepsilon_v \\ \delta\varepsilon_h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -2v_{hh} \\ \frac{\varepsilon_v}{E_v} & \frac{1-v_{hh}}{E_h} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta\sigma'_v \\ \delta\sigma'_h \end{bmatrix} \quad (4)$$

ε_v = Düşey deformasyon

ε_h = Yatay deformasyon

σ'_v = Efektif düşey gerilme

σ'_h = Efektif yatay gerilme

Özel birtakım üç eksenli deneyler gerçekleştirilerek, beş elastik bağımsız sabitten bazıları, aşağıda izlenecek yolla elde edilebilir. Drenajlı koşullarda yapılacak olan, sabit çevre basınçlı ($\delta\sigma'_h = 0$) ve eksenel yüklemeli üç eksenli basınç deneyi ile, E_v ve v_{vh} elastik parametreler aşağıda verilen denklemler kullanılarak elde edilebilirler.

$$\delta\varepsilon_v = \frac{1}{E_v} \delta\sigma'_v \quad (5)$$

$$\delta\varepsilon_h = \frac{-v_{vh}}{E_v} \delta\sigma'_v \quad (6)$$

Öte yandan; sabit eksenel yüklü ($\delta\sigma'_v = 0$) üç eksenli basınç deneyleri ile, eksenel ve radyal yönlerdeki deformasyonlar ölçülebilir. Bu ölçümlelerden yararlanarak, aşağıda verilen ilişkiler kullanılabilir.

$$\delta \varepsilon_v = \frac{-2\nu_{hv}}{E_h} \delta \sigma'_h \quad (7)$$

$$\delta \varepsilon_h = \frac{1-\nu_{hh}}{E_h} \delta \sigma'_h \quad (8)$$

Ancak ilave bir bilgi olmadan (7) ve (8) Eşitlikleri çözülemez. Bu durumda, ν_{hv} , ν_{hh} ve E_h sabitlerinin elde edilmesi mümkün değildir (2).

2.3. Bender Elemanlar Kullanarak Anizotropi'nin Araştırılması

Düzlem anizotropik elastik parametrelerin elde edilmesi için diğer bir yol da, üç eksenli basınç deney düzeneğinde, bender elemanlarının kullanılması ve düzlem anizotrop malzeme sabitlerinin bir kısmının doğrudan ve bir kısmının da dolaylı olarak hesap edilmesidir.

Bender elemanlar, zeminlerin dinamik elastik modülü G_{max} 1 ölçmek için, bir çok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Kullanım kolaylıklarını ve tahribatsız ölçüm yapmaya imkan verdikleri için, yaygın kullanım alanına sahip olmuşlardır. Üç eksenli deney düzeneğleri ile birlikte kullanımı ilk başlangıçta, düşey kayma dalgalarını ölçmeye yönelik olmuştur. Ancak daha sonraları, düşey ve yatay kayma dalgalarını ölçümülerinin aynı anda yapılabildiği düzenekler, yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Sismik dalga kütle hızları ve modüller arasındaki ilişki; zeminin homojen ve elastik bir ortam olduğu kabulu ile, aşağıdaki gibi verilebilir.

$$M = \rho V_p^2 \quad \text{ve} \quad G_0 = \rho V_s^2$$

burada ρ ortamın yoğunluğunu, V_p basınç dalga hızını (compression wave velocity) ve V_s ise, kayma dalgası hızını temsil etmektedir.

Bellotti ve ark. tarafından, Ticiano nehir kumunun başlangıçtaki mevcut dokusal (inherent) ve indüklenmiş (stress induced) anizotropik özellikleri, sismik dalgaların yayılım hızlarının ölçülmesi ile araştırılmıştır (8). Sismik dalgaların; düşey, yatay ve eğik düzlemlerde yapılabildiği dikkate alınarak kurulan cross-anizotrop elastik model ile 5 bağımsız sabit ilişkilendirilmiştir. Zemin örnekleri üzerinde iletken PS dalgaları, zeminin (M_0) ve kayma (G_0) modüllerinin çok küçük deformasyonlarda ölçülmesine olanak sağlamaktadır.

Bellotti ve ark. tarafından yapılan çalışmada, iki eğik kütle dalgası ($V_{45,V}^S, V_{45}^P$) hızları, $\theta = 45^\circ$ lik açı ile ölçülmüştür (8). Bellotti ve ark. tarafından, anizotropik elastik parametreleri elde etmeye yönelik, kullanılan yöntem şu şekilde açıklanmıştır (8):

Yatay simetri düzleme sahip, anizotrop elastik bir malzeme için, bünye denklemi Love tarafından verildiği şekliyle yazılabılır (7).

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{zx} \\ \tau_{zy} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{12} & C_{11} & C_{13} \\ C_{13} & C_{13} & C_{33} \\ & & C_{44} \\ & & C_{44} \\ & & C_{66} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{zx} \\ \gamma_{zy} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Burada;

$C_{11} = M_h$ (Yatay yönde sınırlandırılmış(constrained) modül)

$C_{13} = M_v$ (Düşey yönde sınırlandırılmış(constrained) modül)

$C_{44} = G_{vh}$ (Simetri düzlemini de içeren düşey kayma modülü)

$C_{66} = G_{hh}$ (Yatay düzleme ait kayma modülü)

$C_{12} = M_h^2 - 2G_{hh}$

Bağımsız malzeme sabitleri olan C_{11} , C_{33} , C_{44} , C_{66} ve C_{13} ün bilinmesi halinde anizotropik parametreler, aynı araştırmacılar tarafından, aşağıda verilmiştir (Not: sismik dalgalar ile modüller arasındaki ilişki için Fioravante ve Capoferri çalışmasına bakılabilir (9)).

$$v_{hh} = \frac{C_{12}M_v - C_{13}^2}{M_hM_v - C_{13}} \quad (10)$$

$$v_{vh} = \frac{C_{13}M_h - C_{12}C_{13}}{M_h^2 - C_{12}^2} \quad (11)$$

$$v_{hv} = \frac{C_{13}M_h - C_{12}C_{13}}{M_vM_h - C_{13}^2} \quad (12)$$

$$E_v = \frac{|C|}{M_h^2 - C_{13}^2} \quad (13)$$

$$E_h = \frac{|C|}{M_vM_h - C_{13}^2} \quad (14)$$

$|C|$ teriminin değeri, aşağıdaki ifadeden elde edilebilir.

$$|C| = \begin{vmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{12} & C_{11} & C_{13} \\ C_{13} & C_{13} & C_{33} \end{vmatrix}$$

2.4. Graham ve Houlsby Yöntemi ile Anizotrop Elastik Parametrelerin Elde Edilmesi

Graham ve Houlsby tarafından, bilinmeyenlerin sayısını indirgeyen ve E^* , v^* ve α dan oluşan, üç parametreli bir çözüm önerilmiştir (1). Yöntemin uygulanışı aynı makaleden alınarak aşağıda verilmiştir.

Düzlem anizotrop bir malzeme için gerilme ve deformasyonlar arasındaki ilişki için aşağıda verilen eşitlik yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \delta p' \\ \delta q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K^* & J \\ J & 3G^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta v \\ \delta \epsilon \end{bmatrix} \quad (15)$$

Denklem (15)'deki ifadenin tersi alınarak, uygunluk matrisi cinsinden bir tanımlama yapılabilir.

$$\begin{bmatrix} \delta v \\ \delta \epsilon \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 \\ C_2 & C_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta p' \\ \delta q \end{bmatrix} \quad (16)$$

Bir üç eksenli basınç deneyinde, $\delta\sigma'_{11}$, $\delta\sigma'_{33}$, $\delta\epsilon_{11}$ ve $\delta\epsilon_{33}$ ölçümelerinden yararlanarak $\delta p'$, δq , δv ve $\delta\epsilon$ artımları hesaplanabilir. Bu artımların, denklem (15) de yerine konulması ile, üç bilinmeyenli iki denklem elde edilir. Bu durumda, bilinmeyenler elde edilemezler. Farklı $\frac{\delta q}{\delta p'}$ oranına sahip, en az iki deney yapılması, anizotropik parametrelerin bulunması için asgari koşuldur. İki adet, üç eksenli deney yapılması durumunda ise, üç bilinmeyenli dört denklem elde edilecektir. Deney sayısının ikinin üzerine çıkması durumunda, gereğinden fazla bilgi söz konusu olacaktır. Öte yandan kılın gerçek davranışının ideal koşullardan bir miktar farklı olması, deneye maruz kalan örneklerin tamamen aynı olmamaları ve deneysel ölçümelerdeki hatalar nedeniyle, deney verileri kullanılarak oluşturulan denklemlerin bir ölçüde uyuşmaz olmaları söz konusu olacaktır. Benzer denklem takımları kullanılarak, amaçlanan parametrelerin en olası değerlerinin elde edilmesi için, kabul gören yöntemlerden birisi de “en küçük kareler” yöntemidir.

En küçük kareler yöntemi ile çözümde; gerilmelerin, deformasyonların ya da gerilme-deformasyon kombinasyonlarının, bağımsız değişken olarak alınması mümkündür. Burada verilen çözüm yönteminde, gerilmeler bağımsız değişken olarak kabul edilmiştir. Üç eksenli basınç deneyinden $\delta p'$ ve δq ölçüm değerlerinin elde edilmesi ile, (16) numaralı denklem kullanılarak, buna karşılık gelen “hesaplanmış” hacimsel deformasyonların elde edilmesi mümkündür.

$$\delta v_c = C_1 \delta p' + C_2 \delta q \quad (17)$$

Öte yandan $\delta p'$ ve δq gerilme artımlarına karşılık gelen, hacimsel deformasyon δv değeri ise, gerçekte deney sırasında ölçülmüştür. Hacimsel deformasyondaki bu hata

δv_e olarak ifade edilirse, hata miktarı, hesaplanan ve ölçülen değerler arasındaki fark alınarak, aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$\delta v_e = \delta v_c - \delta v = C_1 \delta p' + C_2 \delta q - \delta v \quad (18)$$

Benzer şekilde, hesaplanan kayma deformasyonu hatası ise, aşağıda verildiği gibi yazılabilir.

$$\delta \epsilon_e = \delta \epsilon_c - \delta \epsilon = C_2 \delta p' + C_3 \delta q - \delta \epsilon \quad (19)$$

Yapılan deneylerden bulunan deformasyon hatalarının kareleri toplamı, şu şekilde yazılabilir.

$$e = (C_1 \delta p' + C_2 \delta q - \delta v)^2 + (C_2 \delta p' + C_3 \delta q - \delta \epsilon)^2 \quad (20)$$

Burada, C_1, C_2, C_3 parametrelerinin elde edilmesi için, hataların kareleri toplamının, bilinmeyenlere göre türevlenip sıfır eşitlenmesi gerekmektedir.

$$\frac{\partial e}{\partial C_1} = \sum 2(C_1 \delta p' + C_2 \delta q - \delta v) \delta p = 0 \quad (21)$$

$$\frac{\partial e}{\partial C_2} = \sum 2(C_1 \delta p' + C_2 \delta q - \delta v) \delta q + 2(C_2 \delta p' + C_3 \delta q - \delta \epsilon) \delta p = 0 \quad (22)$$

$$\frac{\partial e}{\partial C_3} = \sum 2(C_2 \delta p' + C_3 \delta q - \delta \epsilon) \delta p = 0 \quad (23)$$

Elde edilen sisteminin çözümü, aşağıda verilen matrisin çözümü olarak ifade edilebilir.

$$\begin{bmatrix} \sum \delta v \delta p \\ \sum \delta v \delta q + \delta \epsilon \delta p \\ \sum \delta \epsilon \delta q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum \delta p^2 & \sum \delta q \delta p & 0 \\ \sum \delta p \delta q & \sum \delta q^2 + \delta p^2 & \sum \delta q \delta p \\ 0 & \sum \delta p \delta q & \sum \delta q^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} \quad (24)$$

Daha genel bir çözüm ise, Denklem (25) olarak verilen ve $\delta v, \delta \epsilon$ ölçümlerine sırasıyla uygulanan w_1 ve w_2 ağırlık katsayılarını içeren, matris çözümüdür.

$$\begin{bmatrix} \sum w_1 \delta v \delta p \\ \sum w_1 \delta v \delta q + w_2 \delta \epsilon \delta p \\ \sum w_2 \delta \epsilon \delta q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum w_1 \delta p^2 & \sum w_1 \delta q \delta p & 0 \\ \sum w_1 \delta p \delta q & \sum w_1 \delta q^2 + w_2 \delta p^2 & \sum w_2 \delta q \delta p \\ 0 & \sum w_2 \delta p \delta q & \sum w_2 \delta q^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} \quad (25)$$

Denklem (25) kullanılarak C_1, C_2, C_3 değerleri saptanabilir. Daha sonra K^*, G^* ve J , parametreleri, aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanabilir.

$$K^* = \frac{C_3}{(C_1 C_3 - C_2^2)} \quad (26)$$

$$G^* = \frac{C_1}{(C_1 C_3 - C_2^2)} \quad (27)$$

$$J^* = \frac{-C_2}{(C_1 C_3 - C_2^2)} \quad (28)$$

Daha genel bir karşılaştırma için, A^*, B^* ve α parametrelerine dönüşüm yapılabilir. Bu durumda, aşağıda verilen ifadeler yazılabilir.

$$A^* = K^* + \frac{4}{3}G^* + \frac{4}{3}J \quad (29)$$

$$\alpha = \left[\sqrt{9\left(K^* - \frac{2}{3}G^* + \frac{1}{3}J\right)^2 + 8(3K^*G^* - J^2)} - \left(K^* - \frac{2}{3}G^* + \frac{1}{3}J\right) \right] / 2A \quad (30)$$

$$B^* = \left(K^* - \frac{2}{3}G^* + \frac{1}{3}J \right) / \alpha \quad (31)$$

İzotrop bir malzemede $\nu = B/(A+B)$ olduğu için benzer şekilde anizotrop bir malzemede $\nu^* = B^*/(A^*+B^*)$ büyülüğu tanımlanabilir. Son olarak, denklem (2.69) ile verilen E^* , aşağıda verildiği gibi elde edilebilir.

$$E^* = \frac{(1+\nu^*)(1-2\nu^*)}{(1-\nu^*)} \quad (32)$$

Öte yandan Lings ve ark (2) tarafından, Graham ve Houlsby (1) yöntemi ile, yukarıda elde edilen α , ν^* ve E^* parametrelerinin, anizotropik beş elastik parametre ile ilişkisi, kaynaklarda yaygın kullanılan gösterimle, aşağıda verilmiştir.

$$E_v = E^*$$

$$E_h = \alpha^2 E^*$$

$$\nu_{vh} = \nu^* / \alpha$$

$$\nu_{hh} = \nu^*$$

$$\begin{aligned} G_{hv} &= \alpha E^* / 2(1 + v^*) \\ G_{hv} &= \alpha^2 E^* / 2(1 + v^*) \end{aligned} \quad (33)$$

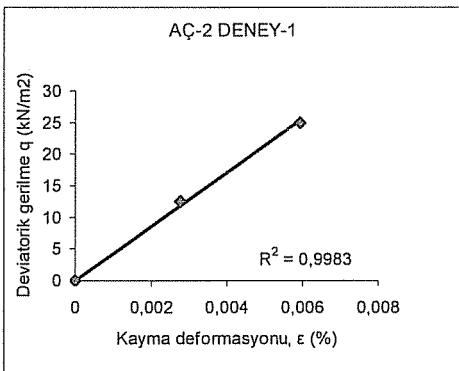
3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışma için, Tarsus ili Yenice ilçesinden temin edilen, örselenmemiş killi zeminin örnekleri kullanılmıştır. Söz konusu kılın seçiminde, yumuşak kıvamda bulunması, hafifçe konsolide olma özelliğini içermesi ile anizotropik elastik sabitlerinin, "Graham ve Houlsby" tarafından önerilen yönteme daha uygun bulunması, önemli rol oynamıştır (1). Aşağıda; söz konusu kılın endeks özelliklerini ve gerekli üç eksenli basınç deneyleri hakkında bilgiler verilecektir.

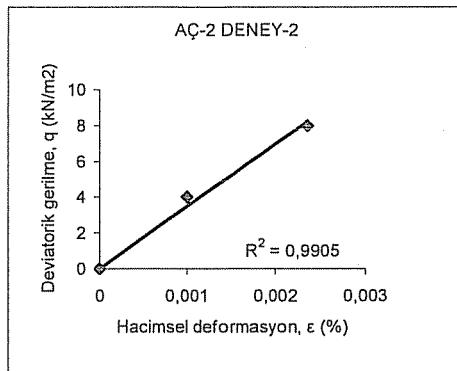
Çizelge 1. Zemin parametrelerine ait değişim aralıkları

Zemin Özellikleri	Değişim Aralığı
Doğal Su İçeriği, %	24.4-28.2
Likit Limit, %	41.3-67.3
Plastik Limit, %	13.7-22.5
Plastisite İndisi, %	27.6-44.8
# 4 Elekten Geçen, %	99.5-100
# 200 Elekten Geçen, %	78.3-99.7
Tek Eksenli Basınç Dayanımı, q_u (kN/m ²)	94.9-140.9
Doğal Birim Hacim Ağırlığı, (gr/cm ³)	1.90-1.96
Özgül Ağırlık, G_s	2.61-2.63
Grup Sembolü	CI- CH

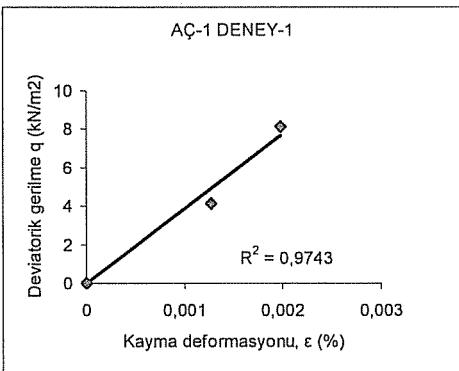
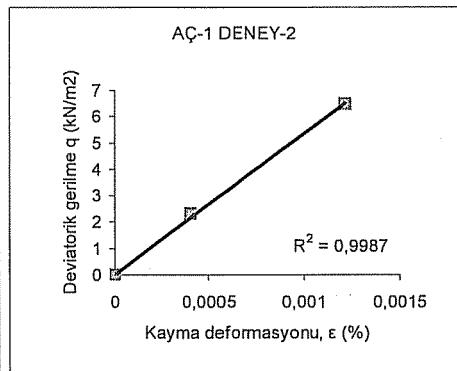
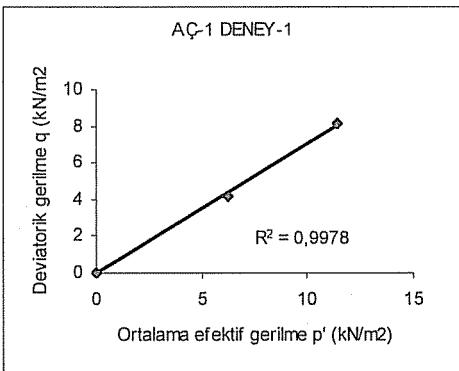
Deneysel çalışma, açılan, AÇ-1 ve AÇ-2 araştırma çukurlarından temin edilen örselenmemiş örnekler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma, her araştırma çukuru için iki adet, belirli sabit gerilme izli ($\Delta q / \Delta p = \text{sabit}$) ve yük kontrollü üç eksenli basınç deneylerini içermektedir. Toplam iki takım sabit yük kontrollü üç eksenli basınç deneyi gerçekleştirilmiş ve her takım da iki adet zemin örneği, p' - q düzleminde, farklı gerilme izi eğimlerine sahip olacak şekilde yüklenmişlerdir. Birinci deney takımında uygulanan gerilme izi eğimleri ($\Delta q / \Delta p$), sırası ile 0,25 ve 0,80 olarak, ikinci deney setinde ise 0,77 ve 0,30 olarak seçilmiştir. (Deneysel çalışmayı gerçekleştirmek için tasarlanan "yük kontrollü üç eksenli basınç düzeneği" ve deneylere ait detaylar, yazarların, aynı dergi deki diğer bir makalesinde detaylı olarak verilmiştir.) Üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak oluşturulan (p-q), (p-v) ve (q- ϵ) ilişkileri Şekil 1.a, Şekil 1.b, Şekil 1.c, Şekil 1.d de verilmiştir.



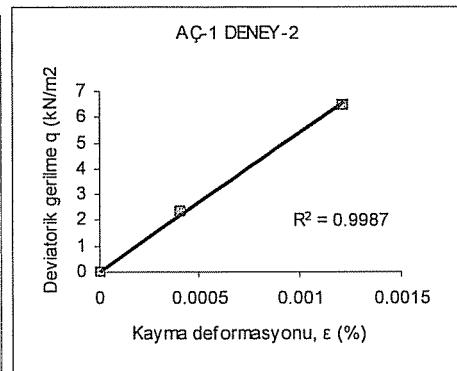
Şekil 1.a. AÇ-2 Deney-1 için (p' -q), (p' -v) ve (q - ϵ) ilişkileri



Şekil 1.b. AÇ-2 Deney-2 için (p' -q), (p' -v) ve (q - ϵ) ilişkileri



Şekil 1.c. AÇ-1 Deney-1 için (p' -q), (p' -v) ve (q - ϵ) ilişkileri



Şekil 1.d. AÇ-1 Deney-2 için (p' -q), (p' -v) ve (q - ϵ) ilişkileri

4. YENİCE KİLİNDE DÜZLEM ANİZOTROPİK ELASTİK PARAMETRELERİN ELDE EDİLMESİ

(1) numaralı şekillerden elde edilen deneysel veriler kullanılarak, anizotropik elastik parametreler hesaplanabilir. Bu amaçla, yukarıda verilen (p-q), (p-v) ve (q-ε) ilişkilerinden alınan ve hesaplamlara girecek olan ham veri değerleri Çizelge 2 de verilmiştir.

Çizelge 2. Anizotropik parametreler için en küçük kareler çözümüne giren ham veri değerleri.

Test No	σ_{vc} (kPa)	$\delta p'$ (kPa)	δq (kPa)	δv (%)	$\delta \epsilon$ (%)
AÇ-2 DENEY1	110	31.04	25	1.5579	0.5954
AÇ-2 DENEY2	110	32.06	8	1.7821	0.2352
AÇ-1 DENEY1	110	6.18	4.75	0.3323	0.1273
AÇ-1 DENEY2	110	7.4	2.330	0.3547	0.04053

Her grup için, $\alpha\sqrt{\delta p'^2 + \delta q^2} = 0.1\sigma_{vc}$ ilişkisi sağlanacak şekilde, bir α katsayısı belirlenmiş ve her grubun ham verilerine ait, her dört elemanı, α katsayısı ile çarpılarak küçültülmüştür. Bu işlemin amacı, her veri grubunun en küçük kareler yöntemine eşit ağırlıklı olarak girmesini sağlamaktır.

Anizotropik elastik parametrelerin hesabında, yukarıda verilen, hesaplama yöntemi kullanılmıştır. İşlemleri hızlı ve kolaylıkla yapabilecek özellikle bir program, "mathematica" ile oluşturulmuştur (Çizelge 4). Anizotropik elastik parametreler, bu program yardımı ile elde edilmiştir. Söz konusu program kullanılarak, AÇ-1 ve AÇ-2 muayene çukurlarından alınan zemin örneklerine ait, çıktı parametreleri hesaplanmıştır. Bulunan bu parametreler, (33) eşitliklerinde yerlerine konularak, altı elastik parametre bulunmuştur. Söz konusu değerler Çizelge 3 de verilmiştir. Aynı çizelgede görülen, v_{HV} parametresi ise, (2) numaralı eşitlik yardımıyla saptanmıştır.

Çizelge 3. Yenice kılinde deneysel ölçülen anizotropik elastik modüller.

Örnek adı	K^*/P_c	G^*/P_c	J^*/P_c	v^*	α^2	E_V (kPa)	E_H (kPa)	v_{VH}	v_{HH}	G_{VH} (kPa)	G_{HH} (kPa)
AÇ-1	17.92	11.45	0,620	0.215	1.27	3303	4211	0.19	0.21	1535	1733
AÇ-2	16.91	11.86	0.419	0.197	1.25	3307	4134	0.18	0.20	1533	1701

Çizelgede verilen, anizotropik elastik modüller incelendiğinde, her iki muayene çukuruna ait, deneylerden elde edilen değerlerin, birbirine yakın olduğu görülmektedir. Sonuçların birbirini desteklemesi, deneysel çalışmadan elde edilen parametrelerin güvenilriliğini artırmaktadır.

**TARSUS/YENİCE KİLİNDE DÜZLEMSEL ANİZOTROPİK ELASTİK
PARAMETRELERİN SAPTANMASI**

Çizelge 4. Anizotropik Elastik Parametreler İçin Hazırlanan Mathematica Programı.

```
(*****anizotrop zemin analizi*****)
Clear["Global`*"];
B = ((K - (2 / 3) * G + (1 / 3) * J)) / alfa;
v = B / (R + B);
Elas = R * (1 + v) * (1 - 2 * v) / (1 - v);

(*****sonuclar*****)

Print[" Toplam deneme sayisi "]
n
Print[" K Degeri "]
K
Print[" G Degeri "]
G
Print[" J Degeri "]
J
Print[" Poisson orani (v) Degeri "]
v
Print[" Elastisite modulu Degeri "]
Elas
Print[" alfa Degeri "]
alfa
Print[" alfanin karesinin Degeri "]
alfa^2
(*****bitti*****)

a31 = 0;
a32 = a12;
a33 = Sum[q[t]^2, {t, 1, n}];
k = {{a11, a12, a13}, {a21, a22, a23}, {a31, a32, a33}};
b1 = Sum[v[t]*p[t], {t, 1, n}];
b2 = Sum[v[t]*q[t] + e[t]*p[t], {t, 1, n}];
b3 = Sum[e[t]*q[t], {t, 1, n}];

(*****)

c = LinearSolve[k, {b1, b2, b3}];
Do[CC[i] = c[[i]], {i, 1, 3}];
cc = {{CC[1], CC[2]}, {CC[2], CC[3]}};
d = Inverse[cc];
K = d[[1, 1]];
J = d[[1, 2]];
G = d[[2, 2]]/3;
R = K + (4 / 3) * G + (4 / 3) * J;
alfa = (Sqrt[(9 * ((K - (2 / 3) * G + (1 / 3) * J)^2) +
(8 * (3 * K * G - (J^2))) - (K - (2 / 3) * G + (1 / 3) * J))]]) / (2 * R);
```

```

B = ((K - (2 / 3) * G + (1 / 3) * J)) / alfa;
v = B / (R + B);
Elas = R * (1 + v) * (1 - 2 * v) / (1 - v);

(* =====sonuclar===== *)

Print["Toplam deneme sayisi "]
n
Print["K Degeri "]
K
Print["G Degeri "]
G
Print["J Degeri "]
J
Print["Poisson orani (v) Degeri "]
v
Print["Elastisite modulu Degeri "]
Elas
Print["alfa Degeri"]
alfa
Print["alfanin karesinin Degeri "]
alfa^2
(* =====bitti===== *)

```

5. SONUC

Zeminlerin oluşum sırasında ve sonrasında evreler anizotrop karakter kazanmalarına neden olmaktadır. Zemin özelliklerinin yatay yönde pek değişmemesi nedeni ile zeminler düzlemsel anizotrop malzemeler olarak kabul edilebilirler. Ne varki zemine ait anizotropik özelliklerin tespit edilmesi oldukça güçtür ve gelişmiş deney düzeneklerini gerekmektedir.

Graham ve Housby tarafından, bilinmeyenlerin sayısını üye indirgeyen ve E^* , v^* ve α dan oluşan, üç parametreli bir çözüm önerilmiştir (1). Söz konusu çözüm yöntemi kullanılarak normal konsolide Yenice kiline ait, beş bağımsız düzlemsel anizotropik malzeme sabitleri elde edilmiştir. Yük kontrollü ve gerilme izli deneyler ile elde edilen gerilme deformasyon verilerinin girdi olarak sunulduğu, mathematica dilinde bir yazılım oluşturulmuştur.

6. KAYNAKLAR

1. Graham,J. and Housby,G.T., "Anisotropic Elasticity of a Natural Clay," *Geotechnique Vol. 33, No.2, pp. 165-180, 1983.*
2. Lings,M.L., Pennington,D.S. and Nash,D.F.T, "Anisotropic Stiffness Parameters and Their Measurements in a Stiff Natural Clay", *Geotechnique 50, No.2, , P109-195, 2000.*

3. Gerrard,C.M., "Background to Mathematical Modelling in Geomechanics", *The Roles of Fabric and Stress-History, Finite Elements in Geomechanics*, John Wiley and Sons, Inc., pp.33-120, New York, N.Y., 1977.
4. Yong,R.N. and Silvestri,V., "Anisotropic Behaviour of a Sensitive Clay", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 16, pp. 335-350, 1979.
5. Kirkgaard,M.M. and Lade,P.V., "Anisotropy of Normally Consolidated San Francisco Bay Mud", *GTJODJ*, Vol.14, No.3, pp. 231-246, Sept., 1991.
6. Simpson,B., Atkinson,J.H. and Jovičić,V., "The Influence of Anisotropy on Calculations of Ground Settlements above Tunnels", *Proceedings of The International Symposium on Geotechnical Aspects of Undergruond Construction in Soft Ground*, pp 591-594, Rottterdam, Belkama, 1996.
7. Love,A.E.H., "Atreatise on Mathematical Theory of Elasticity". Dover Publicatios, New York, 1927.
8. Bellotti,R., Jamiolkowski,M., Lo Presti,D.C.F. and O'neill,D.A., "Anisotropy of Small Strain Stiffness in Ticino Sand." *Geotechniqu*, Vol.46, no.1, pp.115-131, 1996.
9. Fioravente,V. and Capoferri,R., "On the use of Multi-Directional Piezoelectric Transducers in Triaxial Testing." *Geotechnical Testing Journal*, *GTJODJ*, Vol.24, No.3, pp. 243-255, September, 2001.

1. GİRİŞ

Mühendislik yapılarında çelik malzeme yaklaşık iki yüz yıldan beri kullanılmaktadır. 20.yüzyıl başlarında kaynaklı birleşimlerle uygulama alanına girmesiyle kullanımı yaygınlaşmıştır.

Günümüzde gerek içerisinde kolon bulunmayan büyük açıklıklı binalara, gerekse büyük yerleşim yerlerinde belirli merkezlerde toplanan yoğun insan kitlesini barındıracak çok katlı binalara olan ihtiyaç; bu binaların taşıyıcı iskelelerinde yüksek dayanımlı malzeme kullanma zorunluluğu getirmektedir. Büyük açıklıklı ve çok katlı betonarme taşıyıcı sistem kullanılması halinde esas taşıyıcı elemanlara etkiyen kesit tesirlerinin büyülüğü, çok büyük betonarme kesitlerin kullanılmasını gerektirmektedir. Binalarda büyük kesitli kolon ve kirişler fazla yer kaplamakta, dolayısı ile bina öz ağırlığının artmasına ve ayrıca maliyetlerin yükselmesine neden olmaktadır. Bu nedenle çelikin kullanılması ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Böylece, büyük açıklıkların daha küçük kesitli taşıyıcı elemanlarla yapılması sayesinde rahat hacimler sağlanmış olacak ve nüfus yoğunluğu fazla olan yerleşim merkezlerinde çok katlı bina yapılarak ihtiyaçlar karşılanmış olacaktır. Bugün ülkemizde çelik yapılar genellikle büyük açıklıklı, tek katlı endüstri yapıları veya çok katlı teknolojik binalar şeklinde uygulanmaktadır.

Her türlü yapı için geçerli olan temel esaslardan biri olan doğru analizin yanı sıra malzeme seçiminde etken olarak, mimari, işlevsel katkılar, yapım süresi ve rekabet gücü gibi tasarıma dair özellikler söz konusudur. Bu noktada çelik malzeme, yapı tasarıımı aşamasında özellikle detaylandırma ve uygulama konusunda proje yapan mühendislere değişik seçenekler sunmaktadır.

İlerleyen teknoloji ve beyin gücü ile en zorlu uygulamalar bile hayatı geçirilebilmektedir. Bu sürecin projelendirme aşamasında faydalanan üç boyutlu yapı modelleme programlarından biri de SAP2000 programıdır. Genel hatlarıyla SAP2000, sonlu elemanlar yöntemine dayalı, hızlı ve kolay modelleyebilme, hazır model kütüphanesinden ve başka bir programdan model aktarabilme veya ekleme, model üzerinde her an değişiklik yapabilme, analiz sonuçlarını şekeyen ve sayısal olarak izleyebilme, boyutlandırmada optimizasyon gibi pek çok işlevle izin veren kapsamlı bir programdır. Hesap ve detaylarda titizlikle çalışmaya izin vermesinin yanında tasarım aşamasında oluşturulan eleman verilerinin CNC (Computer numerically controlled) tezgahlarına elektronik ortamda aktarımı ile aynı uygulamanın farklı safhalarında aynı verilerin işlenmesini mümkün kılmaktadır. Böylece klasik sistemlerdeki her iş istasyonunda düzenlenmesi gereken belge kalabalığı ve getirebileceği sorunlar da ortadan kalkmış olmaktadır (1).

Beklentileri karşılayabilmek ve teknolojiyi yakalayabilmek için, kalifiye işçilerin ve bu konuda çalışan projecilerin az olması gibi caydırıcı sebeplere rağmen çelik kullanımını artırmaya, ufku açık bireyler yetiştirmenin de önünü açmaya yönelik çalışmalar arasında yer almasını hedeflediğimiz bu çalışma kapsamında; çelik ve çelik yapı tasarıımı ile ilgili mevcut bilgi düzeyini artırmanın yanında, çelik yapıların SAP2000 programı ile analizi ve tasarım hakkında da ışık tutması amaçlanmıştır.

Genel olarak tasarım, işlevsel tasarım ve taşıyıcı sistemin tasarımını olmak üzere iki bölümde düşünülebilir. İşlevsel tasarımında iç ve dış mimari göz önünde tutulur; taşıyıcı sistemin tasarımında ise işletme yüklerini güvenle taşıyacak elemanların seçimi gerekir. Tasarımın adımları, planlama, ön tasarım, yüklerin saptanması, ön boyutlama, analiz

(yüklerin ve sistemin modellenmesi, iç kuvvetlerin ve yer değiştirmelerin saptanması), değerlendirme (dayanım ve işletme koşullarının kontrolü; sonucun optimum tasarım kriterleriyle uyumunun belirlenmesi), gerekliyse yeniden tasarım ve sonuç şeklinde özetlenebilir.

Tasarım adımları, bu çalışmada incelenen, Türkiye'de kullanımını yaygınlaşan yapı tiplerinden gerek hal gerekse karkas yapılara örnek üç farklı çelik yapı projesinin, SAP2000 programı yardımıyla hesap ve projelendirmesinde izlenen yol ve yöntemler ile örnekleştirilmiştir. Farklı tasarım şekilleri uygulanarak verilerin karşılaştırılması ile çeşitli sonuçlara varılmış ve öneriler sunulmuştur. Çalışmada ayrıca temel projelendirmesinde İdeCAD ve çizimlerin hazırlanmasında AutoCAD programlarından yararlanılmıştır.

2. MATERİYAL VE METOD

2.1. Materyal

Bu çalışmada, tek ve çok açıklıklı taşıyıcı sistemler ile çok katlı sistemlerin ilgili yönetmelik koşullarına göre analiz ve tasarımları yapılmıştır. Endüstri yapılarının statik yükler ve rüzgar yükleri altında projelendirilmesinde TS498 (Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler), TS648 (Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları), ve TS3357 (Çelik Yapılarda Kaynaklı Birleşimlerin Hesap ve Yapım Kuralları) kullanılmıştır. Ayrıca iki katlı binanın statik yükler ve deprem yükleri altında projelendirilmesinde ise bu standartlara ek olarak TDY98 (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik) kullanılmıştır.

Yapı analiz ve tasarımları için geliştirilmiş sonlu elemanlar yöntemine dayalı, genel amaçlı SAP2000 yapısal analiz programı kullanılmıştır. Ayrıca yardımcı program olarak İdeCAD ve AutoCAD programlarından da yararlanılmıştır.

2.2. Metod

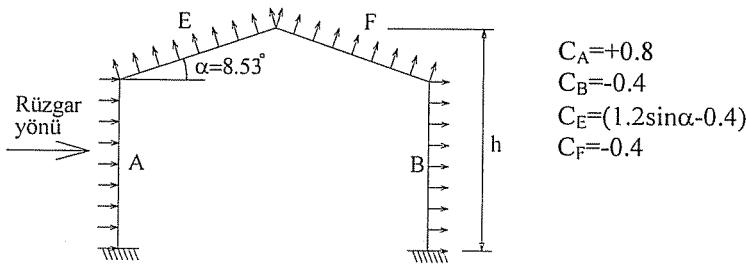
SAP2000 bir (çubuk), iki (alan) ve üç (katı cisim) boyutlu elemanlar ile mühendisin problemlerine cevap verebilmektedir. Genel olarak kullanılan elemanlar bir boyutlu çubuk (frame) elemanlardır. Çubuk elemanlar aslında sonlu elemanlar yönteminin özel bir halini temsil eder. En gerçekçi davranışa ulaşabilmek için örneğin bir kiriş elemanın katı modellemesi yapılabılır veya iki boyutlu alan elemanları ile çözüme ulaşılabilir. Ancak, bu konuda yapılan teorik çalışmalar neticesinde belirli bir geometride üç boyutlu ya da iki boyutlu yapısal elemanların bir boyutlu çubuk elemanlar ile temsil edileceği belirlenmiştir.

Bu çalışmada da düzlemsel ve üç boyutlu bina çerçevelerini modellerken taşıyıcı sistem elemanları için çubuk elemanları kullanılmıştır. Çubuk eleman kesitleri seçimi için SAP2000 programındaki çelik profil kütüphanesinden yararlanılmıştır.

Çalışmada ilk olarak tek açıklıklı kafes kiriş-kolon çerçevesinin çözümü için tasarım adımları izlenerek SAP2000 programı ile kesit tesirleri elde edilmiştir ve kesit tahkikleri yapılmıştır. Çeşitli kontroller ve hesaplamlar ile ekonomik ve güvenli olacak şekilde kesitler ve elemanlar seçilmiştir. Yapı temeline ait hesaplar için İdeCAD programından yararlanılmıştır. Analiz ve boyutlandırma sonrasında uygulama projeleri AutoCAD programı ile hazırlanmıştır. Dolu gövdeli çerçeve sisteminde ve iki katlı kiriş- kolon çerçeve sisteminde de aynı sıra izlenmiştir.

3. KAFES KİRİŞ KOLON VE DOLU GÖVDELİ SİSTEM YÜK ANALİZİ

Çatı örtüsü öz ağırlığı (A).....	$=5.00 \text{ kg/m}^2$ (Y.D.)
Aşık öz ağırlığı (B).....	$=10.00 \text{ kg/m}^2$ (Y.D.)
Çatı makası öz ağırlığı (C).....	$=15.00 \text{ kg/m}^2$ (Y.D.)
Kar yükü (2) $h=10.4 \text{ m}$ (D).....	$=30.00 \text{ kg/m}^2$ (Y.D.)
Rüzgar yükü hesabı, $h=10.4 \text{ m} \Rightarrow q_r=80 \text{ kg/m}^2$, $P=C^*q$	$=75.00 \text{ kg/m}^2$ (Y.D.)



Şekil 1. Rüzgar yükünün etkisi

E düzleminde $P_{re}=C_e.q=(1,2\sin\alpha-0,4).q=(1,2,0,148-0,4).80.....$	$=-17.80 \text{ kg/m}^2$ (Ç.D)
F düzleminde $P_{rf}=C_f.q=(-0,4).q=(-0,4).80.....$	$=-32.00 \text{ kg/m}^2$ (Ç.D)
A düzleminde $P_{ra}=C_a.q=(0,8).q=(0,8).80.....$	$=64.00 \text{ kg/m}^2$ (D.D)
B düzleminde $P_{rb}=C_b.q=(-0,4).q=(-0,4).80.....$	$=-32.00 \text{ kg/m}^2$ (D.D)

3.1. Düğüm Noktası Yüklerinin Hesabı

Öz ağırlık: $A+B+C$

$$g=30.6.00.2.00=360 \text{ kg}=0,360 \text{ t} \quad g/2=0,180 \text{ t}$$

Tam kar ve yarım kar yüklemesi:

$$\begin{array}{ll} k=75 \text{ kg/m}^2; k=75.6.00.2.00=900 \text{ kg}=0,900 \text{ t} & k/2=0,450 \text{ t} \\ y_k=75 \text{ kg/m}^2; y_k=75.6.00.2.00=900 \text{ kg}=0,900 \text{ t} & y_k/2=0,450 \text{ t} \end{array}$$

Rüzgar yüklemesi:

$$\begin{array}{ll} r_{sol-E}=r_{sag}-F=P_{we}=P_{re}.a_1.L=-17,80.2,02.6,00=-215,74 \text{ kg}=-0,216 \text{ t} & P_{we}/2=0,108 \text{ t} \\ r_{sol-F}=r_{sag}-E=P_{wf}=P_{rf}.a_1.L=-32,00.2,02.6,00=-387,84 \text{ kg}=-0,388 \text{ t} & P_{wf}/2=0,194 \text{ t} \\ r_{sol-A}=r_{sag}-B=P_{wa}=P_{ra}.L=-64,00.6,00=-384 \text{ kg/m} (*1.25)=480 \text{ kg/m} & \\ r_{sol-B}=r_{sag}-A=P_{wb}=P_{rb}.L=32,00.6,00=192 \text{ kg/m} (*1.25)=240 \text{ kg/m} & \end{array}$$

Kolon zati yüklemesi:

$$g=0.0124*8.00*7.850=0.78 \text{ t} \text{ (kafes kiriş kolon çerçevesi için)}$$

$$g=0.0239*7.850=188 \text{ kg/m}=0.188 \text{ t/m} \text{ (dolu gövdeli çerçeve sistem için)}$$

Kren yüklemesi: (kren kiriş hesabından) (kafes kiriş kolon çerçevesi için)

$$v_{sol}=v_{sag}=-12.33 \text{ t (+z yönünde)}; -1.233 \text{ t (+x yönünde)}$$

4. İKİ KATLI KİRİŞ KOLON ÇERÇEVE SİSTEM YÜK ANALİZİ

4.1. Zemin Kat Döşeme Yükü

Sabit Yük—G

Zati yük G yüklemesinin içindedir.

$$\begin{array}{ll} \text{Kaplama} & =170 \text{ kg/m}^2 \\ \text{OSB:(10mm)} \quad 1000\text{kg/m}^3 \times 0.010\text{m} & =10 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Alçıpan:(10mm)} & =10 \text{ kg/m}^2 \\ & \underline{\underline{=190 \text{ kg/m}^2}} \end{array}$$

$$\text{Duvar 2 yüzü alçıpan: } 2 \times 10 \times (h=3.00\text{m}) \quad =60 \text{ kg/m}$$

Hareketli Yük—Q

$$\text{Odalarда:} \quad =200 \text{ kg/m}^2$$

X Doğrultusunda Ana Kiriş Yükü (Duvarlı)

Sabit Yük—G

Zati yük G yüklemesinin içindedir.

Döşeme yükü döşemeden aktarılmaktadır.

$$\begin{array}{ll} \text{Duvar yükü:} & =60 \text{ kg/m} \\ & \underline{\underline{=60 \text{ kg/m}}} \end{array}$$

Hareketli Yük—Q

Döşeme yükü döşemeden aktarılmaktadır.

X Doğrultusunda Ana Kiriş Yükü (Duvarsız)

Sabit Yük—G

Zati yük G yüklemesinin içindedir.

Döşeme yükü döşemeden aktarılmaktadır.

$$\begin{array}{ll} & =0.001 \text{ kg/m} \\ & \underline{\underline{=0.001 \text{ kg/m}}} \end{array}$$

Y Doğrultusunda Ana Kiriş Yükü (Duvarsız, 2 Yanı Döşemeli)

Sabit Yük—G

Zati yük G yüklemesinin içindedir.

$$\begin{array}{ll} \text{Döşeme yanı:} \quad 190 \text{ kg/m}^2 \times 0.50\text{m} & =95 \text{ kg/m} \\ & \underline{\underline{=95 \text{ kg/m}}} \end{array}$$

Hareketli Yük—Q

$$\begin{array}{ll} 200 \text{ kg/m}^2 \times 0.50\text{m} & =100 \text{ kg/m} \\ & \underline{\underline{=100 \text{ kg/m}}} \end{array}$$

Y Doğrultusunda Ana Kiriş Yükü (Duvarlı, 2 Yanı Döşemeli)

Sabit Yük—G

Zati yük G yüklemesinin içindedir.

$$\begin{array}{ll} \text{Döşeme yanı:} \quad 190 \text{ kg/m}^2 \times 0.50\text{m} & =95 \text{ kg/m} \\ \text{Duvar yükü:} \quad \text{duvar kırışın üzerinde ise} & =60 \text{ kg/m} \\ & \underline{\underline{=155 \text{ kg/m}}} \end{array}$$

Hareketli Yük—Q

$$\begin{array}{ll} 200 \text{ kg/m}^2 \times 0.50\text{m} & =100 \text{ kg/m} \\ & \underline{\underline{=100 \text{ kg/m}}} \end{array}$$

Y Doğrultusunda Ana Kiriş Yükü (Duvarlı, 1 Yanı Dösemeli)*Sabit Yük—G*

Zati yük G yüklemesinin içindedir.

$$\text{Döseme yanı: } 190 \text{ kg/m}^2 \times 0.25\text{m} = 48 \text{ kg/m}$$

$$\text{Duvar yükü: } = 60 \text{ kg/m}$$

$$= 108 \text{ kg/m}$$

Hareketli Yük—Q

$$200 \text{ kg/m}^2 \times 0.25\text{m} = 50 \text{ kg/m}$$

$$= 50 \text{ kg/m}$$

Y Doğrultusunda Tali Kiriş Yükü (Duvarsız, 2 Yanı Dösemeli)*Sabit Yük—G*

Zati yük G yüklemesinin içindedir.

$$\text{Döseme yanı: } 190 \text{ kg/m}^2 \times 0.50\text{m} = 95 \text{ kg/m}$$

$$= 95 \text{ kg/m}$$

Hareketli Yük—Q

$$200 \text{ kg/m}^2 \times 0.50\text{m} = 100 \text{ kg/m}$$

$$= 100 \text{ kg/m}$$

4.2. 1. Kat Döseme Yükü

$$\text{Sabit Yük—G} = 190 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Duvar 2 yüzü alçıpan: } 2 \times 10 \times (h=1.00\text{m}) = 20 \text{ kg/m}$$

Hareketli Yük—Q

$$\text{Odalarda: } = 150 \text{ kg/m}^2$$

X Doğrultusunda Ana Kiriş Yükü (Duvarlı)*Sabit Yük—G*

Zati yük G yüklemesinin içindedir.

Döseme yükü dösemeden aktarılmaktadır.

$$\text{Duvar yükü: } = 20 \text{ kg/m}$$

$$= 20 \text{ kg/m}$$

Hareketli Yük—Q

Döseme yükü dösemeden aktarılmaktadır.

X Doğrultusunda Ana Kiriş Yükü (Duvarsız)*Sabit Yük—G*

Zati yük G yüklemesinin içindedir.

Döseme yükü dösemeden aktarılmaktadır.

$$= 0.001 \text{ kg/m}$$

$$= 0.001 \text{ kg/m}$$

Y Doğrultusunda Ana Kiriş Yükü (Duvarsız, 2 Yanı Dösemeli)*Sabit Yük—G*

Zati yük G yüklemesinin içindedir.

$$\begin{array}{lll} \text{Döşeme yanı:} & 190 \text{ kg/m}^2 \times 0.50\text{m} & \\ & =95 \text{ kg/m} & \\ & =95 \text{ kg/m} & \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} \text{Hareketli Yük---Q} & & \\ 150 \text{ kg/m}^2 \times 0.50\text{m} & & \\ & =75 \text{ kg/m} & \\ & =75 \text{ kg/m} & \end{array}$$

Y Doğrultusunda Ana Kiriş Yükü (Duvarlı, 1 Yanı Döşemeli)

Sabit Yük---G

Zati yük G yüklemesinin içindedir.

$$\begin{array}{lll} \text{Döşeme yanı:} & 190 \text{ kg/m}^2 \times 0.25\text{m} & \\ & =48 \text{ kg/m} & \\ \text{Duvar yükü:} & & \\ & =20 \text{ kg/m} & \\ & =68 \text{ kg/m} & \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} \text{Hareketli Yük---Q} & & \\ 150 \text{ kg/m}^2 \times 0.25\text{m} & & \\ & =38 \text{ kg/m} & \\ & =38 \text{ kg/m} & \end{array}$$

Y Doğrultusunda Tali Kiriş Yükü (Duvarsız, 2 Yanı Döşemeli)

Sabit Yük---G

Zati yük G yüklemesinin içindedir.

$$\begin{array}{lll} \text{Döşeme yanı:} & 190 \text{ kg/m}^2 \times 0.50\text{m} & \\ & =95 \text{ kg/m} & \\ & =95 \text{ kg/m} & \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} \text{Hareketli Yük---Q} & & \\ 150 \text{ kg/m}^2 \times 0.50\text{m} & & \\ & =75 \text{ kg/m} & \\ & =75 \text{ kg/m} & \end{array}$$

4.3. Kolon Yükü

Sabit Yük---G

Zati yük G yüklemesinin içindedir.

$$\begin{array}{ll} & =0.001 \text{ kg/m} \\ & =0.001 \text{ kg/m} \end{array}$$

4.4. Deprem Hesabı

Deprem hesabında Afet yönetmeliğinden yararlanılmıştır. Eşdeğer deprem yöntemi ile süneklliliği yüksek yapı olarak çözülmüştür. Bina konut tipi, zemin Z3 sınıfı, bölge 1.derece deprem bölgesi kabul edilmiştir.

$$\begin{array}{ll} \text{Üst kat---G=12390 kg} & ---Q=7508 \text{ kg} \\ \text{Alt kat---G=15049 kg} & ---Q=10003 \text{ kg} \end{array}$$

$$W_i = G + nQ \quad n=0.3$$

$$W_{i1} = 12390 + 0.3 \times 7508 = 14642 \text{ kg}$$

$$W_{i2} = 15049 + 0.3 \times 10003 = 18050 \text{ kg}$$

$$W = \Sigma W_i = 32692 \text{ kg}$$

$$T = 0.08 * H^{0.75} = 0.08 * 6^{0.75} = 0.31$$

$$I=1$$

$$Ta=0.15 \quad Tb=0.60$$

$$Ao=0.40$$

$$R=8$$

$$V(t) = W \times \frac{A(T1)}{R}$$

$$A(T1) = A_0 \times S(T) \times I$$

$$A(T1) = 0.4 \times 2.5 \times 1 = 1$$

$$V(t) = 32692 \times \frac{1}{8} = 4087 \text{ kg}$$

$$W_{i1} \times H_i = 14642 \times 6 = 87852 \text{ kg}$$

$$W_{iz} \times H_i = 18050 \times 3 = 54150 \text{ kg}$$

$$\Sigma W_i \times H_i = 142002 \text{ kg}$$

$$F_i = V(t) \times \frac{W_i H_i}{\Sigma W_i H_i}$$

$$F_1 = 4087 \times \frac{87852}{142002} = 2528 \text{ kg}$$

$$\frac{2528}{3} = 843 \text{ kg} \quad \frac{2528}{4} = 632 \text{ kg}$$

$$F_2 = 4087 \times \frac{54150}{142002} = 1559 \text{ kg}$$

$$\frac{1559}{3} = 520 \text{ kg} \quad \frac{1559}{4} = 390 \text{ kg}$$

5. BİR SİSTEMİN SAP2000'DE OLUŞTURULMASI VE ÇÖZÜMÜ

Yük analizi sonrasında SAP2000'de analiz ve tasarımın adımları şunlardır :

Birim seçilir.

Modelleme yapılır.

Malzeme tanımlanır.

Dosya kaydedilir.

Kesit tanımlanır.

Çubuklar ve düğüm noktaları sıralanır, istenirse özel olarak isimlendirilir.

Seçimde veya verilerin okunmasında kolaylık açısından gruplandırma yapılır.

Kesitler çubuklara atanır.

Yüklemeler tanımlanır.

Analiz tanımları düzenlenir.

Yükler sisteme atanır.

Yük kombinasyonları tanımlanır.

Düğüm noktası birleşim detaylarına göre düğüm noktası şartları tanımlanır.

Düzlemsel veya üç boyutlu sistem olmasına göre serbestlikler belirlenir.

Analiz yapılır ve kesit tesirleri elde edilir

Boyutlandırmada esas alınacak yönetmelik seçilir, gerekli düzeltmeler yapılır.

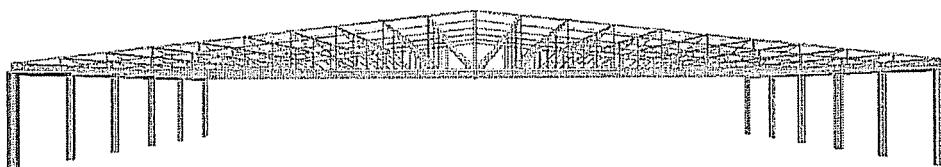
Boyutlandırmada esas alınacak yük kombinasyonları seçilir.

Kesit tahkiki yapılır.

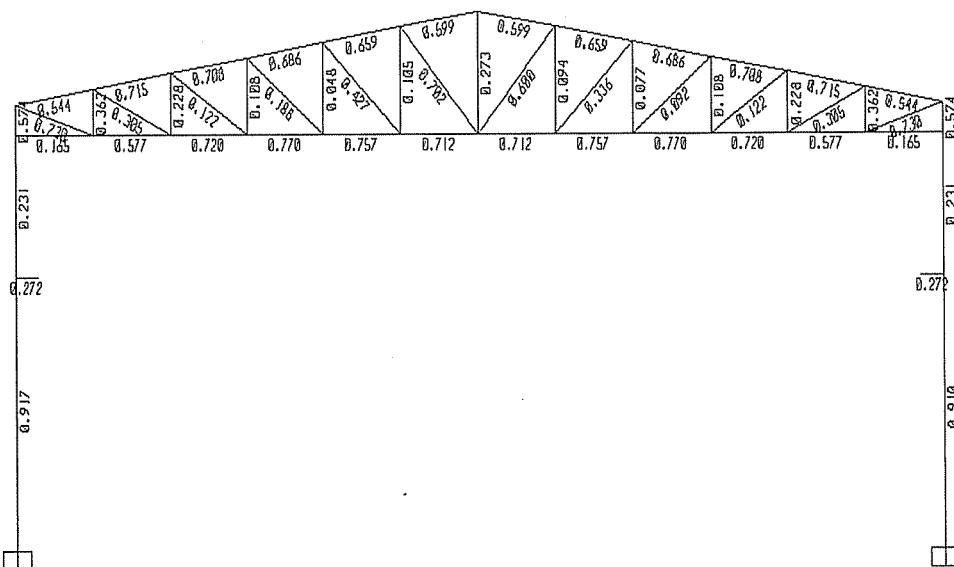
Statik hesap sonucu elde edilen kesit tesirleri yardımcı ile çelik birleşim detayları şekillendirilir, ve imalat ile uygulama projeleri hazırlanır.

Ayrıca aşık hesabı ve detaylandırılması da bağımsız olarak yapılır.

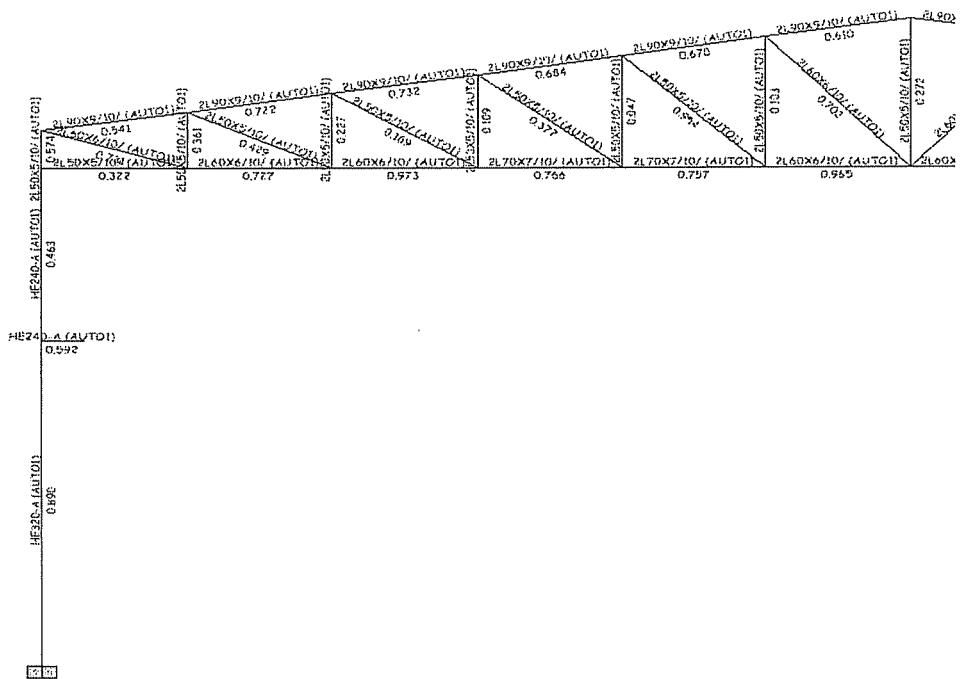
5.1. Kafes Kiriş Kolon Çerçeve Sistem



Şekil 2. Kafes kiriş kolon çerçeve sistem

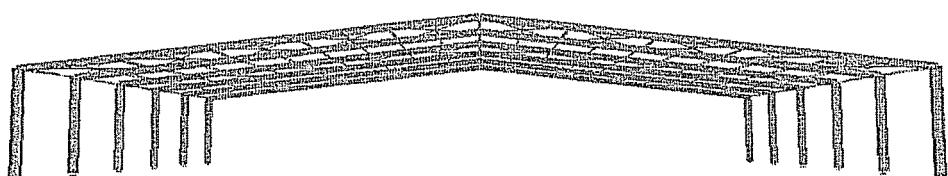


Şekil 3. Kesit tahkik sonuçları

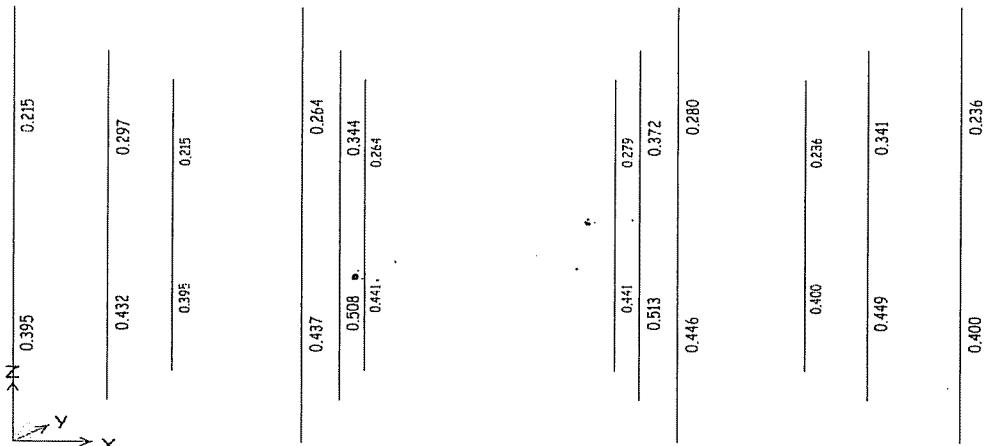


Şekil 4. AUTO1 listesine göre program tarafından atanmış kesitlerin tahlık sonuçları

5.2. Dolu Gövdeli Çerçeve Sistem



Şekil 5. Dolu gövdeli çerçeve sistem



Şekil 9.Kolon kesit tahlik sonuçları

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çeligin vazgeçilmez bir malzeme haline geldiği dünyada, ülkemizde de çeligin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bunun nedeni ise, günden güne değişen, artan ihtiyaçlar ve bilinçlenen toplum çerçevesinde, yapılarda özellikle aranan depreme karşı performans, imalatta yüksek kalite ve uygulamada kontrol edilebilirlik, yapı ağırlığının az olması, düşük temel maliyeti, inşaat süresinin kısalması, mekandan tasarruf vb. gibi vasıflara uygunluguudur.

Estetik, işlevsellik, kullanım ömrü gibi yapının rekabet gücünü artıran yönler açısından düşünüldüğünde çelik malzeme, yapı tasarımına ve programlamaya özellikle detaylandırma ve uygulama konusunda projelendirmeyi yaparken mühendise değişik seçenekler sunmaktadır.

Bu çalışmada üç farklı proje ile çelik yapı çözümüne örnekleme yapılmıştır. Üst yapı statik hesabın yapılmasında SAP2000, yapı temel statik hesaplarında İdeCAD, çizimlerin hazırlanmasında AutoCAD programlarından yararlanılarak bilgisayar kullanımı en üst düzeyde tutulmaya çalışılmıştır. Böylece harcanan zaman kaybı azaltılmış, verimli ve etkin bir şekilde projenin sonuçlandırılması sağlanmıştır.

Her yapı tipi için çeşitli tasarım şekilleri uygulanarak bazı sonuçlara varılmış ve öneriler özetlenmiştir.

4. Bölümde,

24m açıklıklı kafes kiriş-makas, 8m yüksekliğinde kolon, 5.20m'de gezer vinçten oluşan, 30m uzunluğunda kafes kiriş-kolon sistem çözülmüştür.

Yapıya ait özellikler dikkate alınarak ve TS498, TS648 ve TS3357 kullanılarak, statik yükler ve rüzgar etkisinde, yük analizi için gerekli olan değerler ilgili tablolardan okunmuştur.

Makas ve kolon birlikte çerçeve olarak analiz edilmiştir. Tek başına makas çözülüp, mesnetlerden elde edilen reaksiyonların kolona yük olarak atandığı çözüm yöntemi ile yakın sonuçlar gözlenmiştir.

SAP2000'de modellemede uygulama aşamasında üst ve alt başlığın sürekliliği, dikme ve diyagonallerinse parçalı olduğu düşünülperek örgü çubuklarının başlıklara bağlantılarına mafsallı şartı atanmıştır.

Tüm makas elemanları birbirine rıjît bağlı düşünüldüğünde, bir başka deyişle örgü çubuklarının dönmesi engellenip moment çubuğu gibi çalıştırıldığında, normal kuvvette çalıştığı esasına göre boyutlandırılan çubukların moment aldığı ve bazı çubuklar için kesitlerin yetersiz olduğu gözlenmiştir.

Tüm makas elemanları mafsallı bağlı düşünüldüğünde kesitler daha ekonomik çıkmaktadır. Ancak bu durum uygulamadaki birleşim şekline uygun değildir.

Aşık hesabında gergisiz durumda gerilme tahkiki ve sehim kontrolu sağlanamamıştır, aşık çift gergili teşkil edilmiştir. Gergiler aşık kesitini küçültmektedir. Bu da yapının ağırlığı ve ekonomiklik konusunda olumlu bir etkendir. Aynı zamanda sehimini azalttığı için de güvenlidir.

Uygun kesitin belirlenmesinde SAP2000'in sunduğu bir yöntem de çeşitli kesitlerden oluşan bir liste hazırlayıp, bu listeden eleman kesitlerinin program tarafından atanmasıdır. Auto select, nihai kesit seçimi için kullanılabileceği gibi ön seçim amaçlı da kullanılabilecek bir özelliktir. Bu özellik ile çözümde elde edilen kesitlerin ve yeterliliklerinin mevcut sonuçlar ile uyumluluğu gözlenmiştir.

5. Bölümde,

7.40m yüksekliğinde kolon, 3.00m orta yükseklikli, 40m açıklıklı kırık çerçeveden oluşan, 30m uzunluğunda dolu gövdeli çerçeve sistem çözülmüştür.

Yapıya ait özellikler dikkate alınarak ve TS498, TS648 ve TS3357 kullanılarak, statik yükler ve rüzgar etkisinde, yük analizi için gerekli olan değerler ilgili tablolardan okunmuştur.

Kolonun temele bağlantısı mafsallı teşkil edilmiştir. Kesit tesirleri ile köşe düğüm noktaları ve kolon temel bağlantı noktası birleşim detayları teşkil edilmiştir.

Kolonun temele bağlantısı ankastre teşkil edildiğinde ise kesitlerin çalışma kapasitelerinin düştüğü görülmektedir. Temel bağlantısının ankastre olmasıyla üst çerçevede daha küçük kesit seçilebilmektedir. Bu da yapının ağırlığı ve ekonomiklik konusunda olumlu bir etkendir.

6. Bölümde,

Bir doğrultuda 10m, diğer doğrultuda 5m açıklığı, 3.00m kat yüksekliği olan, dış cephesi iki yüzü alçıpan duvarla çevrili, döşemesi alçıpan+OSB+kaplama malzemesinden oluşan, iki katlı kiriş kolon çerçeve sistem çözülmüştür.

Yapıya ait özellikler dikkate alınarak ve TS498, TS648, TS3357'ye ek olarak TDY98, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik kullanılarak, statik ve (eşdeğer deprem yönemine göre) dinamik yükler etkisinde, yük analizi için gerekli olan değerler ilgili tablolardan okunmuştur.

SAP2000'de modelleme yapılmış ve kesit tesirleri elde edilmiştir. Her kat döşeme düzlemi içinde diyafram gibi davranmaktadır, bu yüzden bir katı temsil eden düğüm noktalarına diyafram şartı atanmıştır.

Döşeme kirişleri sadece düşey kuvvet aktaracak şekilde, teşkil edilmiştir, bir başka deyişle döşeme izgaraları kirişlere mafsallı bağlıdır. Döşeme kirişleri ile ana kirişlerin

bağlantılarının mafsallı ve rıjıt olduğunda elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında rıjıt bağılıken ortadaki kırış ve kolonlarda çalışma kapasitelerinde artma olduğu gözlenmiştir. Sayısal bakımdan çok farklı olmasa da mafsallı detaylandırma ile orta ana kırış ve kolon kesitleri daha küçük seçilebilir.

Kolon temel bağlantısı ankastredir.

Dinamik analizler eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesaplanmıştır. Her katın kütlesi (G ve Q olarak) hesaplandıktan ve yapının yapılacak bölgeye, kullanım amacına ve zeminin sınıfına göre bazı parametreler belirlendikten sonra (1.deprem bölgesi, konut, Z3 sınıfı zemin), katlara gelen kesme kuvvetleri belirlenmiş ve etkilendirilmiştir. Daha sonra elde edilen kesit tesirleri kullanılarak detaylandırma yapılmıştır.

Sistemin 5m doğrultusundaki aksları ve 10m doğrultusundaki orta iki aks arasında 2L50*5/10 profili ile dış cephe çaprazlar teşkil edildiğinde kırış ve özellikle kolon kesitlerinde ciddi anlamda küçülme olduğu gözlenmiştir. Sistem çaprazlı düzenlendiğinde kesitler azalmakta, yapı hafiflemekte ve gerek rüzgar gerekse dinamik etkilere karşı daha rıjıt olmaktadır.

Yapıların projelendirilmesinde kullanılan programların doğruluğu önemlidir. Ancak, aynı zamanda kullanıcı, programın temel varsayımlarını açıkça anlamalı ve programın oluşturduğu sonuçları kendisi bağımsız olarak kontrol edebilmelidir.

7. KAYNAKLAR

1. *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, Sayı :418, No:2, 2002.*
2. *Çelebi,T., Sanayi Yapı Projeleri, Üçer Matbaacılık, İstanbul, 1978.*
3. *Deren,H., Uzgider,E., Piroğlu,F., "Çelik Yapılar", Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 2002.*
4. *Odabaşı,Y., "Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları", Beta Basım Yayımlama Dağıtım A.Ş., 2000.*
5. *Özmen,G., Orakdögen,E., Darılmaz,K., "SAP2000 Uygulamaları", İstanbul, 2003.*
6. *Öztürk,Z., "Çelik Yapılar", Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002.*
7. *TDY98, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998.*
8. *TS498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılması Alınacak Yükler, 1987*
9. *TS648, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, 1982.*
10. *TS3357, Çelik Yapıarda Kaynaklı Birleşimlerin Hesap ve Yapım Kuralları, 1979.*
11. *Uluğ,T.N., "Çelik Yapılar", Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul, 1984.*
12. *Yorgun,C., "Çelik Yapılar 2 Ders Notları", İstanbul, 2002.*
13. *Yardımcı,N., "Çelik Yapılar 1 Ders Notları", İstanbul, 2001.*
14. *İDEYAPI Bilgisayar Destekli Tasarım Müh. Dan. Taah. Ltd.Şti., Bursa.*
15. *Wilson,E.L., "SAP2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures", Computers and Structures, Inc., 1-2 1997.*
16. *The Apache Software Foundation "AutoCAD" Autodesk, Inc.*
17. www.serki.com
18. www.itu.edu.tr

BİLEŞİK KESİTLİ AKARSU YATAKLARINDA İKİ BOYUTLU YÖNTEMLERLE DEBİ TAYİNİ

Mustafa MAMAK

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

Galip SEÇKİN

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

ÖZET : Bir ana kanal ve taşkın yatağından oluşan bileşik kanallarda, taşkın sırasında oluşan debinin hesaplanması nehrin sadece yatak içinde akması durumuna göre daha zordur. Bileşik kesitli kanallardaki debinin hesaplanmasında kullanılan bir ve iki boyutlu yöntemler mevcuttur. Bu çalışmada, farklı pürüzlülüğe sahip bir deneysel çalışmaya ait bileşik kesitli bir kanalın debi taşıma kapasitesi, bir boyutlu Ackers (COH) yöntemi ve iki boyutlu Shiono-Knight Metodu (SKM) ile hesaplanmıştır. Hesap sonucu elde edilen teorik sonuçlarla, deneySEL bulguların ve yöntemlerin birbiri ile karşılaştırılması yapılmıştır.

DETERMINATION OF DISCHARGE CAPACITY OF COMPOUND CHANNELS WITH 2-D METHODS

ABSTRACT : During flood events, the computation of discharge capacity of a compound channel consisting of a main channel and its floodplains, is more difficult than when the river is flowing just inbank. There have been several one and two dimensional methods to compute the discharge capacity of a compound channel. Herein, the discharge capacity of a compound channel having different roughness that is used in an experimental study, is calculated by one dimensional Ackers (COH) method and two dimensional Shiono-Knight method (SKM). The comparison of theoretical values versus experimental results, and the comparison of methods with each other are carried out.

* Bu çalışma, Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje no: MMF.2005.BAP7

1. GİRİŞ

Genellikle bir ana kanal ve taşın yatağından oluşan bileşik kanallar, çevresel, ekolojik ve tasarım özellikleri açısından çok önemlidir. Bu nedenle, hem ana yatak hem de taşın yatağında akım oluşması durumunda nehrin akış mekanizmasının anlaşılması gereklidir. Nehrin taşın sırasında yatağından aşması halinde ana kanal ve taşın yatağındaki debinin hesaplanması, nehrin sadece yatak içinde akması durumuna göre daha zordur.

Momentum etkileşimi ilk olarak Sellin (1) ve Zheleznyakov (2) tarafından tanımlanmış ve incelenmiştir. Sellin [1] den sonra çalışma, momentum etkileşimi yönünde ilerlemiştir. Bir kısım araştırmacılar, düz, bileşik kanallardaki akım olayını incelemiştir ve bu kanallardaki debi kapasitesini belirlemek üzere bir boyutlu yöntemler önermişlerdir (3-14).

Wormleaton ve ark. (5), Knight ve Hamed (8), pürüzsüz ve pürüzlü taşın yataklarına sahip bileşik kanalların debi kapasitesini belirlemek için çeşitli yöntemleri karşılaştırmış ve bütün bu yöntemlerin özellikle düşük akım derinliklerinde toplam debinin hesabında büyük hatalara sebep olduğunu bildirmiştir.

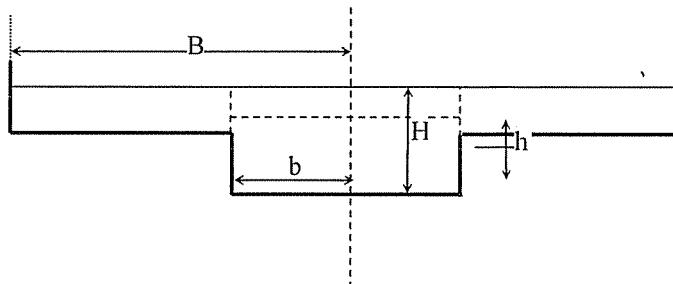
Knight ve Shiono (15), ayrıca bileşik bir kanal tarafından taşınan debinin tahmini için geliştirilen çeşitli ampirik kayma gerilmesi formüllerinin (5,6,8,10-13,16) performansını incelemiştir ve bu formüllerin genel amaçlı olarak kullanılamayacağını, sadece belirli geometrilerde geçerli olduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte Knight ve Shiono (15), seviye-debi ilişkisi açısından, bir boyutlu modeller arasında Ackers Metodunun en uygun yöntem olduğu sonucuna varmışlardır. Ackers Metodu, Bristol'daki İngiltere Çevre Bakanlığı tarafından tavsiye edilmektedir.

Yukarıda bahsedilen bir boyutlu yöntemlerin dışında, bazı yöntemler iki boyutlu bir yaklaşımı dayanmaktadır (17, 18). Bu yöntemler Navier-Stokes denklemlerinin derinlik boyunca integre edilmesi üzerine dayanır. Yanal dağıtım metodu (Lateral distribution method, LDM) eddy viskozite ifadesini içerir (17), ve Shiono-Knight metodu (SKM), sekonder akımları hesaba katar. LDM, oldukça hatalı sonuçlar vermektedir (14), bu nedenle, iki boyutlu modellerden sadece SKM kullanılmıştır.

Ackers Metodu diğer bir boyutlu yöntemlere göre tercih edilebilir görünmektedir. Bununla birlikte bu yöntem, bir veya iki tarafı pürüzsüz ya da çok pürüzlü taşın yatakları ile beraber sabit ana kanal sınırlarından oluşan farklı veri gruplarına henüz uygulanmamıştır. Bu nedenle, farklı veri grupları için Ackers Metodu ve SKM yöntemlerinin performansı ve güvenilirliğinin karşılaştırılması gereklidir. Bu amaçla literatürde yayınlanmış deneysel verilere, bu yöntemler uygulanmış ve 1 ve 2 boyutlu modellerin karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca, boyutsuz eddy viskozitesinin iki boyutlu model SKM üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. BİR VE İKİ BOYUTLU MODELLER

Bir ana kanal ve taşın yatağından oluşan bir bileşik kanalın geometrisi Şekil 1 de görülmektedir. Burada H , kanal tabanı üzerindeki su derinliğini; h , ana kanal üst kotunun üzerindeki su derinliğini; B , taşın yatağının ana kanala en uzak noktası ile ana kanal orta noktası arasındaki mesafeyi; ve b , taşın yatağının ana kanala en yakın noktası ile ana kanal orta noktası arasındaki mesafeyi göstermektedir.



Şekil 1. Bileşik kanal geometrisi

2.1. Ackers Metodu (COH)

Ackers (11-13), yayınlanmış çok sayıda deneyel veriyi kullanarak, ana kanal ve taşın yatağı arasında etkileşime izin veren düz bir bileşik kanal içindeki debiyi elde etmek için empirik bir yöntem önermiştir. Bristol'daki İngiltere Çevre Bakanlığı tarafından tavsiye edilen Ackers Metodu akım davranışını dört farklı bölgede ele almış ve bir dizi denemeden sonra her bölge için bir formül uyarlamıştır.

Ackers (11-13), ana kanal ve taşın yatağı arasındaki etkileşimin ölçüsü olmak üzere çeşitli boyutsuz ifadeler kullanmıştır. Herhangi bir H akım derinliğindeki, COH (koherans) aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\text{COH}(H) = \frac{(1 + A_*) \sqrt{[(1 + A_*) / (1 + f_* P_*)]}}{1 + A_* \sqrt{A_* / f_* P_*}} \quad (1)$$

$$A_* = \frac{N_f * A_f}{A_c} \quad (1a)$$

$$P^* = \frac{N_f * P_f}{P_c} \quad (1b)$$

$$H^* = \frac{H - h}{H} \quad (1c)$$

$$f^* = \frac{f_f}{f_c} \quad (1d)$$

burada A =kesit alanı; N =taşın yatağı sayısı; P =ıslak çevre; H =kanal tabanı üzerindeki su derinliği; h =ana kanal üst kotunun üzerindeki su derinliği; f =Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı; c ve f sırasıyla ana kanal ve taşın yatağını temsil eden indislerdir. Ackers metodunun ayrıntılı teorisi kaynaklarda bulunabilir (11-13).

2.2. Shiono-Knight Method (SKM)

Shiono ve Knight (18), düzenli uniform bir akım içindeki akışkan elemanı için Navier-Stokes denklemlerinin derinlik boyunca integre edilmesine dayanan iki boyutlu (2D) bir model önermişlerdir. Sekonder akımların etkisinin önemsiz olduğu kabul edilecek olursa, denklem aşağıdaki gibi yazılabılır:

$$\rho g H S_0 - \rho \frac{f}{8} U_d^2 \sqrt{s + \frac{1}{s^2}} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \rho \lambda H^2 \left(\frac{f}{8} \right)^{1/2} U_d \frac{\partial U_d}{\partial y} \right\} = 0 \quad (2)$$

burada ρ suyun yoğunluğu, g yerçekimi ivmesi, H akım derinliği, S_0 taban eğimi, f Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı, U_d derinliğe bağlı ortalama hız, s yanal eğim (1:s, düşey:yatay), y yanal yön ve λ yersel boyutsuz eddy viskozitesidir.

$H=$ sabit durumu için, (2) denkleminin analitik çözümü Shiono ve Knight (18) tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir,

$$U_d = \left[A_1 e^{\gamma y} + A_2 e^{-\gamma y} + \frac{8 g S_0 H}{f} \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$\text{burada } \gamma = \left(\frac{2}{\lambda} \right)^{1/2} \left(\frac{f}{8} \right)^{1/4} \frac{1}{H}.$$

(3) denklemi, geometrisi lineer sınır elemanları ile tanımlanabilen bir kanalın içindeki derinliğe bağlı ortalama hızın yanal değişimini vermektedir. Şekil 1 de görülen bir kanal kesitinde, $y \rightarrow \infty$ ve $\gamma > 0$ için, (3) denklemindeki A_1 ifadesinin sıfır olması gerekmektedir. Ana kanal ve taşkin yataklarının kesişim noktalarında süreklilik, ve taşkin yataklarının en uç noktalarında $U_d=0$ sınır şartları (3) denklemine uygulanırsa, U_d değerleri elde edilir. Daha sonra bu değerler yanal olarak integre edildiğinde, bileşik kesitli bir kanalın debisi bulunur.

3. BULGULAR

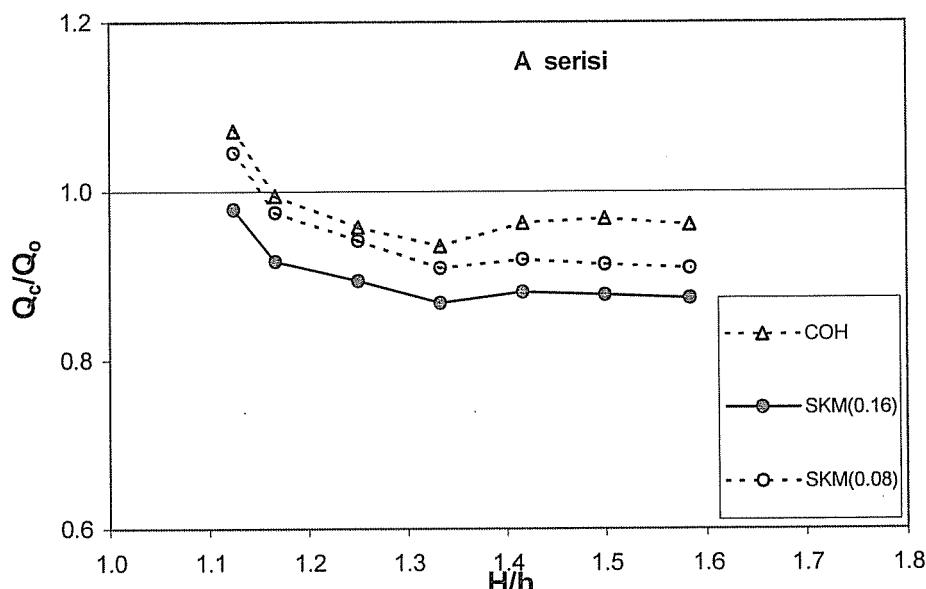
Yukarıda bahsedilen modellerden bir boyutlu COH ve iki boyutlu SKM yöntemleri, literatürde yayınlanmış bir deneysel veriye (5) uygulanmıştır. Wormleaton ve ark. (5), $b=0.29$ m, $B=0.75$ m ve $h=0.12$ m boyutlarına sahip bir bileşik kanal üzerinde dört seri (seri A, B, C ve D) deney yapmışlardır. A, B, C ve D serileri için farklı Manning n değerleri kullanılmış ve bu değerler sırasıyla 0.011, 0.014, 0.017 ve 0.021 şeklindedir. Tablo 1 de, farklı taban eğimleri ve H derinlikleri için gözlenen debi değerleri verilmiştir.

Eddy viskozitesi λ nin bilinmesi durumunda, SKM modeli bileşik kesitli kanaldaki debinin hesaplanmasımda kullanılabilir. Düz laboratuvar kanallarında λ değerleri yaklaşık $0.16 \pm 50\%$ olarak alınmaktadır (19). Bu çalışmada, iki boyutlu model SKM için, $\lambda=0.08$ ve $\lambda=0.16$ değerleri kullanılmıştır.

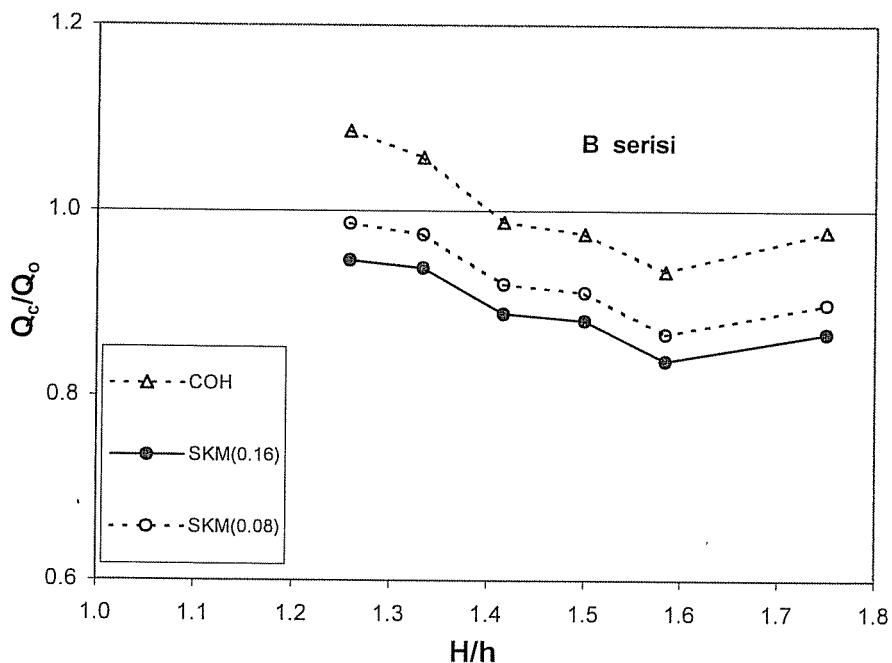
Bir ve iki boyutlu modellerin yukarıda bahsedilen bileşik kesite uygulanması ile hesap debileri elde edilmiştir. Her iki yöntemle hesaplanan debiler Q_c ile gözlenen debilerin Q_o oranına (Q_c / Q_o) karşılık (H/h) derinlik oranı, farklı taşkin yatağı pürüzlülükleri (seri A, B, C ve D) için Şekil 2-5 de verilmiştir.

Tablo 1. Deneysel veriler

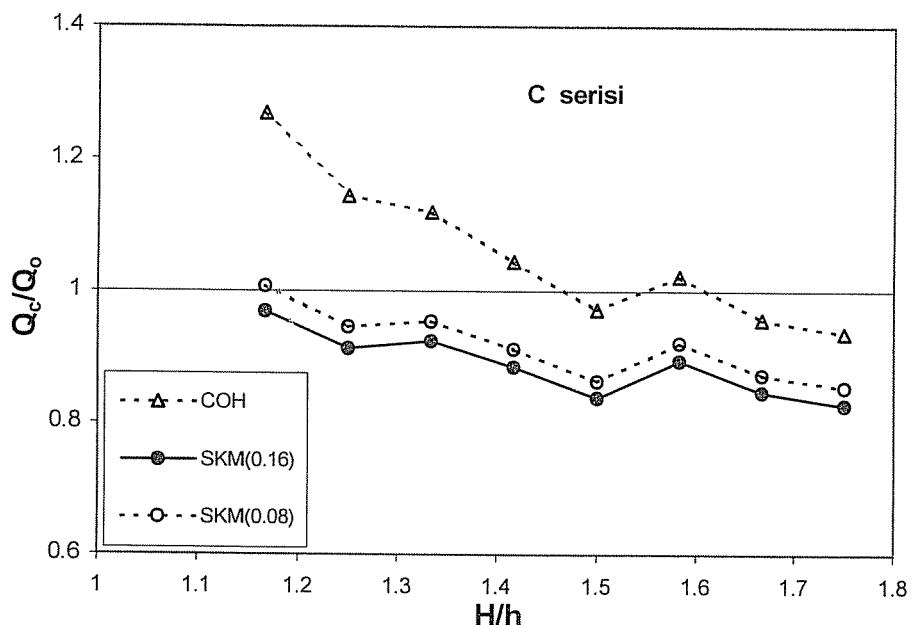
Seri no	H (mm)	Taban eğimi $\times 10^{-4}$	Debi (lt/s)	Seri no	H (mm)	Taban eğimi $\times 10^{-4}$	Debi (lt/s)
A1	15	4.3	13.4	C3	40	4.3	18.0
A2	20	4.3	16.0	C4	50	4.3	22.5
A3	30	4.3	20.5	C5	60	4.3	28.0
A4	40	4.3	26.0	C6	70	4.3	30.5
A5	50	4.3	31.0	C7	80	4.3	37.0
A6	60	4.3	37.0	C8	90	4.3	43.0
A7	70	4.3	43.5	D1	20	4.3	9.0
A8	15	9.4	17.2	D2	30	4.3	12.0
A9	20	9.4	25.7	D3	40	4.3	15.0
A10	25	9.4	29.2	D4	50	4.3	17.5
A11	40	10.1	35.2	D5	60	4.3	24.0
A12	20	18.0	31.0	D6	70	4.3	27.5
B1	31	4.3	17.0	D7	80	4.3	33.0
B2	40	4.3	20.5	D8	90	4.3	38.0
B3	50	4.3	26.0	D9	20	9.4	12.5
B4	60	4.3	31.0	D10	40	9.4	21.5
B5	70	4.3	38.0	D11	60	9.4	35.5
B6	90	4.3	48.0	D12	20	13.2	15.0
C1	20	4.3	11.5	D13	40	13.2	25.5
C2	30	4.3	15.0	D14	60	13.2	42.0



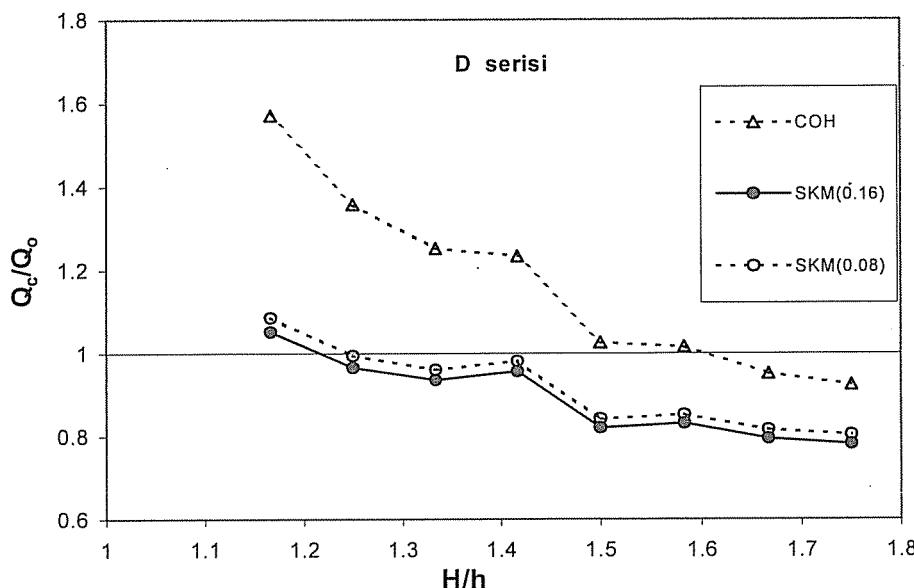
Şekil 2. A serisi için hesaplanan ve gözlenen debiler



Şekil 3. B serisi için hesaplanan ve gözlenen debiler



Şekil 4. C serisi için hesaplanan ve gözlenen debiler



Şekil 5. D serisi için hesaplanan ve gözlenen debiler

Şekil 2-5 de görüldüğü gibi, boyutsuz eddy viskozitesi $\lambda=0.08$ değeri, $\lambda=0.16$ değerine daha doğru sonuçlar vermektedir. λ değerindeki artışla birlikte sonuçların daha hatalı olduğu görülmüş, bu nedenle $\lambda=0.24$ değeri dikkate alınmamıştır. Bütün durumlar için, özellikle düşük H/h oranlarında, pürüzlülüğün artması ile birlikte debi oranları Q_c / Q_o değerlerinde kayda değer bir artış görülmektedir.

Taban eğiminin 0.00043 olduğu durumda, hesap sonucu elde edilen ve gözlenen debiler arasındaki hata değerleri Tablo 2 de verilmiştir. Hata değeri, aşağıdaki ifade ile hesaplanmıştır,

$$\text{Hata (\%)} = \frac{Q_c - Q_o}{Q_o} \times 100 \quad (4)$$

burada Q_c hesap sonucu elde edilen debi ve Q_o gözlenen debidir.

Tablo 2. $S_0 = 0.00043$ için hata değerleri

Seri no	Hata (%)		
	COH	SKM ($\lambda=0.08$)	SKM ($\lambda=0.16$)
A1-A7	4.2	6.8	10.1
B1-B6	4.5	7.3	10.6
C1-C8	9.2	8.5	11.3
D1-D8	19.8	10.4	12.1
Ortalama	9.4	8.3	11.0

Tablo 2'den görüldüğü gibi, en büyük hatayı COH yöntemi, pürüzlülüğü en fazla olan D serisi için 19.8 % olarak vermektedir. COH yönteminin ortalama hata değeri 9.4 %, SKM yönteminin $\lambda=0.16$ için oluşan ortalama hata değerinden (11.0 %) daha iyimasına rağmen, SKM yönteminin $\lambda=0.08$ değeri minimum hatayı vermektedir (8.3 %).

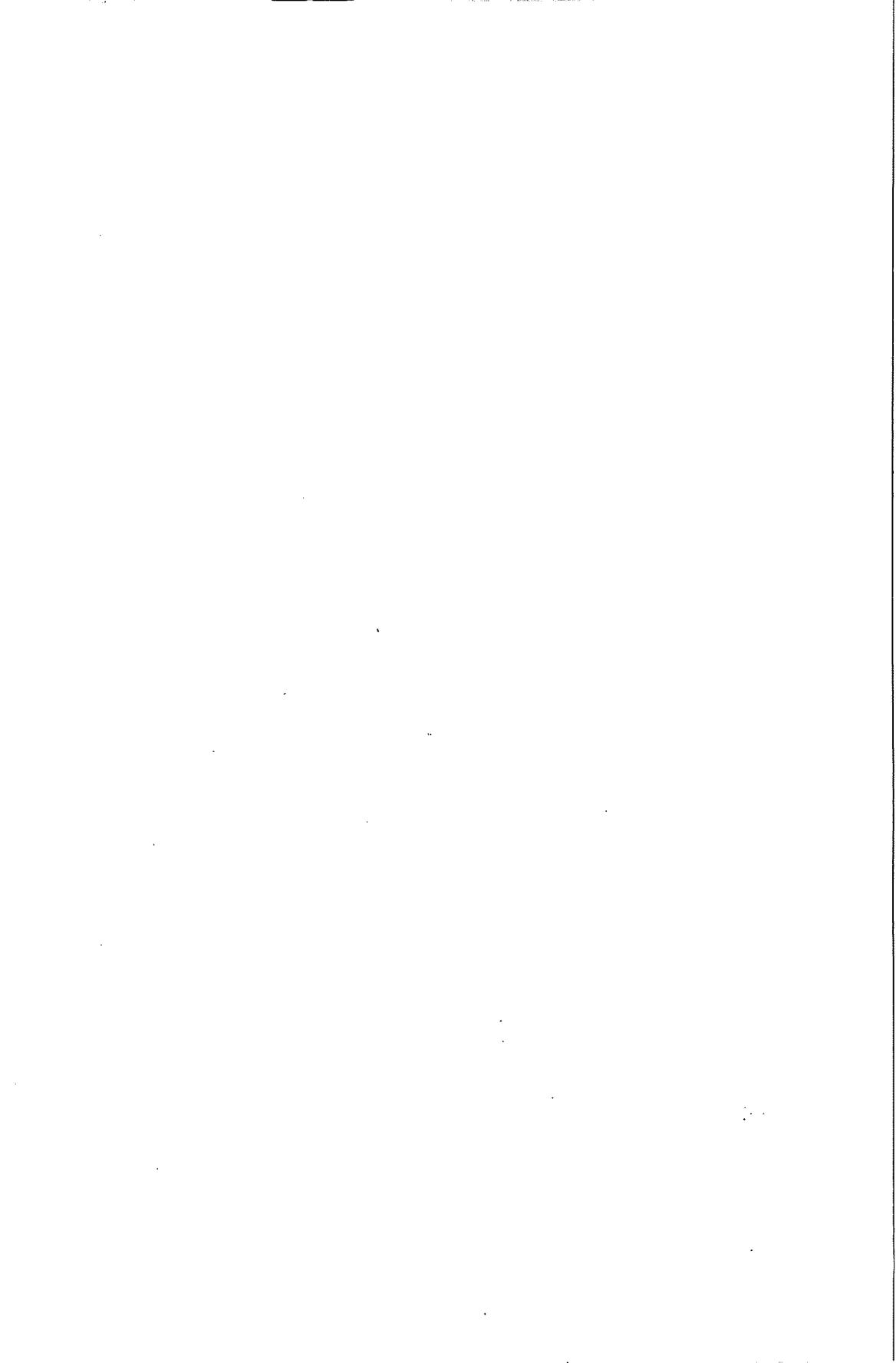
4. SONUÇLAR

Farklı pürüzlülüğe sahip bir bileşik kanalın debisini hesaplamada kullanılan bir boyutlu COH ve iki boyutlu SKM yöntemleri arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu yöntemler, literatürde yayınlanmış bir deneysel veriye uygulanmış ve hesap sonucu elde edilen debiler, gözlenen debilerle karşılaştırılmıştır. Bir boyutlu Ackers metodunun (COH), nisbeten uygulamada daha kolay olmasından dolayı ilk tasarım aşamasında kullanılabileceği görülmüştür. Bununla birlikte, bileşik kanalın farklı taban eğimi ve pürüzlülüğe sahip olması durumunda, iki boyutlu SKM yönteminin, bir boyutlu COH yöntemine göre daha az hata vermesi nedeniyle tercih edilmesi gerekmektedir. SKM yönteminde, boyutsuz eddy viskozitesi λ ının, sonuçlar üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Sellin,R.H.J., "A laboratory investigation into the interaction between flow in the channel of a river and that of its floodplain", *La Houille Blanche*, 7, p.793, 1964.
2. Zheleznyakov,G.V., "Relative deficit of mean velocity of instable river flow: Kinematic effect in river beds with floodplains", *Proc. of the 11th Int. Conf. of the Int. Assoc. Hydr. Res.*, 1965.
3. Myers,W.R.C. ve Elsawy,E.M., "Boundary shear in channel with flood plain", *J.Hydr.Div., ASCE*, 101 No.7, p.933, 1975.
4. Myers,W.R.C., "Momentum transfer in a compound channel", *J.Hydr.Res., Delft*, 16 No.2, p.139, *The Netherlands*, 1978.
5. Wormleaton,P.R., Allen,J. ve Hadjipanos,P., "Discharge assessment in compound channel flow", *J.Hydr.Div., ASCE*, 108 No. 9, p.975, 1982.
6. Ervine,D.A. ve Baird,J.I., "Rating curves for rivers with overbank flow", *Proc. I.C.E., Part II*, 73, p.465, *London*, 1982.
7. Knight,D.W. ve Demetriou,J.D., "Floodplain and main channel flow interaction", *J. Hydr. Eng., ASCE*, 109 No.8, p.1073, 1983.
8. Knight,D.W. ve Hamed,M.E., "Boundary shear in symmetrical compound channel", *J.Hydr.Div., ASCE*, 110 No.10, p.1412, 1984.
9. Wormleaton,P.R. ve Hadjipanos,P., "Flow distribution in compound channels", *J. Hydr. Eng., ASCE*, 111 No.2, p.357, 1985.
10. Wormleaton,P.R. ve Merrett,D.J., "An improved method of the calculation for study uniform flow in prismatic main channel/flood plain sections", *J.Hydr.Res., Delft*, 28 No.2, p.157, *The Netherlands*, 1990.
11. Ackers,P., "Hydraulic design of two-stage channels", *Proc., I.C.E., Water, Maritime and Energy, Thomas Telford*, 96 No.4, p.247, *London*, 1992.
12. Ackers,P., "Stage-discharge functions for two-stage channels: The impact of new research", *J. Inst. Of Water and Envir. Mngmt*, 7 No.1, p.52, 1993a.

13. Ackers,P., "Flow formulae for straight two-stage channels", *J.Hydr.Res.*, Delft, 31 No.4, p.509, *The Netherlands*, 1993b.
14. Bousmar,D. ve Zech, Y., "Momentum transfer for practical flow computation in compound channels", *J.Hydr. Eng.*, ASCE, 125 No.7, p.696, 1999.
15. Knight,D.W. ve Shiono,K., "River channel and flood plain hydraulics. Flood plain processes", ed. M.Anderson, D.Walling and P.Bates, Wiley, p.139, U.K., 1996.
16. Stephenson,D. ve Kolovopoulos,P., "Effects of momentum transfer in compound channels", *J.Hydr. Engng.*, ASCE, 116 No.12, p.1512, 1990.
17. Wark,J.B., Samuels,P.G. ve Ervine,D.A., "A practical method of estimating velocity and discharge in compound channels", *Proc. Int. Conf.on River Flood Hydr.*, Wiley, p.163, U.K., 1990.
18. Shiono,K. ve Knight,D.W., "Turbulent open channel flows with variable depth across the channel", *J.Fluid Mech.*, 222, p.617, Cambridge, 1991.
19. Okoye,J.K., "Characteristics of transverse mixing in open channel flows", *California Inst.of Tech.*, Pasadena, Report No. KH-R-23, California, 1970.



KONVEKSİYON-DİFÜZYON PROBLEMLERİNİN SONLU HACİM YÖNTEMİ İLE ANALİZİ*

Eyüp Gökmen FİLİNTE ve Mustafa MAMAK
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : *Günümüzde akışkanların incelenmesi, akışkanlara bağlı uygulamaların gelişimi açısından önem kazanmıştır. Akışkan hareketinin önemli bir rol oynadığı problemlerde, konveksiyon etkisi dikkate alınmalıdır. Doğada konveksiyonun yanında daima difüzyon olayı gerçekleşir; bu nedenle konveksiyon ve difüzyon beraber ele alan hesap yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemlerden biri sonlu hacim yöntemidir.*

Bu tez çalışmasında; bir boyutlu konveksiyon-difüzyon problemlerinin sonlu hacim yöntemi merkezi fark yaklaşımı, menba fark yaklaşımı, hybrid fark yaklaşımı ve kuvvet kuralı yaklaşımına göre farklı değişkenler kullanılarak analizi yapılmıştır. Problemin çözümü için MATLAB programında sonlu hacim yönteminin esaslarına dayanan kodlar oluşturulmuş, farklı durumlar için çıkan sonuçlar program aracılığıyla elde edilmiş ve sonuçlar her durum için irdelenmiştir.

ANALYSIS OF CONVECTION-DIFFUSION PROBLEMS WITH FINITE VOLUME METHOD

ABSTRACT : *In our daily life, examination of fluids and the improvement of applications dependent on fluids have earned importance. One of the important things in problems of fluid movement, convection effect is taken into consideration. In the nature, event of diffusion is come true together with convection. For this reason new calculation methods that dealing with convection and diffusion together are needed. One of the calculation methods is finite volume method.*

In this thesis study, analysis of one dimensional convection-diffusion problems have been maken with central differencing scheme, upwind differencing scheme, hybrid differencing scheme and power law scheme which are elements of finite volume method using different variables. To obtain the solutions of problems, algorithms bases on finite volume method principles was formed at MATLAB computer program and the results of problems were found and examined for different cases.

* Yüksek Lisans Tezi – MSc. Thesis

1. GİRİŞ

Akışkan hareketinin incelenmesi için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Akışkanların incelenmesi için kullanılan hesap yöntemleri hesaplama akışkanlar dinamiği (HAD) içerisinde gruplandırılabilir. Hesaplama akışkanlar dinamiği veya HAD; akışkan hareketi, ısı transferi, ve bunlarla ilişkili çeşitli problemleri (örn. kimyasal tepkimeler) içeren sistemlerin bilgisayarda modellenerek analiz edilmesidir. Endüstriyel ve endüstriyel olmayan uygulama alanlarında çok geniş ve güçlü bir kullanım alanına sahip bir tekniktir. Uygulama alanlarına ait örnekler aşağıdaki gibidir:

- Uçak ve araçların aerodinamигinde
- Gemilerin hidrodinamигinde
- Gaz türbinleri ve motorların bulunduğu termik santrallerde
- Elektrik ve elektronik mühendisliği alanlarında
- Kimya mühendisliği alanlarında
- Kıyı mühendisliğinde
- Çevre mühendisliğinde
- Meteroloji

Akışkan problemlerini çözebilme için sayısal algoritmalar kullanılarak HAD kodları yaratılmıştır. Bu kodlar üç temel aşamayı kapsar. Bu aşamalar ön işlem, çözüm ve son işlemidir.

Ön işlem: Bu aşamada akışkan probleminin çözümü için HAD programlarına kullanıcı tarafından verilen girdileri kapsamaktadır. Bunlar;

- Çözüm bölgesi geometrisinin tanımı
- Çözüm bölgesinin alt elemanlara ayrılması ve ızgara oluşumu
- Fiziksel modelin seçimi
- Akım özelliklerinin tanımlanması
- Elemanlar üzerindeki sınır şartlarının belirlenmesi

Çözüm: Bu aşamada üç ayrı çözüm tekniği vardır. Bu teknikler; sonlu farklar yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi ve sınır eleman yöntemi dir. Sonlu hacimler yöntemi sonlu farklar yöntemindeki formülasyonların özel olarak geliştirilmesi ile bulunmuştur. Nümerik metodların çözüm aşamasını oluşturan temel adımlar;

- Bilinmeyen akım değerlerinin basit fonksiyonlar cinsinden tanımlanması
- Akımı idare eden denkleme yapılan yaklaşımların uygulanması ile ayrıklaştırma ve matematiksel işlemler
- Cebrik denklem takımlarının çözümü

Son işlem: Çözümde elde edilen sonuçların çeşitli şekillerde gösterimidir.

- bölge geometrisi ve grid gösterimi
- Vektörel çizim
- 2 veya 3 boyutlu çizimler
- Parçacık takibi
- Renkli çıktılar

Akışkan hareketinin önemli bir rol oynadığı problemlerde, konveksiyon etkisi dikkate alınmalıdır. Doğada konveksiyonun yanında daima difüzyon olayı gerçekleşir; bu nedenle konveksiyon ve difüzyonu beraber ele alan yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, konveksiyon-difüzyon problemlerindeki genel bir ϕ özelliğinin değişimi sonlu hacim yöntemi ile incelenmiş; merkezi fark yaklaşımı, menba fark yaklaşımı, hybrid fark yaklaşımı ve kuvvet kuralı ile çeşitli akışkan problemlerinin çözümüne yönelik çalışmalar yapılmıştır.

2. SONLU HACİM YÖNTEMİ

Düzenli konveksiyon-difüzyon denklemi, genel bir ϕ özelliği için hareket denkleminden türetilebilir. Genel hareket denkleminin ϕ özelliğine bağlı diferansiyel ve integral formu aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho\phi u) = \operatorname{div}(\Gamma \operatorname{grad}\phi) + S_\phi \quad (1)$$

(1) denklemindeki ifadeler,

Akışkan elemanın ϕ özelliğindeki artış	Akışkan elemanından çıkan net ϕ miktarı	ϕ özelliğinin difüzyona bağlı artış oranı	ϕ 'nin kütlesel kuvvetlere bağlı artış oranı
---	--	--	---

şeklindedir. Hareket denkleminde, denklemin sol tarafındaki değişim oranı ifadesi ve konvektif ifade ile denklemin sağ tarafındaki difüzyon ifadesi ve akım kaynağı ifadesidir.

Düzenli akım için (1) denklemindeki zamana bağlı ifade sıfır olmaktadır. Buna göre (1) denklemi yeniden düzenlenirse:

$$\operatorname{div}(\rho\underline{\phi}) = \operatorname{div}(\Gamma \operatorname{grad}\phi) + S_\phi \quad (2)$$

(2) ifadesi bir kontrol hacmi (KH) üzerinde integre edilirse,

$$\int_{K.H} \operatorname{div}(\rho\phi u) = \int_{K.H} \operatorname{div}(\Gamma \operatorname{grad}\phi) dV + \int_{K.H} S_\phi dV \quad (3)$$

(3) denklemde bir \underline{n} vektörüne Gauss diverjans teoremi uygulanabilir.

$$\int_{K.H} \operatorname{div} \underline{n} dV = \int_A \underline{n} \cdot dA \quad (4)$$

$$\int_A \underline{n} \cdot (\rho\phi \underline{u}) dA = \int_A \underline{n} \cdot (\Gamma \operatorname{grad}\phi) dA + \int_{K.H} S_\phi dV \quad (5)$$

Bu ifade kontrol hacmindeki akış dengesini göstermektedir. Eşitliğin sol tarafı, net konveksiyona bağlı akışı; sağ taraf ise net difüzyon akışı ve kontrol hacmindeki ϕ özelliğinin değişimini vermektedir.

Konveksiyon-difüzyon denklemi sonlu sayıdaki kontrol hacimleri üzerinde integre edilmesi ile bir cebrik denklem takımı oluşur (1). Genellikle iteratif sayısal teknikler, büyük denklem takımlarının çözümünde kullanılmaktadır. Bu yöntemler, ϕ parametresinin tahmin edilen ilk dağılımına göre çözüme başlar ve yakınsayan bir sonuca ulaşana kadar hesaplamaya devam eder (2,3).

Scarborough (4), yakınsayan bir iteratif yöntem için yeterli şartın, ayrılaştırılmış denklemenin katsayıları cinsinden ifade edilebileceğini göstermiştir:

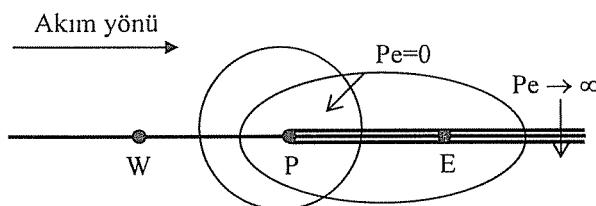
$$\frac{\sum |a_{nb}|}{|a_P|} \begin{cases} \leq 1 & \text{bütün düğüm noktalarında} \\ < 1 & \text{en az bir düğüm noktasında} \end{cases}$$

burada a_P , merkezi düğüm noktası P nin net katsayısıdır ve paydaki ifade diğer komşu noktalardaki katsayılarının toplamıdır.

Roache (5), akışkanın hareket özelliğini, Şekil 1'de görüldüğü gibi, bir P noktasında sabit bir ϕ kuvvetini dikkate alarak göstermeye çalışmıştır. Konveksiyon ve difüzyon ifadelerinin birbirine göre relatif ölçüsü olmak üzere boyutsuz Peclet sayısı tanımlanmıştır:

$$Pe = \frac{F}{D} = \frac{\rho u}{\Gamma / \delta x}$$

burada δx , karakteristik uzunluktur. Aşağıdaki şekilde farklı Peclet sayıları (Pe) için ϕ sabitine bağlı genel konturlar görülmektedir.



Şekil 1. Farklı Peclet sayılarındaki ϕ değerlerinin dağılımı

Akım alanının bilindiği kabul edilerek, konveksiyon-difüzyon problemleri incelenenecektir. Burada en önemli nokta, denklemdeki konveksiyon ifadesinin katkısı dikkate alınırken, kontrol hacminin yüzeylerinde oluşan ϕ özelliği için uygun formülasyonlar türetilmesidir.

Merkezi fark yaklaşımı, menba fark yaklaşımı, hybrid fark yaklaşımı ve kuvvet kuralı gibi sonlu hacim yöntemleri, konveksiyon ve difüzyon ifadelerinin anlık etkisini tanımlamakta, yani düzenen bir akım ele alınmaktadır.

Sonlu hacim yöntemi ile dört farklı yaklaşının ana prensiblerine göre sahip oldukları formülasyonlar kullanılarak MATLAB 6.5 versiyonunda algoritmalar oluşturulmuştur. Bu algoritmalar sonucunda her yaklaşım için istenilen değişkenlere göre sonlu hacim yöntemi sonuçları ile analitik yöntem sonuçları arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

3. SONLU HACİM YAKLAŞIMLARI

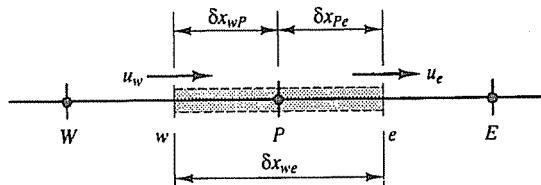
Kütlesel kuvvetlerin yokluğunda, bir boyutlu akım alanında ϕ özelliği konveksiyon ve difüzyon olayını idare eden denklem aşağıdaki gibidir.

$$\frac{d}{dx}(\rho u \phi) = \frac{d}{dx} \left(\Gamma \frac{d\phi}{dx} \right) \quad (6)$$

Akım aynı zamanda süreklilik prensibini sağlamalıdır.

$$\frac{d(\rho u)}{dx} = 0 \quad (7)$$

Bir boyutlu genel bir P noktasındaki kontrol hacmi Şekil 2'de görülmektedir. P noktasına komşu noktalar W ve E ile, kontrol hacmi yüzeyleri w ve e olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2. P noktası etrafındaki kontrol hacmi

Hareket denklemi kontrol hacmi üzerinde integre edilirse;

$$(\rho u A \phi)_e - (\rho u A \phi)_w = \left(\Gamma A \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_e - \left(\Gamma A \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_w \quad (8)$$

Süreklik denkleminin kontrol hacmi üzerinde integrasyon sonucu aşağıdaki denklem elde edilir.

$$(\rho u A)_e - (\rho u A)_w = 0 \quad (9)$$

Konveksiyon-difüzyon probleminde ayrılaştırılmış denklemeleri elde etmek üzere (8) denklemindeki ifadelerin belirlenmesi gerekmektedir.

F ve D gibi iki değişken aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$F = \rho u \quad \text{ve} \quad D = \frac{\Gamma}{\delta x} \quad (10)$$

Kontrol hacminin yüzeyindeki F ve D değerleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$F_w = (\rho u)_w \quad , \quad F_e = (\rho u)_e \quad (11a)$$

$$D_w = \frac{\Gamma_w}{\delta x_{pp}} \quad , \quad D_e = \frac{\Gamma_e}{\delta x_{pe}} \quad (11b)$$

$A_w = A_e = A$ kabulu ve merkezi fark yaklaşımı ile (8) denklemi aşağıdaki gibi yazılabılır.

$$F_e \phi_e - F_w \phi_w = D_e (\phi_e - \phi_p) - D_w (\phi_p - \phi_{ww}) \quad (12)$$

İntegre edilmiş süreklilik denklemi

$$F_e - F_w = 0 \quad (13)$$

F_e ve F_w değerlerini dikkate alırken akım alanındaki hızın bilindiği varsayılmaktadır. (12) denkleminin çözümü için e ve w yüzeylerindeki ϕ değerlerinin hesaplanması gereklidir. Bu amaca yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Sonraki bölümlerde bu yöntemlerden merkezi fark yaklaşımı, menba fark yaklaşımı, hybrid fark yaklaşımı ve kuvvet kuralı yaklaşımı incelenecektir.

3.1. Merkezi Fark Yaklaşımı

Düzenli bir alan için ϕ değerleri merkezi fark yaklaşımı ile aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\phi_e = \frac{(\phi_p + \phi_E)}{2} \quad (14a)$$

$$\phi_w = \frac{(\phi_p + \phi_{ww})}{2} \quad (14b)$$

(14) ifadesi (8) denkleminde yerine yazılırsa,

$$\frac{F_e}{2} (\phi_p + \phi_E) - \frac{F_w}{2} (\phi_{ww} + \phi_p) = D_e (\phi_E - \phi_p) - D_w (\phi_p - \phi_{ww}) \quad (15)$$

(15) ifadesi düğüm noktalarındaki ϕ değerleri ile yeniden düzenlenirse,

$$\begin{aligned} \left[\left(D_w - \frac{F_w}{2} \right) + \left(D_e + \frac{F_e}{2} \right) \right] \phi_p &= \left(D_w + \frac{F_w}{2} \right) \phi_w + \left(D_e - \frac{F_e}{2} \right) \phi_e \\ \left[\left(D_w + \frac{F_w}{2} \right) + \left(D_e - \frac{F_e}{2} \right) + (F_e - F_w) \right] \phi_p &= \left(D_w + \frac{F_w}{2} \right) \phi_w + \left(D_e - \frac{F_e}{2} \right) \phi_e \end{aligned} \quad (16)$$

ϕ_w ve ϕ_e değişkenlerinin katsayılarını a_w ve a_e olarak tanımlanırsa ayrıklılaştırılmış konveksiyon-difüzyon denklemi için merkezi fark katsayıları aşağıdaki gibi olur.

$$a_p \phi_p = a_w \phi_w + a_e \phi_e \quad (17)$$

Merkezi fark yaklaşımına göre oluşan katsayılar Tablo 1'de verilmiştir.

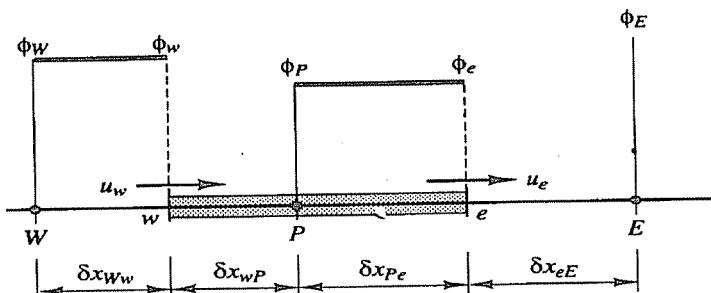
Tablo 1. Merkezi fark yaklaşımı katsayıları

a_w	a_e	a_p
$D_w + \frac{F_w}{2}$	$D_e - \frac{F_e}{2}$	$a_w + a_e + (F_e - F_w)$

Bir boyutlu konveksiyon-difüzyon problemlerini çözebilmek için tüm noktalarda (17) denklemının formunda ayrıklılaştırılmış denklemler yazılabilir. Oluşacak cebrik denklemlerin çözümü ile ϕ özelliğinin dağılımı bulunabilir.

3.2. Menba Fark Yaklaşımı

Bu yaklaşımla eleman üzerindeki ϕ değeri kendinden bir önceki düğüm noktasındaki değere eşit olmaktadır.



Şekil 2. Hız pozitif iken menba fark yaklaşımı

Akım yönü pozitif yönde olduğunda, $u_w > 0$, $u_e > 0$ ($F_w > 0$, $F_e > 0$), bunlara bağlı olarak;

$$\phi_w = \phi_{W'} \quad \text{ve} \quad \phi_e = \phi_p \quad (18)$$

(18) denklemindeki ifade (12) denkleminde yerine yazılırsa,

$$F_e \phi_p - F_w \phi_{W'} = D_e (\phi_E - \phi_p) - D_w (\phi_p - \phi_{W'}) \quad (19)$$

(19) denklemi yeniden düzenlenirse,

$$(D_w + D_e + F_e) \phi_p = (D_w + F_w) \phi_{W'} + D_e \phi_E$$

$$[(D_w + F_w) + D_e + (F_e - F_w)] \phi_p = (D_w + F_w) \phi_{W'} + D_e \phi_E \quad (20)$$

elde edilir. (20) denklemi genel formda yazılabılır.

$$a_p \phi_p = a_{W'} \phi_{W'} + a_E \phi_E$$

$$a_p = a_{W'} + a_E + (F_e - F_w) \quad (21)$$

Menba fark yaklaşımına göre oluşan katsayılar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Menba fark yaklaşımı katsayıları

	$a_{W'}$	a_E
$F_w > 0, F_e > 0$	$D_w + F_w$	D_e

3.3. Hybrid Fark Yaklaşımı

Spalding'in (6) geliştirdiği hybrid fark yaklaşımı merkezi ve menba fark yaklaşımlarının kombinasyonu esasına dayanmaktadır. Merkezi fark yaklaşımı küçük Peclet sayıları ($Pe < 2$) için daha yakın çözümler sunarken büyük Peclet sayıları ($Pe > 2$) için menba fark yaklaşımı çözüme yakınsamaktadır. Hybrid fark yaklaşımı her kontrol hacmi yüzeyinde net akımı hesaplayabilmek için yerel Peclet sayılarını temel alan parça formüller kullanır. Örnek olarak, herhangi bir kontrol hacminin batı yüzeyindeki Peclet sayısı,

$$Pe_w = \frac{F_w}{D_w} = \frac{(\rho u)_w}{\Gamma_w / \delta x_{Wp}} \quad (22)$$

eşitliği ile bulunabilir. Kontrol hacminin her bir birim alanına düşen net akım için hybrid fark denklemi aşağıdaki gibidir.

$$q_w = F_w \left[\frac{1}{2} \left(1 + \frac{2}{Pe_w} \right) \phi_{W'} + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2}{Pe_w} \right) \phi_P \right] \quad -2 < Pe_w < 2$$

$$q_w = F_w A_w \phi_{W'} \quad Pe_w \geq 2$$

$$q_w = F_w A_w \phi_P \quad Pe_w \leq -2 \quad (23)$$

Buradan da görüldüğü gibi konveksiyon ve difüzyon terimleri için düşük Peclet sayılarında merkezi fark yaklaşımı çözümü sağlamaktadır. Ama $|Pe| > 2$ durumunda menba fark yaklaşımı durumundaki değer difüzyonda sıfır olmaktadır. Genel ayrııklaştırılmış denklem formu;

$$a_p \phi_p = a_W \phi_{W'} + a_E \phi_E$$

$$a_p = a_W + a_E + (F_e - F_w) \quad (24)$$

Hybrid fark yaklaşımı katsayıları Tablo 3'deki gibi yazılabılır.

Tablo 3. Hybrid fark yaklaşımı katsayıları genel formu

a_W	a_E
$\max \left[F_w, \left(D_w + \frac{F_w}{2} \right), 0 \right]$	$\max \left[-F_e, \left(D_e - \frac{F_e}{2} \right), 0 \right]$

3.4. Kuvvet Kuralı Yaklaşımı

Bu yaklaşımı göre Peclet sayısı 10'u aşarsa difüzyon ifadesi sıfır alınmaktadır. $0 < Pe < 10$ ise akışkan bir polinom ile ifade edilmektedir. Örnek olarak kontrol hacminin batı yüzeyi için

$$q_w = F_w [\phi_{W'} - \beta_w (\phi_p - \phi_{W'})] \quad -10 < Pe < 10 \quad (25a)$$

$$\beta_w = (1 - 0.1 Pe_w)^5 / Pe_w$$

$$q_w = F_w \phi_{W'} \quad Pe > 10 \quad (25b)$$

yazılabilir. Bir boyutlu konveksiyon-difüzyon problemi için kuvvet kuralının kullanılması ile elde edilen katsayılar aşağıda verilmiştir.

Tablo 4. Kuvvet kuralı yaklaşımı katsayıları genel formu

a_w	a_e
$D_w \max[0, (1 - 0.1 Pe_w)^5] + \max[F_w, 0]$	$D_e \max[0, (1 - 0.1 Pe_e)^5] + \max[F_e, 0]$

4. BULGULAR

Bu çalışmada değerlendirilen sonlu hacim yaklaşımı için ayrıklarılmış denklemdeki konveksiyona bağlı F ve difüzyona bağlı D katsayılarının kombinasyonlarının etkileri gözlemlenmiştir. Bir boyutlu konveksiyon-difüzyon problemlerde merkezi fark, menba fark ve hybrid fark yaklaşımı ile kuvvet kuralı yaklaşımına göre iç düğüm noktaları için genel ayrıklarılmış denklem formu aşağıdaki gibi olduğu görülmüştür.

$$a_p \phi_p = a_w \phi_w + a_e \phi_e \quad (26)$$

$$a_p = a_w + a_e + (F_e - F_w) \quad (27)$$

Her bir yaklaşım ait katsayılar tablosu aşağıda verilmiştir.

Tablo 5. Sonlu hacim yaklaşımı genel katsayılar tablosu

Yaklaşım	a_w	a_e
Merkezi fark	$D_w + \frac{F_w}{2}$	$D_e - \frac{F_e}{2}$
Menba fark	$D_w + \max(F_w, 0)$	$D_e + \max(0, -F_e)$
Hybrid fark	$\max\left[F_w, \left(D_w + \frac{F_w}{2}\right), 0\right]$	$\max\left[-F_e, \left(D_e - \frac{F_e}{2}\right), 0\right]$
Kuvvet kuralı	$D_w \max[0, (1 - 0.1 Pe_w)^5] + \max[F_w, 0]$	$D_e \max[0, (1 - 0.1 Pe_e)^5] + \max[F_e, 0]$

Merkezi fark yaklaşımı metodu hareketli olma özelliğinin eksik olmasından dolayı Pecllet sayısının büyük olduğu durumlarda gerçek sonuçlar vermemektedir. Fakat hızın 0.1 m/s olduğu durum 1, durum 3 ve durum 5 durumlarında analitik yöntem sonucuna daha yakın sonuçlar vermektedir. Pecllet sayısının daha da küçüldüğü daha küçük kontrol hacmi aralıklarında sonuç analitik sonuca daha da yakınlasmaktadır.

Menba fark yaklaşımı, hybrid fark yaklaşımı ve kuvvet kuralı yaklaşımı akışkanın konservatif olma, hareketli olma ve sınırlı olması özelliklerine de sahip olduğu için daha uyumlu sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Tablo 6'da ortalama hata yüzdelere göre

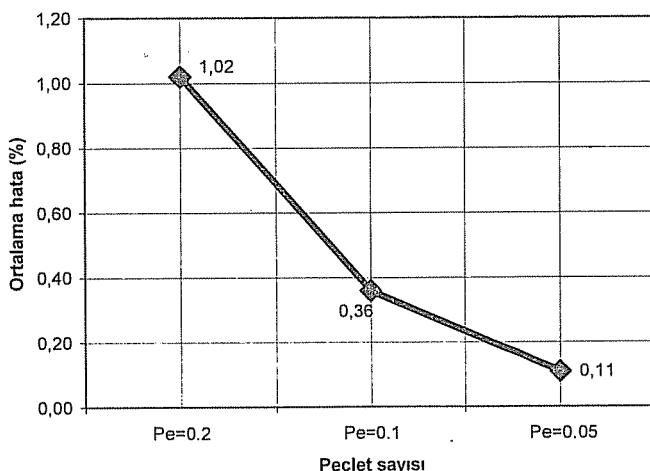
verilmiş analiz sonuçları içerisinde kuvvet kuralı yaklaşımının analitik sonuçlara en yakın değerleri verdiği belirlenmiştir. Hızın 2.5 m/s olması durumunda merkezi fark yaklaşımı dışında kalan yaklaşımında özellikle Peclet sayısının küçültülmesi ile sonuçların analitik sonuca yakınsadığı gözlenmiştir.

Akışkanın konservatiflik, sınırlılık ve hareketlilik özelliklerine sahip olması gerçekçi sonuçlar ve uyumlu iteratif sonuçlar vermektedir. Tablo 6'da bu sonuçlar ortalama hata yüzdelere göre verilmiştir.

Tablo 6. Elde edilen çözümlerin ortalama hata yüzdeleri

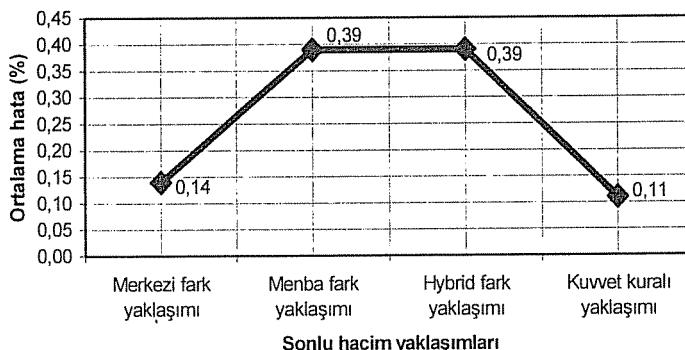
Yaklaşım	Ortalama hata yüzdeleri					
	Durum 1 Pe=0.2	Durum 2 Pe=5	Durum 3 Pe=0.1	Durum 4 Pe=2.5	Durum 5 Pe=0.05	Durum 6 Pe=1.25
Merkezi fark yaklaşımı	1.62	55.12	0.50	7.62	0.14	2.30
Menba fark yaklaşımı	1.05	5.57	0.67	3.76	0.39	2.38
Hybrid fark yaklaşımı	1.62	4.45	0.50	2.47	0.39	2.30
Kuvvet kuralı yaklaşımı	1.02	4.45	0.36	2.38	0.11	1.08

Şekil 3'de, hızın 0.1 m/s olduğu durumda kuvvet kuralı yaklaşımı için sonlu hacim aralığının değiştirilmesi ile bulunan Peclet sayılarına göre sonuçlar grafik olarak gösterilmiştir. Buna göre Peclet sayısının 0.05 olduğu durumda ortalama hata yüzdesi en küçük bulunmuştur.



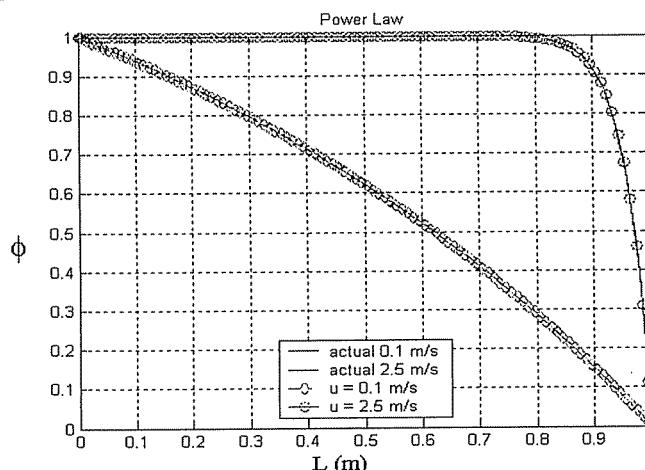
Şekil 3. Kuvvet kuralı yaklaşımında Peclet sayısına göre ortalama hata yüzdeleri

Tablo'6 da ortalama hata yüzdelerine göre verilmiş analiz sonuçları içerisinde kuvvet kuralı yaklaşımının analitik sonuçlara en yakın değerleri verdiği belirlenmiştir. Şekil 4'de en küçük Peclet sayısı değerinin bulunduğu durum 5 için sonlu hacim yaklaşımında çıkan ortalama hata yüzdesi değerlerinin grafiği gösterilmiştir. Buna göre kuvvet kuralı yaklaşımı en düşük değere sahiptir.



Şekil 4. $Pe = 0.05$ için sonlu hacim yaklaşımı ortalama hata yüzdeleri

Hızın 2.5 m/s olduğu durum için akışkanın karakteristik özelliğinden dolayı analitik çözümde elde edilen ϕ değerleri seçtiğimiz sınırların sonlarına doğru hızlı değişimler göstermektedir. Sonlu hacim yönteminde bu değişimin çözümde oluşturduğu hata yüzdesini en aza indirgeyebilmek için daha küçük kontrol hacmi aralığı seçilmelidir. Hızın 0.1 m/s ve 2.5 m/s olduğu durumlarda, 100 eşit kontrol hacmi aralığı için kuvvet kuralı yaklaşımı ile elde edilen grafik Şekil 5'de görülebilir. Şekilden de görüldüğü gibi kuvvet kuralı yaklaşımı, sonlu hacim aralığının 0.01 m seçilmesi ile analitik sonuçlara en yakın değerleri vermiştir.



Şekil 5. 100 eşit kontrol hacmi aralığı için kuvvet kuralı yaklaşımı sonuçları

5. SONUÇLAR

Günümüzde hızlı bir şekilde gelişmekte olan bilgisayar teknolojisi, uzun süreli çalışmalar gerektiren hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözümlerini kısa süre içerisinde gerçekleştirebilme olağanı sunmuştur. Gelişen bilgisayar teknolojisinin sunduğu bu imkanlar, hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin uygulama alanlarında da hızlı bir gelişime imkan tanımıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin yöntemlerinden biri olan sonlu hacimler yöntemi de bu gelişimden faydalanan bir yöntem olmuştur.

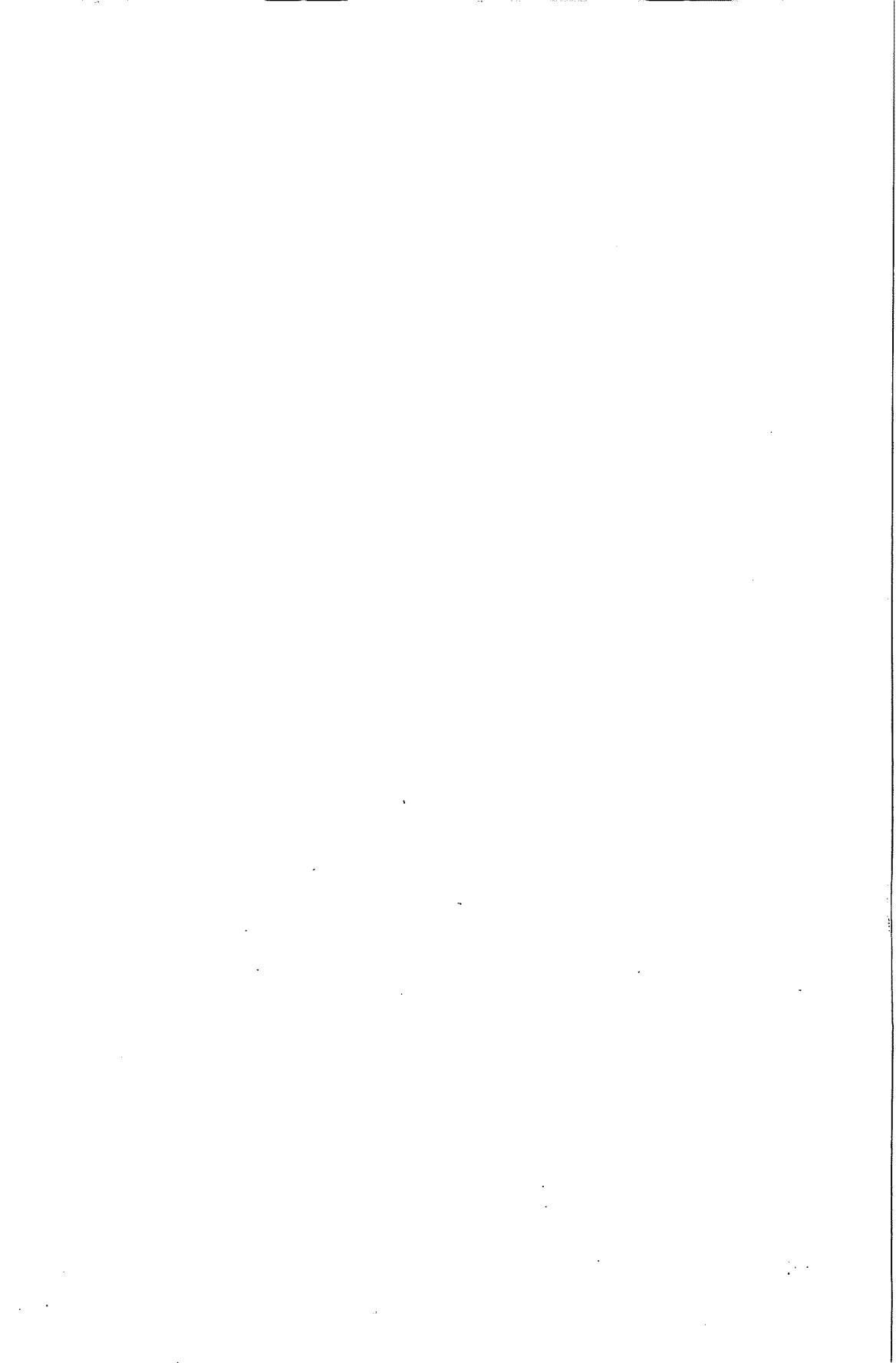
Bu çalışmanın konusu, bir boyutlu konveksiyon-difüzyon problemlerinin analizinin sonlu hacim yöntemlerinden olan merkezi fark yaklaşımı, menba fark yaklaşımı, hybrid fark yaklaşımı ve kuvvet kuralı yaklaşımına göre yapılmasıdır. Problemler hızın ve sonlu hacim aralığının değiştirilmesi ile oluşturulan altı farklı durum için çözülmüştür. Kuvvet kuralı yaklaşımı, çözümde kullanılan dört yaklaşım arasında altı durumda da en düşük ortalama hata yüzdesini vermiştir. Kuvvet kuralı yaklaşımı sonuçlarına göre özellikle Peclet sayısının küçük olduğu durumlarda analitik sonuçlar daha yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Sonlu hacim aralığının küçültüldüğü durumlarda yani Peclet sayısının daha küçük olduğu durumlarda sonlu hacim yöntemi sonuçları çözüme daha çok yakınsamaktadır. Akışkanın 0.1 m/s hızına sahip olduğu durumda kuvvet kuralı yaklaşımı için sonlu hacim aralığının değiştirilmesi ile Peclet sayısının 0.05 olduğu durumda ortalama hata yüzdesi en küçük bulunmuştur.

Sonlu hacim aralığının daha küçük seçilmesi matematiksel çözümlemesi yapılacak denklemlerin çözüm süresini uzatmaktadır. Fakat, gelişen bilgisayar teknolojisi, denklemlerin çözülmesinin daha kısa süre içerisinde gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesi sayesinde HAD uygulamaları da bu gelişimden faydalanailecektir.

6. KAYNAKLAR

1. Versteeg,H.K. ve Malalasekera,W., "An introduction to computational fluid dynamics", Prentice Hall, Malaysia, 1995.
2. Hirsch,C., "Numerical computation of internal and external flows Vol. 2", John Wiley & Sons, p. 493, Chichester, England, 1990.
3. Zhu,J., "A low-diffusive and oscillation-free convective scheme", Commun. Appl. Numer. Methods, Vol. 7, p.225, 1991.
4. Scarborough,J.B., "Numerical mathematical analysis 4th edn.", Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, 1958.
5. Roache,P.J., "Computational fluid dynamics", Hermosa, Albuquerque, NM, 1976.
6. Spalding,D.B., "A novel finite-difference formulation for differential expressions involving both first and second derivatives", Int. J. Numer. Methods Eng., Vol. 4, p.551, 1972.



KIYIYA DİK DOĞRULTUDAKİ SEDİMENT TAŞINIMININ DENEYSEL İNCELENMESİ

M. Sami AKÖZ ve Mustafa DEMİRCİ
Ç.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Kıyı bölgelerinde kıyıya dik doğrultudaki katı madde hareketi kıyı morfolojisinde önemli değişimlere sebep olmaktadır. Deniz duvarları, mahmuz ve dalgakırınlar gibi yapıların projelendirilmesinde, kıyıda oluşacak dolma ve aşınma ile bunların önlenmesinde kıyı-deniz doğrultusundaki katı madde hareketinin doğru şekilde tahmin edilmesinin önemi büyüktür.

Bu çalışmada, 1/8, 1/10 ve 1/15 başlangıç kıyı eğimine sahip tabanlar üzerinde kıyıya dik doğrultudaki sediment taşınımı ile ilgili deneysel çalışmalar yapılmıştır. Farklı derin-su dalga dikliklerine sahip düzenli dalgalar ile yapılan deneylerde sediment ortalama tane çapı $d_{50}=0.32$ ve 0.8 mm için fırtına koşullarında oluşan kıyı profillerinin geometrik özellikleri ve kıyı-deniz doğrultusunda taşınımı etkileyen parametreler incelenmiştir.

LABORATORY INVESTIGATION OF CROSS-SHORE SEDIMENT TRANSPORT

ABSTRACT : The cross-shore sediment transport in a coastal region cause the important changes in beach morphological properties. The accurate estimation of the cross-shore sediment transport is important for the designing of the marine structures such as seawalls, jetties, breakwaters etc, and the preventing coastal erosion and accretion due to on-off shore sediment transportation.

In this study, the experiments on cross-shore sediment transport carried out in a laboratory wave channel for initial beach slopes of 1/8, 1/10 and 1/15. Using the regular waves with different deep-water wave steepness generated by a pedal-type wave generator, the geometrical characteristics of beach profiles under storm conditions and the parameters affecting on-off shore sediment transport are investigated for the beach materials with the medium diameter of $d_{50}=0.32$ and 0.8 mm.

1. GİRİŞ

Deniz ile karanın birleşim yerinde deniz ile karanın karşılıklı etkileşiminin olduğu bölgeye, kıyı bölgesi adı verilir. Mühendislik uygulamaları açısından kıyı bölgesindeki en önemli konulardan biri de, tabanı oluşturan taneli yapıdaki katı maddenin (sediment) taşınımı konusudur. Sediment taşınımına bağlı olarak, uzun vadede kıyı morfolojisinde oluşabilecek kararlı durumların dışında, belirli bir kıyı bölgesinin aşınması veya dolması söz konusu olabilir. Aşınma ve dolma durumlarının analizi için kıyı bölgelerindeki hidrodinamik proseslerin iyi anlaşılması gerekmektedir (1).

Kıyı-deniz yönü sediment taşınımı, genellikle birim genişlikteki bir kıyının kıyıya dik kesiti üzerinde incelenir ve bu kesit kıyı profili olarak adlandırılır (3). Kıyıya belli bir açı ile yaklaşan dalgalar kıyı-deniz yönü sediment taşınımı yanında kıyı boyu taşınımına da sebep olurlar. Kıyı-deniz yönü sediment taşınımı kısa dönem kıyı profili değişimlerinde etkili olduğu halde kıyı boyu taşınımı uzun dönemdeki değişimin en önemli nedenini oluşturmaktadır. Kıyıya paralel taşınımının kıyı profili üzerindeki etkisi çeşitli etmenler (örneğin kıyı yapıları) sonucu kıyı boyu taşınımında dengenin bozulması durumunda söz konusu olmaktadır. Buna karşın kıyı profilini esas etkileyen parametre kıyı-deniz doğrultusundaki sediment taşınımı olmaktadır. Kıyı koruma çalışmaları, kıyı yapılarının projelendirilmesi ve kıyı stabilizasyonunun değerlendirilmesi gibi kıyı mühendisliği uygulamaları göz önüne alındığında kıyıya dik doğrultudaki sediment hareketinin ve olacak muhtemel profillerinin belirlenmesi önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, kıyıya dik doğrultudaki sediment taşınımı ile ilgili deneyel çalışmalar yapılmıştır. 1/8, 1/10 ve 1/15 başlangıç kıyı eğimine sahip tabanlar üzerinde ve ortalama tane çapı $d_{50}=0.32$ ve 0.8 mm için deneyler gerçekleştirilmiştir. Farklı derin-su dalga dikliklerine sahip düzenli dalgalar ile yapılan deneylerde fırtına koşullarında oluşan kıyı profillerinin geometrik özellikleri ve kıyı-deniz doğrultusunda taşınımı etkileyen parametreler incelenmiştir.

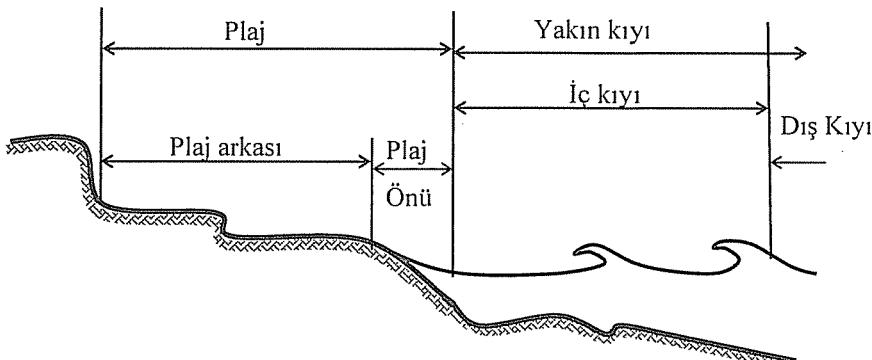
2. KİYIYA DİK DOĞRULTUDAKİ KATI MADDE TAŞINIMI

Katı madde taşınımını etkileyen mekanizmaların farklılıklar nedeniyle kıyı bölgesini Şekil 1'de görüldüğü gibi üç kısma ayırmak mümkündür: Dalga hareketinin tabanda hissedildiği yer ile kırılma noktası arasındaki kalan dış kıyı bölgesi, kıyı kırılma noktası ile kıyı çizgisi arasındaki kalan iç kıyı bölgesi (köpüklenme bölgesi) ve kıyı çizgisi ile kati madde hareketi kara tarafında son bulduğu nokta arasında kalan plaj bölgesi. Kıyı profili değişiminde iç kıyıda sediment taşınımı daha etkili olmaktadır.

Kıyıya dik doğrultudaki katı madde taşınımından dolayı kıyılarda oluşan profilleri Sunamura ve Horikawa (2) şu şekilde sınıflandırmıştır.

$$C = \frac{(H_0/L_0)(\tan \theta)^{0.27}}{(d/L_0)^{0.67}} \quad (1)$$

$C < 4$ için kıyı yönünde taşınım (dolma)- yaz profili
 $C > 8$ için deniz yönünde taşınım (aşınma)- kış profili

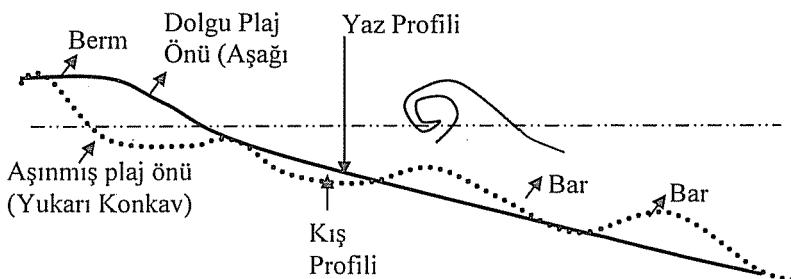


Şekil 1. Kıyı Bölgesi

Burada H_0 , L_0 sırasıyla derin-su dalga yüksekliği ve dalga boyu, θ tabanın yatayla yaptığı açı, d tane çapıdır.

Kış aylarında daha dik dalgalar sık aralıklarla gelir. Bu dalgalar erozyona sebep olarak ön kıyıda yukarı doğrultuda konkav bir profolin oluşmasına neden olur. Fırtına şartları altında daha fazla miktarda sediment askıda kalabilmekte ve daha fazla sediment kütle taşınımının etkisinde kalarak deniz yönünde taşınmak suretiyle kum tepesi (bar) oluşumuna sebep olmaktadır. Bu şekilde oluşan profile kış profili denir.

Yaz mevsiminde dalgalar kış aylarında görülen dalgalara göre uzun periyotlu ve küçük dalga yüksekliklerine sahiptir. Dalga tırmanması sırasında büyük su kütlesi hareketi ile kıyıya doğru taşınan katı maddelerin bir kısmı zayıf dönüş akımı nedeniyle kıyıda kalarak o bölgede yığılmalarına sebep olur (3). Aşağıya konkav profolin olduğu bu kıyı profiline yaz profili denir. Bu profinin üzerindeki düz kısmı "Berm" olarak adlandırılır.



Şekil 2. Kıyı Profilindeki Mevsimlik Değişimler

Hottari ve Kawamata (4) yaptıkları çalışmada kıyı-deniz doğrultusundaki sediment taşınımı ile ilgili bir model geliştirmiştirlerdir. Harekete ters doğrultudaki kuvvetlerin dengesinden faydalananak profil sınıflandırması ile ilgili bir C parametresi tanımlamışlardır:

$$C = \frac{(H_0 / L_0) \tan \theta}{(w_s / gT)} \quad (2)$$

$C < 0.5$ için kıyı yönünde taşınım (dolma)- yaz profili

$C > 0.5$ için deniz yönünde taşınım (aşınma)- kış profili

Burada w_s tane çökelme hızıdır. Yukarıdaki profil sınıflandırması ile ilgili verilen bağıntılardan da anlaşılacağı gibi, derin-su dalga dikliği (H_0/L_0), taban eğimi ($\tan\theta$) ve tanenin karakteristik özellikleri (tane çapı ve tane çökelme hızı) kıyı profilini etkileyen önemli parametrelerdir.

Watanabe, A. ve ark. (5), kıyıya dik sediment taşınımını deneysel olarak incelemiştirlerdir. Kırılma bölgesinin içinde ve dışındaki bölgelerde sediment taşınım oranlarını kıyı profillerinin deformasyonlarından yararlanarak ve taban kayma gerilmesi ve Shields parametresi yardımıyla elde etmişlerdir.

Gourlay R. M. (6), iki farklı malzeme için denge durumundaki plaj profillerini laboratuvar koşullarında incelenmiştir. Deneysel çalışmalarla tane çapı 0.22mm olan kum ve 1.55mm olan kırılmış kömür taban malzemesi olarak kullanılmıştır. Elde ettikleri deneysel bulgulara göre boyutsuz çökelme parametresi H_0/Tw 'nin köpüklenme bölgesinin hidrolojisinde ve denge profillerinin oluşmasında önemli bir parametre olduğu görülmüştür. Burada, T dalga periyodu, w ise çökelme hızını ifade etmektedir.

Nairn (7), boyutları oldukça büyük bir kanalda (324m uzunluğunda, 7m derinliğinde ve 5m genişliğinde) kumul erozyonu üzerine çalışmıştır. Laboratuvar çalışmaları yanında büyük bir fırtına sonucu oluşan kumul erozyonu ile ilgili arazi çalışmaları da yapmışlardır. Sayısal model geliştirilmiş ancak sayısal modelden elde edilen bulgular deneysel bulgularla özellikle de maksimum erozyon şartlarında uyum göstermemiştir. Bunun sebebi olarak dalganın direk kumula çarpmasının yeteri güvenlikte belirlenememesi ve aşağı giden malzemenin modellenememesi gösterilmiştir.

Zheng ve Dean (8), sediment taşınımının sebebi olarak kıyı profilinin denge halinden sapmasını göstermişler ve lineer olmayan teoriye dayanan bir "kıyıya dik taşınım" modeli önermişlerdir. Bu modeli geliştirilen diğer modellerle karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmalarda deneysel bulgular ile iki büyük fırtınanın arazi verileri kullanılmıştır. Geliştirilen model özellikle kıyıda meydana gelen aşınmayı göz önüne alırken kıyıda oluşan dolmayı dikkate almamaktadır. Deneysel bulgularla geliştirilen modelden elde edilen bulguların oldukça uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

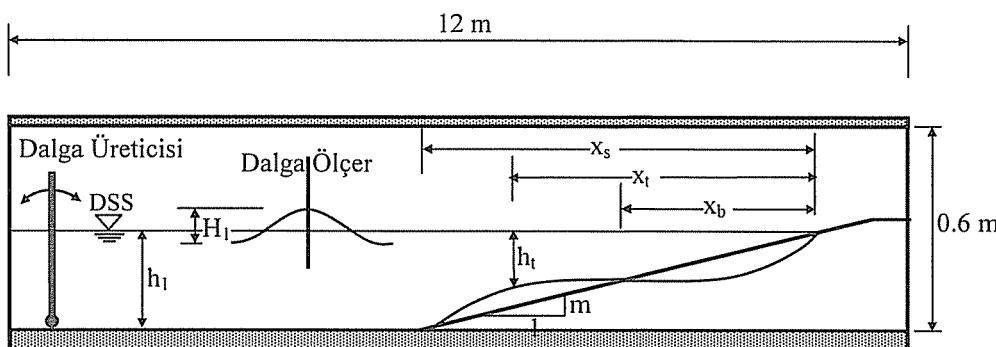
Hsu, (9), fırtına profilinin geometrik özelliklerini incelemek amacıyla bir teorik yaklaşım geliştirmiştir. Bu yaklaşımda dalga kırılma açısı, dalga dikliği ve taban eğiminin etkileri dikkate alınarak sörf parametresi, $\xi = \tan\theta / (H_0 / L_0)^{1/2}$ modifiye edilmiş ve böylelikle fırtına profilinin geometrik karakteristikleri incelenmiştir. Üç boyutlu hareketli bir model üzerinde gerçekleştirilen deneylerde iki farklı taban eğimi ve dalga kırılma açısı kullanılmıştır.

Çelikoğlu, Y. ve ark. (10), kıyıya dik sediment taşınımını incelemek amacıyla laboratuvara deneysel çalışma yapmışlardır. Deneylerinde üç farklı tane çapı ve iki farklı taban eğimi kullanarak oluşan plaj profilleri üzerinde tane çapı ve taban eğiminin etkisini incelemiştir.

Günaydin, K. ve Kapdaşlı, M. (11), laboratuarda düzenli ve düzensiz dalga şartları altında kıyıda meydana gelen erozyonun geometrisini incelemek amacıyla deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Deneylerde 0.35 mm çaplı malzeme ve 1/5 taban eğimi kullanılmışlardır. Bu çalışmada erozyon noktası, erozyon derinliği, toplam erozyon alanı gibi kıyı erozyon karakteristikleri ölçülmüştür.

3. DENEY DÜZENİ VE YÖNTEMİ

1/8, 1/10 ve 1/15 taban eğimlerinde fırtına koşulları altında kısa dönem profil değişimlerini incelemek amacıyla yapılan deneyler çalışmalar İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında 12m uzunluğunda 0.40m genişliğinde ve 0.60m derinliğindeki cam duvarlı kanalda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Dalga periyodu $T=0.47\text{--}0.76\text{s}$ arasında değişen farklı dalga periyodundaki düzenli dalgalar pedal-tipi dalga üreticisi yardımıyla üretilmiştir. Deneylerde kullanılan ortalama tane çapı $d_{50}=0.32$ ve 0.80mm dir. Gelen dalganın karakteristikleri dalga ölçer ve video kamerası kullanmak suretiyle tespit edilmiştir. Deneylerde derin-su dalga diklikleri $H_0/L_0=0.070\text{--}0.263$ arasında değişmektedir. Derin-su dalga diklikleri, kanaldaki dalga özellikleri ölçmek suretiyle lineer dalga teorisinden elde edilmiştir. Tablo 1 de yapılan deneysel çalışmadaki dalga ve kıyı profil şartları gösterilmiştir.



Şekil 3. Dalga Kanalı ve Kıyı Modeli

Deneyde üretilen dalga şartları altında oluşan profil deformasyonlarının geometrik özellikleri deney başlangıç anında yarınlı, daha sonraları 1 ve 2 saatlik peryotlarda profil üzerinde 16 noktada yapılan ölçümler sonucu belirlenmiştir. Noktalar arasındaki

mesafe 15cm dir. Gerek profilenin geometrik özelliklerinin gerekse kırılma noktasının yerinin değişmediği an profilen dengeye ulaştığı an olarak değerlendirilmiştir. Tablo 1 den de görüleceği gibi kıyı profilenin tipini belirlemek için Denklem 1 de verilen C katsayısı mevcut kıyı ve dalga şartları altında 8 değerinden büyktür. Bir başka deyişle oluşan kısa dönemli profil değişimleri fırtına koşulları altında oluşan kış profilleridir.

Tablo 1. Deney Şartları

Deney No	d_{50} (mm)	Taban Eğimi m	Peryod T(s)	H_0/L_0	C
1	0.32	1/8	0.52	0.214	15.1
2			0.60	0.181	15.4
3			0.63	0.232	21.1
4			0.69	0.127	13.0
5			0.76	0.130	15.2
6			0.83	0.070	9.3
7		1/10	0.52	0.214	14.2
8			0.60	0.181	14.8
9			0.69	0.127	12.2
10			0.69	0.158	15.3
11			0.76	0.130	14.3
12			0.83	0.070	8.7
13		1/15	0.60	0.181	13.0
14			0.63	0.232	17.8
15			0.69	0.127	10.1
16			0.76	0.130	12.8
17	0.80	1/8	0.47	0.261	8.7
18			0.52	0.238	9.0
19			0.52	0.262	9.9
20			0.63	0.232	11.4
21			0.76	0.130	8.2
22		1/10	0.47	0.257	8.1
23			0.52	0.263	9.4
24			0.63	0.232	10.7
25		1/15	0.52	0.263	8.4
26			0.63	0.232	9.6

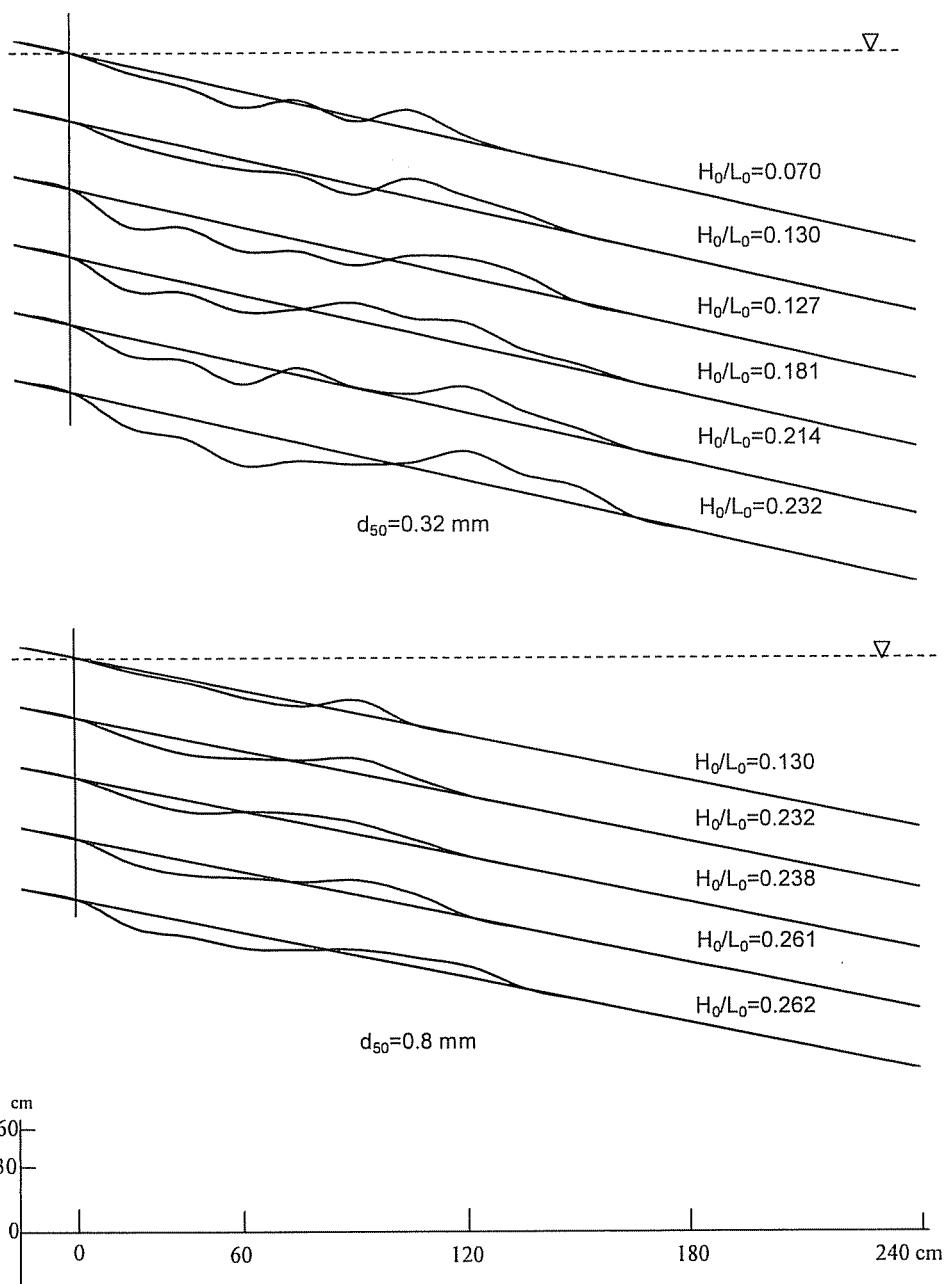
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Fırtına koşulları altında kıyıya dik doğrultudaki sediment taşınımı ile ilgili yapılan deneysel çalışmalarдан elde edilen kıyı profillerinin geometrik özellikleri (Şekil 3), farklı taban eğimleri ve derin-su dalga diklikleri için aşağıda grafiksel olarak verilmiştir.

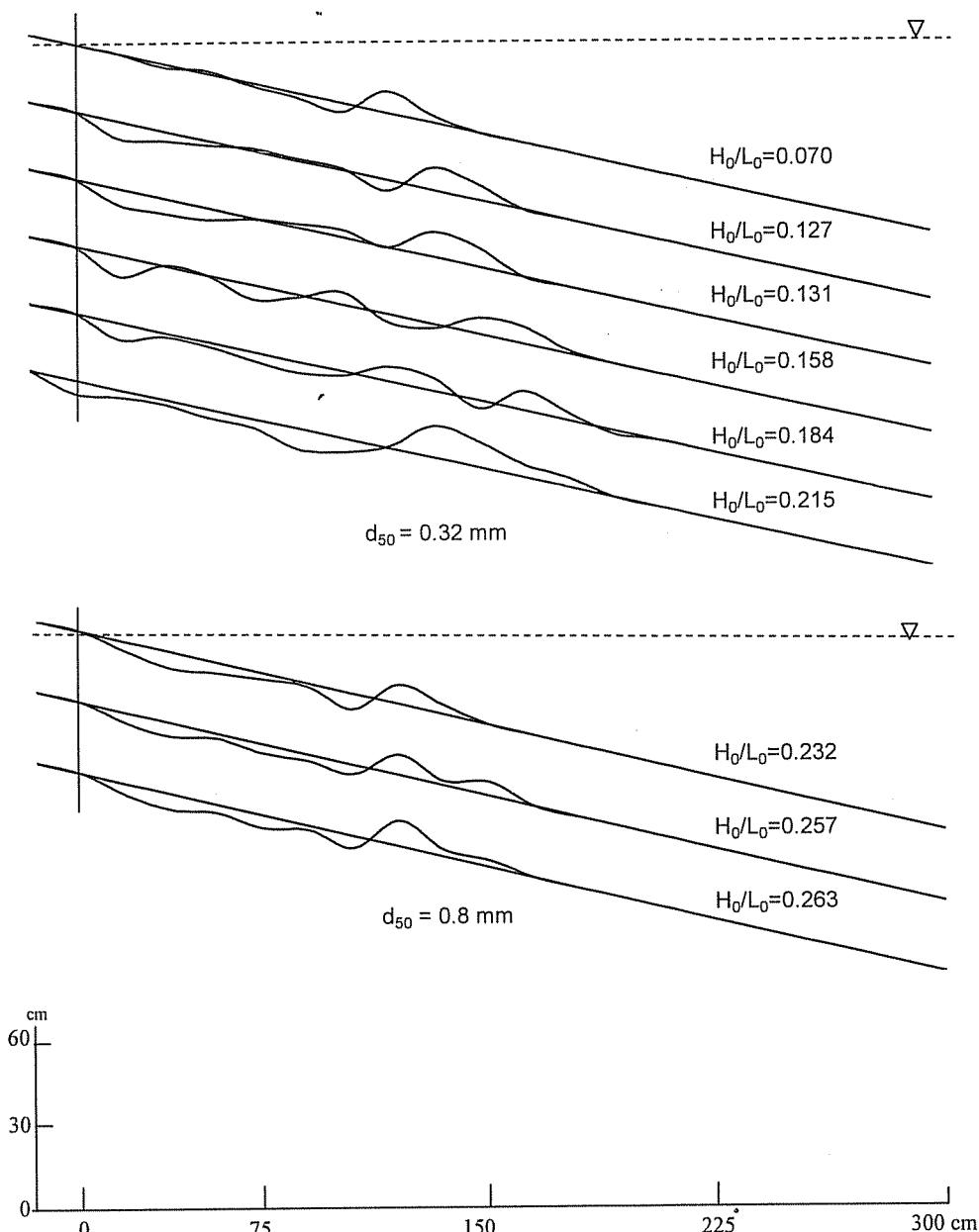
Şekil 4–6 da ince ($d_{50}=0.32\text{mm}$) ve kaba taneli ($d_{50}=0.8\text{ mm}$) taban malzemesi için $m=1/8$, $1/10$ ve $1/15$ kıyı tabanları üzerinde ayrı ayrı olarak gerçekleştirilen deneyleerde oluşan denge profilleri gösterilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi derin-su dalga diklikleri arttıkça deniz tarafına doğru olan net taşınım artmaktadır dolayısıyla deniz tarafında oluşan barın hacmi de artmaktadır. Ayrıca taban malzemesine göre sediment taşınımının bir karşılaştırılması yapıldığında ise ince taneli yani ortalama çapı $d_{50}=0.32\text{mm}$ olan tabanda daha fazla katı madde taşınımı gerçekleşmekte bir başka deyişle kıyı çizgisine yakın bölgelerde daha fazla aşınma söz konusu olmaktadır. Malzemenin kıyı ön yüzünden denize doğru taşınmasıyla oluşan erozyon sonucu kıyı çizgisi de gerilemektedir. Üniform başlangıç eğimi ile yapılan deneyleerin sonucunda oluşan denge profilleri incelendiğinde kaba danenin daha dik kıyı eğimine neden olduğu açıkça görülmektedir. Yapılan bu çalışmada H_0/Tw boyutsuz çökelman parametresi ince taneli malzeme için 0.86 değerini alırken kaba taneli malzeme için bu değer $1.11'$ e eşit olmaktadır.

Denge profilleri incelendiğinde dalga dikliği ve taban eğimine bağlı olarak birden fazla bar oluşumunun söz konusu olduğu da görülmektedir. Taban eğiminin dik olduğu ($m=1/8$) kaba taneli kıyıda bu oluşum hiç görülmekken diğer kıyılarda genellikle büyük dalga dikliklerinde birden fazla bar ile karşılaşılmaktadır.

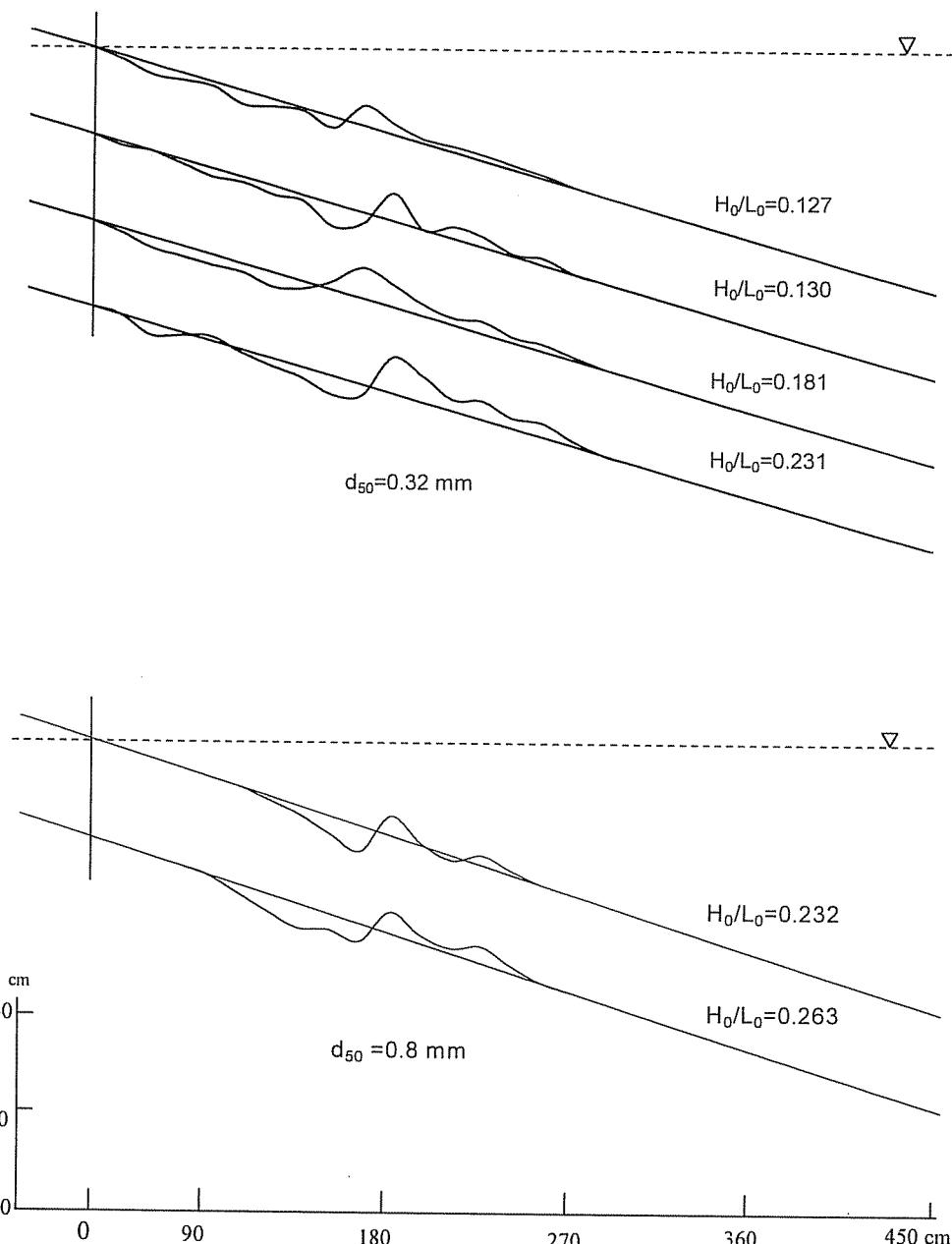
Kıyı profilinin denge konumuna ulaştığı durumda oluşan barın geometrik karakteristikleri derin-su dalga boyuna (L_0) bölünerek boyutsuz hale getirilmiş ve bu şekilde elde edilen boyutsuz büyülüklerin değişimleri farklı eğim ve dane çapı için derin-su dalga dikliğine (H_0/L_0) göre aşağıda sunulmuştur.



Şekil 4. Denge Konumundaki Kıyı Profilleri, $m = 1/8$



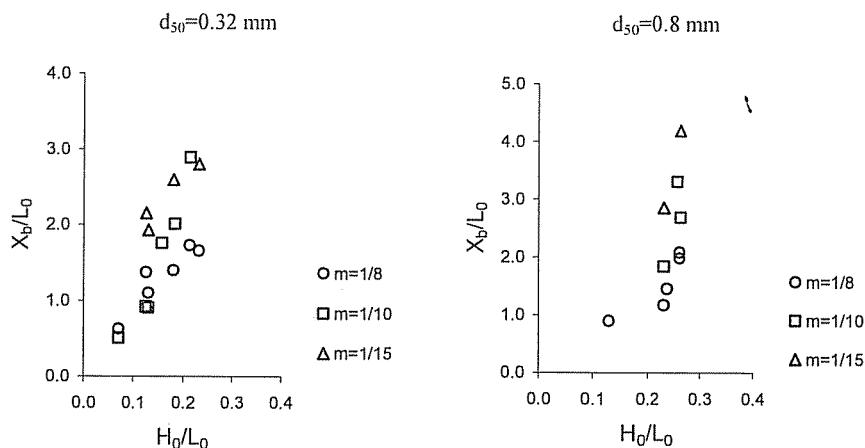
Şekil 5. Denge Konumundaki Kıyı Profilleri, $m=1/10$



Şekil 6. Denge Konumundaki Kıyı Profilleri, $m = 1/15$

4.1. Boyutsuz Bar Başlangıç Mesafesi - X_b/L_0

Kıyı profilinin denge konumuna ulaştıktan sonra oluşan barın kıyı çizgisine olan boyutsuz mesafesinin derin-su dalga dikliği ile değişimi ince ve kaba taneli tabanlar için incelenmiş; Şekil 7' de bu değişim farklı kıyı eğimleri için sunulmuştur. Şekillerden de görüleceği gibi derin-su dalga dikliğinin artmasıyla birlikte boyutsuz bar başlangıcı da artış göstermektedir. Bu artış her üç eğim için de söz konusudur. Bununla birlikte kaba taneli ($d_{50}=0.8$ mm) kıyı profili üzerinde oluşan barın boyutsuz başlangıç mesafesi $m=1/10$ ve $1/15$ eğimlerinde daha hızlı bir artış göstermektedir. Başka bir deyişle eğimin azalması (yumuşaması) ile artış oranları da artmaktadır. Boyutsuz bar başlangıç mesafesinde görülen bu hızlı artış, ortalama tane çapı $d_{50}=0.32$ mm olan ince taneli taban için sadece $m=1/10$ eğiminde söz konusu olmaktadır.

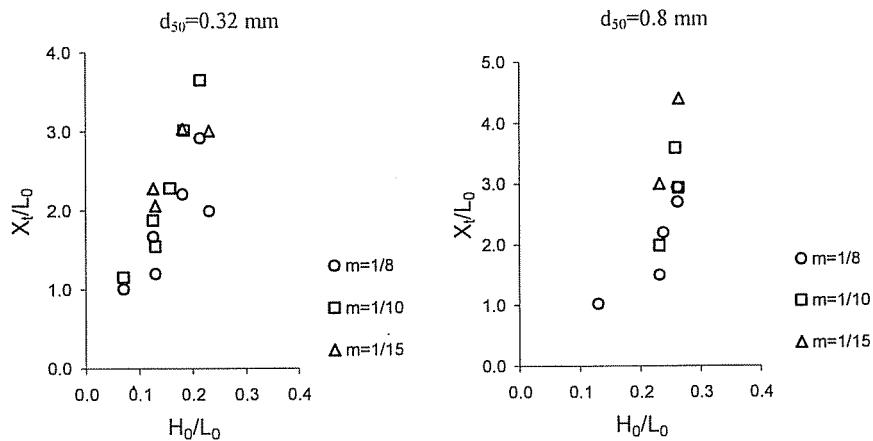


Şekil 7. $d_{50}=0.32$ ve 0.8 mm İçin Farklı Taban Eğimlerindeki Boyutsuz Bar Başlangıç Mesafeleri

4.2. Boyutsuz Bar Kret Mesafesi - X_k/L_0

Şekil 8'de $1/8$, $1/10$ ve $1/15$ taban eğimleri için kıyı çizgisine olan boyutsuz bar kret mesafesinin H_0/L_0 ile değişimi gösterilmiştir. Kaba ve ince taneli tabanlar için kıyı profilinin denge konumuna ulaştıktan sonra oluşan barın boyutsuz kret mesafesinin derin su dalga dikliğinin artmasıyla birlikte artış gösterdiği şeillerden de görülmektedir. Bu artış deneylerde kullanılan her üç eğim için de söz konusudur.

Boyutsuz bar başlangıç mesafesinde olduğu gibi boyutsuz kret mesafesi de $1/10$ ve $1/15$ eğime sahip kaba taneli kıyı tabanı için daha dik artış eğimine sahiptir. Kıyı taban malzemesinin $d_{50}=0.32$ mm olması halinde ise H_0/L_0 ' a göre değişimindeki bu hızlı artış sadece $1/10$ eğiminde görülmektedir.

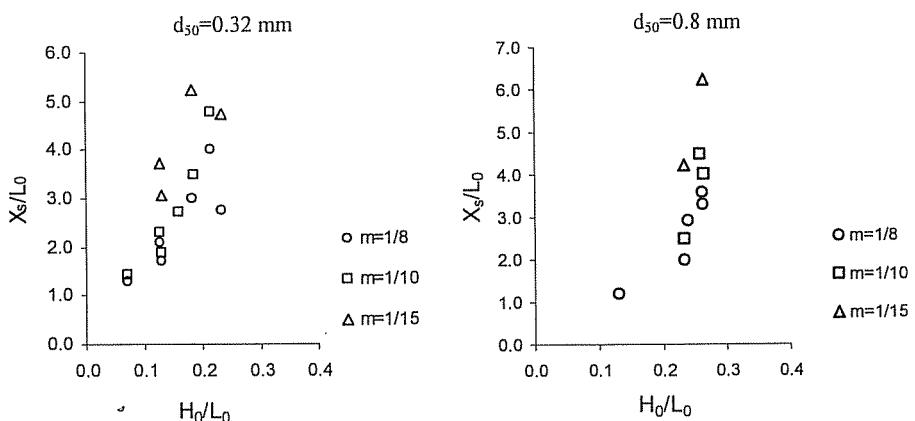


Şekil 8. $d_{50}=0.32$ ve 0.8 mm İçin Farklı Taban Eğimlerindeki Boyutsuz Bar Kret Mesafeleri

4.3. Boyutsuz Bar Bitiş Mesafesi - X_s/L_0

Boyutsuz bar bitiş mesafesinin kıyı profiliinin denge konumuna ulaştıktan sonra derin-su dalga dikliği ile değişimi $1/8$, $1/10$ ve $1/15$ kıyı eğimine sahip ince ve kaba taneli tabanlar için incelenmiş, derin-su dalga dikliği ile değişimi Şekil 9'da sunulmuştur. Her üç eğim için de artan derin-su dalga dikliklerinde boyutsuz bar bitiş mesafesinin de artış gösterdiği şeillerden de görülmektedir.

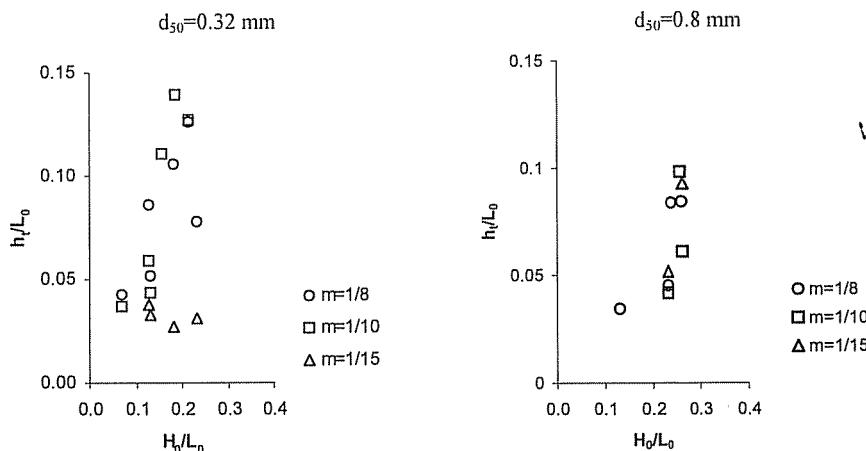
X_s/L_0 , $m=1/10$ ve $1/15$ eğimine sahip ortalama tane çapı $d_{50}= 0.8 \text{ mm}$ olan kıyı tabanında daha hızlı bir artış gösterirken $d_{50}= 0.32 \text{ mm}$ olması halinde sadece $m=1/10$ eğiminde bu hızlı artışı göstermektedir.



Şekil 9. $d_{50}=0.32$ ve 0.8 mm İçin Farklı Taban Eğimlerindeki Boyutsuz Bar Bitiş Mesafeleri

4.4. Rölatif Bar Kret Derinliği - h_0/L_0

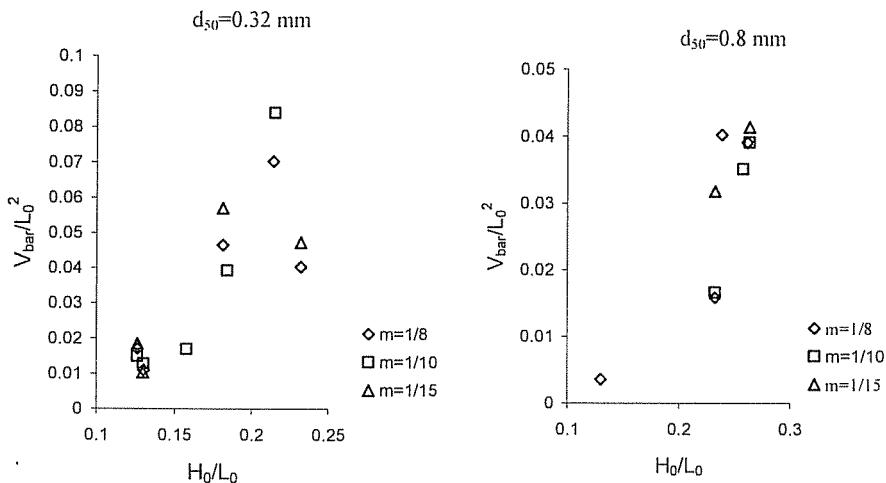
Bar tepe noktasının durgun su seviyesinden olan mesafesinin derin-su dalga dikliği ile değişimi $d_{50}=0.8$ mm ve $d_{50}=0.32$ mm ortalama tane çapına sahip 1/8, 1/10 ve 1/15 eğimindeki kıyı tabanları için Şekil 10'da gösterilmiştir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi rölatif bar kret derinliği derin-su dalga dikliği ile birlikte artış göstermektedir. Bu artış ortalama tane çapının $d_{50}=0.8$ mm olması durumunda her üç eğim için de söz konusu olurken ortalama tane çapı $d_{50}=0.32$ mm olması halinde ise sadece 1/8 ve 1/10 eğimlerinde görülmektedir. Yapılan bu çalışmadaki deney şartları altında $d_{50}=0.32$ mm ve $m=1/15$ olması durumunda rölatif bar kret derinliği H_0/L_0 ile birlikte azalma eğilimindedir.



Şekil 10. $d_{50}=0.32$ ve 0.8 mm İçin Farklı Taban Eğimlerindeki Rölatif Bar Kret Derinlikleri

4.5. Bar Hacmi

Şekil 11'de sırasıyla ince ve kaba taneli tabanlar için 1/8, 1/10 ve 1/15 kıyı eğiminde denge konumuna ulaşıldıktan sonra oluşan bar hacimlerinin derin-su dalga dikliği ile değişimleri sunulmuştur. Bu şekillerden de görüleceği gibi her üç eğim için de derin-su dalga dikliği arttıkça boyutsuz bar hacmi V_{bar}/L_0^2 de artış göstermektedir. Başka bir deyişle artan H_0/L_0 değerlerinde kıyı ön yüzünde görülen aşınma (erozyon) miktarı da artmaktadır. Ayrıca kıyı eğimi ve derin-su dalga dikliklerinin aynı olduğu dalga şartlarında ince taneli ($d_{50}=0.32 \text{ mm}$) tabanlarda daha fazla deniz tarafına doğru sediment taşınaması söz konusu olmakta ve boyutsuz bar hacmi daha büyük değerler almaktadır.



Şekil 11. $d_{50}=0.32$ ve 0.8 mm İçin Farklı Taban Eğimlerindeki Boyutsuz Bar Hacmi

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, $1/8$, $1/10$ ve $1/15$ kıyı eğimine sahip tabanlar üzerinde kıyı-deniz doğrultusundaki katı madde taşınımı ile ilgili deneySEL çalışmalar yapılmıştır. Farklı derin-su dalga dikliklerine sahip düzenli dalgalar ile yapılan deneylerde ince ($d_{50}=0.32 \text{ mm}$) ve kaba taneli ($d_{50}=0.8 \text{ mm}$) kıyı tabanlarında sediment taşınımı sonucu ortaya çıkan kıyı profillerinin geometrik özellikleri ve taşınımı etkileyen parametreler incelenmiştir.

DeneYlerden elde edilen bulgulara göre kıyı profili denge konumuna ulaştıktan sonra oluşan barın boyutsuz başlangıç, kret ve bitiş mesafeleri ile rölatif bar kret derinliği derin-su dalga dikliği ile birlikte artmaktadır. Bu artış her üç eğim için de söz konusudur. Ayrıca kıyı- deniz doğrultusunda oluşan katı madde taşınımı sonucunda kıyı ön yüzünde görülen aşınma (erozyon) miktarı bunun neticesinde oluşan bar hacmi de H_0/L_0 değeri ile birlikte artış göstermektedir. Bu durum, $1/8$, $1/10$ ve $1/15$ kıyı eğimlerinin hepsi için de geçerlidir.

6. KAYNAKLAR

1. Kirkgöz,M.S., Mamak,M., Aköz,M.S., "Kıyılarda Sediment Taşınımı Genel Bilgiler : I. Genel Bilgiler", Ç.Ü. Müh- Mim. Fak. Dergisi, 13/1-2, 49-58, 1998.
2. Sunamura,T., Horikawa,K., "Two-Dimensional Beach Transformation Due to Waves", Coastal Engineering Conference, 920-938, 1974.
3. Kapdaşlı,S., "Kıyı Mühendisliği", İ.T.Ü Yayımları, 1992.
4. Hattori,M., Kawamata,R., "Onshore-Offshore Transport and Beach Profile Change", Coastal Engineering Conference, 1175-1193, 1980.

5. Watanabe,A., Riho,Y., Horikawa,K., "Beach Profiles and On-Offshore Sediment Transport", *Coastal Engineering Conference*, 1106-1121, 1980.
6. Gourlay,R.M., "Beaches: Profiles, Processes and Permeability", *Coastal Engineering Conference*, 1321-1339, 1980.
7. Nairn,R.B., "Problems Associated with Deterministic Modelling of Extrem Beach Erosion Events", *Coastal Sediment'91*, 588-602, 1991.
8. Zheng,J., Dean,R.G., "Numerical Models and Intercomparisons of Beach Profile Elevation", *Coastal Engineering*, 169-201, 1996.
9. Hsu,T-W., "Geometric Characteristics of Storm-Beach Profiles Caused by Inclined Waves", *Ocean Engineering*, 69-84, 1998.
10. Çelikoglu,Y., Çevik,E., Yüksel,Y., "Effects of Onshore-Offshore Sediment Movements On Beach Profiles", *The 8th International Symposium on Stochastic Hydraulics*, 2000.
11. Günaydin,K., Kapdaşlı,M.S., "Characterisrics of Coastal Erosion Geometry Under Regular and Irregular Waves" *Ocean Engineering*, 1579-1593, 2003.



YAPAY SINİR AĞLARI VE REGRESYON TEKNİKLERİ İLE BOTAN ÇAYI AYLIK TAŞINAN SEDİMENT MİKTARININ MODELLENMESİ

Nizamettin HAMİDİ

D.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır/Türkiye

Mustafa DEMİRCİ

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

ÖZET : *Su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılması amacıyla inşa edilen su yapılarının planlanması göz önüne alınan parametrelerden biri de sediment miktarıdır. Bu yapıların belirlenen sürede hizmet verebilmeleri için sediment miktarının doğru olarak belirlenmesi önemlidir. Son yıllarda, olayları etkileyen parametreler arasında doğrusal olmayan ilişkiler temelinde hata payı düşük daha doğru modeller kurmaya olanak sağlayan Yapay Sinir Ağları(YSA) yaygın olarak çeşitli disiplinlerde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Dicle Havzası Botan Çayı Billoris ölçüm istasyonunda taşınan sediment miktarlarının modellerinin kurulması amaçlanmıştır. Kurulan modellerde yağış, sıcaklık ve akım bağımsız değişken, sediment ise bağımlı değişken olarak ele alınmıştır. Burada Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Regresyon Analizi (RA) yöntemleri kullanılarak 14 farklı model kurulmuş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca çeşitli istatistiklere göre en az hatayı veren model uygun model olarak seçilmiştir.*

MODELLING OF MONTHLY SEDIMENT TRANSPORT AMOUNT OF BOTAN STREAM USING NEURAL NETWORKS AND REGRESSION TECHNIQUES

ABSTRACT : *One of the parameters taken into consideration in the planning of water structures aiming at efficient use of water resources is sediment amount. It is important to accurately predict the amount of sediment so that these structures can serve within the planned duration. Due to its estimation capability, recently, Artificial Neural Network (ANNs) has been used in modelling. The ANNs models are more accurate and have low error percentage. Therefore, such models are widely used in any discipline. ANNs also enable to establish models which involve non-linear relationships between the parameters effecting the event. In this study, it is aimed to establish models of sediment transport in Billoris Station on Botan Stream, all of which are in Tigris watershed. Rainfall, temperature and flow discharge were used as independent variables, whiles sediment load was used as dependent variable in the models. Fourteen different models were established and compared with each other using Artificial Neural Networks ANNs and Regression Analysis (RA) methods. The model which had least error according to several statistics of models was chosen as the most appropriate one.*

1. GİRİŞ

Toprak ve su kaynaklarının korunması, geliştirilmesi ve bu kaynakların toplum yararına en iyi biçimde değerlendirilmesi, çağımızda hemen bütün ülkelerin içinde gelen sorunları arasında yer almaktadır. Bu sorunlardan birisi nehirlerde taşınan ve depolanan sedimentin meydana getirdiği olumsuz etkilerdir. Sediment, sulama yapılarının giriş ve çıkışlarını tıkar, çok ince parçalar halinde suyun bulanıklığını artırr, sediment yükü bir nehir yatağı oluşturarak ulaşımı zorlaştırır. En önemlisi nehirler üzerinde inşa edilen barajları doldurarak ekonomik ömürlerini azaltmaktadır.

Su kaynakları bakımından önemli potansiyele sahip olan ülkemiz de dünyada en fazla aşınmaya uğrayan ve aşırı derecede materyal veren ülkelerin başında gelmektedir. Nitekim Fırat nehri yaklaşık olarak Nil kadar katı madde taşımaktadır. Türkiye'de birim alandan taşınan materyal miktarı Kuzey Amerika'dan altı kat, Avrupa'dan 17 kat, Afrika'dan 22 kat fazladır. Ayrıca, Türkiye tarım arazisinden bir yılda taşınan materyal miktarı, tüm Avrupa kıtasından bir yılda taşınandan daha çok olduğu belirtilmiştir(1). Bu nedenle akarsular üzerinde kurulacak kontrol yapılarının projelendirilmesinde akarsuyun taşıdığı sediment miktarının bilinmesine ihtiyaç vardır. Ayrıca uygun baraj yeri seçimi için sediment birikimi için ayrılması gereklî ölçümlerin güvenilir olarak saptanmasını zorlulu kılardır(2,3).

Akarsu sediment miktarı değerleri, yağıştaki değişikliklere ve diğer iklim parametrelerine karşı hassas olduğu çeşitli çalışmalarla vurgulanmıştır. Bu nedenle sediment taşınım olayında akarsu havzası hidrolojisini etkileyen meteorolojik, iklimsel, jeolojik, coğrafik, biyolojik faktörler ile birlikte incelenmesi gereklidir. Bu yöndeki önemli bir adım A.B.D.'nin Atlantik sahili bölgesindeki yedi akarsudan alınan veriler, çoklu regresyon metoduyla analiz edilerek, sediment taşınımındaki değişimlerin nedenini belirlemek amacıyla sediment debisinin su debisi, pik akış, yağış miktarı ve yağış yoğunluğu ile arttığını belirtmektedir (4). Lane"et.al."(5) Colorado Nehri ve Niobrara için su sıcaklığının düşmesinden dolayı taşınan sediment miktarının arttığını, sıcaklığın etkisinin sığ kanallarda küçük olduğu, derin doğal akarsularda ise daha büyük olduğunu saptamıştır.

Sediment taşınımını etkileyen faktörlerin çok fazla ve ilişkilerinin karmaşık oluşu nedeniyle akarsu üzerinde kurulacak bir su kontrol yapısının, 30-50 yıl mertebesinde olan ekonomik ömrü boyunca taşınacak uzun süreli toplam sediment miktarının analitik olarak hesaplanabilmesi oldukça zordur. Bu amaçla geliştirilmiş birçok tahmin yöntemleri bulunmakla birlikte, sediment miktarının hesaplanmasımda birçok amprik bağıntıların da kullanıldığı görülmektedir. Yukarı Fırat Havzası Peri suyu içinde Loğmar istasyonunda akım değerleri kullanılarak sediment miktarları hesaplanmıştır. Markov modelleri ile gelecek yirmi yıl için sediment değerlerinin aylara göre değişimi tahmin edilmiştir (6). Dicle havzasında kirlilik kaynakları üzerinde yapılan çalışmada, süspanse sediment miktarları üzerinde etkili olabilecek yağış, akım ve sıcaklık ilişkilerinde regresyon analizi yolu ile en etkili parametrenin akım olduğu belirlenmiştir (7).

Doğadaki olayın belirsiz karakterlerinin yanı sıra, olayda etkili olan parametreler arasındaki ilişkiler, doğrusal olmayan ilişkiler olarak karşımıza çıkmaktadır. Doğrusal ilişkiler temelinde kurulan modeller, olaylardaki parametreler arasındaki ilişkileri yansitmaktan uzaktırlar. Bu nedenle, yeni yöntemlerin ortaya çıkması ve doğası tam

olarak ortaya çıkarılamamış olayların bu yöntemlerle yeniden ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Yeni bir yöntem olan Yapay Sinir Ağlarının (YSA) kullanımını da aynı sebepten kaynaklanmaktadır. Bu yöntem sayesinde olaydaki parametreler arasında rahat, hızlı ve daha doğru, diğer bir deyişle olayın doğasına daha yatkın modeller kurmak mümkün olmaktadır. Su kaynakları problemlerinde yapay sinir ağları kullanılarak yapılmış çalışmalar, bunu doğrulamaktadır.

YSA'nın su kaynaklarında sıkça karşılaşılan değişik problemlere uygulanması ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Doğrusal olmayan YSA yaklaşımının yağış-akış ilişkisini iyi temsil ettiği gösterilmiştir (8-10). YSA ayrıca birim hidrograf elde edilmesinde (11), aylık maksimum yağışların tahmininde (12), günlük ortalama akış verileri kullanılarak akımların tahmininde (13), bölgesel taşınan frekans analizinde (14), kullanılarak olumlu sonuçlar vermiştir.

Yapay sinir ağları ve regresyon tekniklerini kullanarak askı maddesi ve taşınan sediment miktarı ile ilgili de çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Baylar (15), akarsu debisi ile askı maddesi miktarı arasındaki ilişkide yapay sinir ağlarını kullanarak olumlu sonuçlar elde etmiştir. Ciğizoglu (16), bu metodu sediment konsantrasyonu tahmini problemine uygulamıştır. Büyük Menderes Köprü istasyonunda akarsu debisi göz önüne alınarak askı maddesi konsantrasyonu ve askı maddesi miktarı, ileri beslemeli yapay sinir ağları ile belirlenmiştir (17). İleri beslemeli geriye yayılmış ve genelleştirilmiş regresyon sinir ağı yöntemi ile aylık akım değerleri girdi olarak kullanılıp askı maddesi tahmini yapılmaya çalışılmıştır (18). Sakarya nehri üzerinde su debileri ve günlük askı maddesi miktarları arasındaki ilişkinin kurulmasında YSA ve bulanık mantık modelleri uygulanmıştır (19). Yapay sinir ağları yöntemi ile günlük yağış değerleri girdi olarak günlük toplam nehir askı maddesi tahmini yapılmış ve son yıllarda geliştirilmiş iki boyutlu birim sediment teorisine dayalı model ile test edilmiştir (20). Dicle havzasındaki akarsularda taşınan sediment miktarının ile ilgili modelleme çalışmasında YSA yaklaşımının daha iyi temsil edildiği gösterilmiştir (21,22).

Teknolojinin gelişmesi ve buna paralel olarak yeni teknik ve yöntemlerin ortaya çıkmasıyla modelleme çalışmalarının bu yeni teknik ve yöntemlere uygun olarak yeniden ele alınması gereklidir. Bu gerçekten yola çıkarak bu çalışmada, yeni bir yöntem olan Yapay Sinir Ağlarının, Dicle havzasındaki akarsularda taşınan sediment miktarının modelinin kurulması çalışmasında uygulanabilirliği ve başarı derecesinin belirlenmesi ve geleneksel bir yöntem olan Regresyon Analizi ile karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Çalışmada, Dicle Havzasında bulunan Botan Çayı'nda, taşınan sediment miktarlarının, ilişkili olduğu hidrolojik parametreler olan yağış, sıcaklık ve akım parametrelerinin değişik kombinasyonları arasında bulunabilecek doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkiler temelinde, Regresyon Analizi (RA) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemleri kullanılarak modeller kurulmuş, bu modeller birbirleriyle karşılaştırılmış ve geçerliliği araştırılmıştır.

2. CALIŞMA ALANININ TANITILMASI

Botan Çayı, Dicle havzasının kuzeydoğusunda Van ili sınırları içinde yer alır. Çatak deresi, bunun batısında Mukus Çayı, Bitlis ili Karasu ilçesinin yakınından geçen Ankis deresi suları Botan çayının kollarını oluşturur. Botan Çayı'nın kuzeybatısında Kezir

Çayı ve Bitlis Çayı, Siirt-Eruh yolunun 20. km'sindeki Billoris ölçüm istasyonundan hemen sonra Botan Çayı'nın suyu ile birleşerek güneye doğru akar ve Dicle Nehri'ne katılır. Ayrıca Botan Çayı üzerinde 2 km² yüzey alanına sahip Botan Gölü bulunmaktadır. Bu çalışmada, Botan çayı üzerinde Billoris istasyonunda alınan ölçümler değerlendirilmeye alınmıştır. Coğrafik koordinatları 43° 50' 59" Doğu ve 37° 48' 49" Kuzey olan ve EİE kuruluşu tarafından 2626 numaralı Billoris ölçüm istasyonu, Siirt ili sınırları içinde, Siirt- Eruh yolunun 20. km'sindeki beton köprüde yer almaktadır. Yağış alanı 8761,2 km² ve yükseltisi 457 m. olan ölçüm istasyonunda 1947 yılından itibaren akım ve 1971 yılından bu yana sediment ölçümleri yapılmaktadır. Botan çayının bu kesitteki debisi, ortalama olarak 150 m³/s ve ortalama taşınan sediment miktarı 4282671 ton/yıl olarak bulunmuştur. Bu ölçüm istasyonuna ait sediment değerlendirilmesi Çizelge 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1. Botan Çayı Billoris sediment gözlem istasyonunun değerlendirilmesi (23)

İstasyon		İstasyonun		Gözlem Yılları		Sediment anahtar eğrisi				Ortalama Süspansı sediment miktarı (ton/yıl)
No	Adı	Net Yağış Alanı (km ²)	Yükseltisi (m)	Akım	Sediment	Q _s : Sediment Q: Akım	Belirleme Katsayısı (R ²)	Örnek Sayısı	Değerlendirilen akım yıl	
2626	Botan Çayı Billoris	8761.2	457	1971-1996	1971-1999	Q _s =0.039Q ^{2.2}	0.77	314	26	4.282.671

3. MATERİYAL VE METOT

3.1. Materyal

Çalışma için gerekli yağış ve sıcaklık verileri DMİ Diyarbakır Bölge Müdürlüğü'nden, akım ve sediment verileri ise EİE kuruluşu tarafından yayınlanan "Türkiye Akarsularında Sediment Gözlemleri ve Sediment Taşınım Miktarları" yıllıklarından alınmıştır. Çalışma için, Dicle havzası sınırlarında bulunan 17210 numaralı Siirt meteoroloji istasyonunun, Botan Çayını temsil edebileceği düşünülerek bu istasyonun yağış ve sıcaklık verileri kullanılmıştır. Yine çalışma için Botan Çayı, 2626 numaralı Billoris istasyonunda ölçülen akım ve sediment değerleri kullanılmıştır. Bu istasyonda ölçülen parametrelerin uzun dönem ortalamaları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Botan Çayı Billoris İstasyonunda ortalama akım ve sediment miktarları ile bunların yağış havzalarına ait ortalama yağış ve sıcaklık değerleri (23,24).

Parametre Akarsu	Yağış (kg/m ²)	Sıcaklık (°C)	Akım (m ³ /s)	Sediment Miktarı (Ton/yıl)
Botan Çayı Billoris	67,63	13,90	150,00	4282671

3.2. Metot

Dicle Havzası akarsularında taşınan uzun dönem sediment miktarlarının modellenmesi çalışmasında iki ayrı model kullanılmıştır. Bunlardan ilki klasik bir yöntem olan Regresyon Analizidir, diğer ise son yıllarda hidrolojide yaygın olarak etkin bir şekilde kullanılan Yapay Sinir Ağları yöntemidir. Aşağıda bu iki metot ile ilgili bilgi verilmiştir.

3.2.1. Regresyon Analizi

İki değişken arasındaki istatistik anlamda ilişki, fonksiyonel tipi ve mutlak ölçüler içinde bağımlılığı regresyon analizi ile incelenir. Ayrıca, bir bağımlı değişkenle çok sayıda önemli etkileri olan bağımsız değişkenlerin ilişkisinde de fonksiyonel tipi ve mutlak ölçüler içinde bağılılığın şekli çoklu regresyon analizi ile incelenir. Genel bir istatistik teknik olan çoklu regresyon, bir değişkenin diğerlerine doğrusal bağımlılığını özetleyen ve analiz eden tanımsal bir araç ve örneklemeye verilerinin incelenmesi ile populasyondaki ilişkileri değerlendirebilen bir anlam çıkarma ve yorumlama aracıdır. Nitelik sediment ve hidroloji gibi araştırmalarda çögünlükla üssel fonksiyonlardan yararlanılması uygun görülmüştür. Doğrusal olmayan üslü fonksiyonlar logaritmik dönüşüm yoluyla doğrusal hale indirgenir.

Y bağımlı değişkeninin X_1, X_2, \dots, X_m gibi bağımsız değişkenleri arasındaki istatistik ilişki ve f herhangi bir fonksiyon olmak üzere genel olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_m) \quad (1)$$

Bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki için doğrusal bir denklem seçilirse Y 'nin regresyon denklemi de aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_mx_m \quad (2)$$

Bu denklemde y , bağımsız değişkenler $X_1 = x_1, X_2 = x_2, \dots, X_m = x_m$ değerlerini aldığında Y değişkeninin beklenen değerini ve a, b_1, b_2, \dots, b_m regresyon katsayılarını göstermektedir. İlişkinin istatistik karakteri nedeniyle X_1, X_2, \dots, X_m 'nin bilinen değerlerine karşı Y 'nin tek bir değer alması beklenemez. Denklem bağımsız değişkenlerin bilinen değerlerine karşı Y 'nin alabileceği değerin en iyi tahminini (beklenen değerini) vermektedir (25).

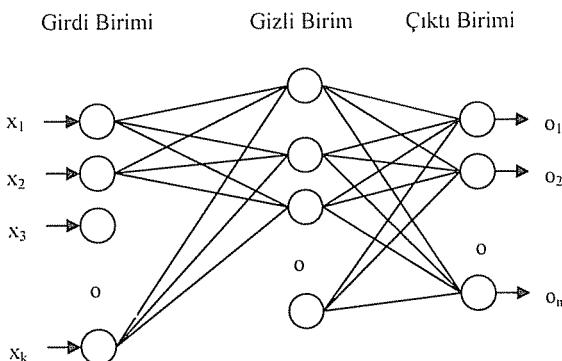
Sonuçların hata yüzdeslerinin hesaplanmasıında S_p ortalama hata yüzdesi, Y ölçülen değerler ortalaması, Y' modelin verdiği değerler ortalaması veya hesaplanan değerler ortalaması olarak aşağıda belirtilen eşitlik kullanılabilir:

$$S_p = 100(Y/Y' - 1.00) \quad (3)$$

3.2.2. Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları, insan beynindeki nöronlara benzer olarak meydana getirilen yapay nöronların değişik bağlantı geometrisi ile birbirlerine bağlanmasıyla oluşan karmaşık sistemlerdir (15). Yapay Sinir Ağı teknolojisi hesaplamalarda tamamen farklı bir yaklaşım getirmektedir.

Yapay Sinir Ağları (YSA) gibi doğrusal olmayan modellerin gözlenen zaman verilerinin analizinde kullanılması uygun gözükmemektedir. Bir tür kapalı kutu modeli olarak tanımlanabilecek bu yöntem farklı seviyelerde genelleştirmeler sağlama özelliği ile esnek bir yaklaşımla küçük veri setlerinden mantıklı bir çözüm üretebil almaktadır. YSA kendisine verilen örnekler üzerinde kendini eğiterek bir çözüm sistemi geliştirmektedir. YSA ile modelleme iki aşamadan oluşmaktadır. Birincisi, YSA'nın parametrelerinin (gizli tabaka hücre sayısı, aktivasyon fonksiyonunun şekli ve parametreleri vs.) belirlenmesi amacıyla yapılan eğitim aşaması, ikincisi ise parametreleri belirlenen bu YSA modelinin test aşamasıdır.



Şekil 1. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

Bir yapay sinir ağında girdi, gizli ve çıktı birimleri olmak üzere üç farklı birim bulunmaktadır. Her birim bir kaç nöronundan oluşmakta olup birimler, aralarında ağırlık kümeleri ile bağlanmaktadır. Şekil 1'de yapay sinir ağlarının yapısında görüldüğü gibi bağlanma şekli ve her kısımdaki nöron sayısı değişebilmektedir. Aynı kısımdaki nöronlar arasında iletişim olmasına izin verilmemektedir. Nöronlar girdiyi ya başlangıç girdilerinden ya da ara bağlantılarından alırlar. İlk etapta YSA'nın verdiği çıktı değerleri ile gözlenen gerçek değerler arasındaki hata miktarı fazla olacağı için ağır, hataların geriye yayılması prensibine göre bağlantı ağırlıklarını yenilemesi gerekmektedir. Geriye doğru hata yayılması iki etaptan oluşmaktadır. Bunlar, çıktı birimindeki çıktı bilgi sinyalini hesaplamak için girdi nöronlarındaki dış girdi bilgisini ileriye doğru ileten bir ileriye doğru besleme etabı ile çıktı birimindeki hesaplanan ve gözlenen bilgi sinyalleri arasındaki farklara dayanarak bağlantı kuvvetleri üzerinde değişikliklerin yapıldığı bir geriye doğru ilerleme etabıdır.

Bir eğitim sürecinin başında, bağlantı kuvvetleri rasgele değerler olarak atanmaktadır. Öğrenme algoritması her iterasyonda eğitim başarı ile tamamlanana kadar kuvveti değiştirmektedir. İterasyon süreci bir sonuca vardığında bağlantı kuvvetleri, eğitim sürecinde kullanılan örneklerdeki mevcut bilgiyi elde eder ve saklar. Bu şekilde eğitim aşaması tamamlanmış olur. Daha sonra yeni bir girdi grubu sunulduğunda, ileriye doğru besleme ile sinir ağının bağlantı kuvvetlerindeki öğrenilmiş ve saklanan bilgi sayesinde bir çıktı grubu elde edilir (16). Diğer bir deyişle eğitilen bu YSA ağını kullanarak, herhangi bir girdi grubu için bir çıktı grubu elde edilebilir, yani tahmin yapılabılır.

Yapay sinir ağlarının işleyiş formüllerinin adımları aşağıda verilmiştir. Her birinin girdi nöronlarında X_i , $i=1, \dots, k$ girdi değerleri, çıktı nöronlarında da T_n , $n=1, \dots, m$ çıktı değerleri kümesi bulunan toplam N adet girdi grubu bulunmaktadır. Girdi değerleri gizli nöronlardaki ilk ara bağlantı ağırlıkları, w_{ij} , $j=1, \dots, h$ ile çarpılmakta ve sonuçlar i indeksi boyunca toplanmakta ve gizli birimlerin girdileri olmaktadır, örneğin;

$$H_j = \sum_{i=1}^k w_{ij} X_i \quad j = 1, \dots, h \quad (4)$$

Burada H_j , j gizli nöronun girdisi, w_{ij} ise i nöronundan j nöronuna doğru olan bağlantı ağırlığıdır. Her gizli nöron bir dönüşüm fonksiyonu (sigmoid, gauss, polinom,...) yardımıyla bir gizli nöron çıktıları HO_j oluşturmaktadır. HO_j uygulanan dönüşüm fonksiyonuna bağlı olarak şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$HO_j = f(H_j) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{-(H_j + b_j)}{\theta}}} \quad \text{sigmoid fonksiyonu} \quad (5)$$

$$HO_j = f(H_j) = ae^{-\frac{(H_j + b_j)^2}{c}} \quad \text{gauss fonksiyonu} \quad (6)$$

Burada H_j nöronun girdisi, $f(H_j)$ nöron çıktısı, b_j başlangıç veya taraflılık değeri, θ fonksiyon eğimini ayarlayan parametre, a ve c ise gauss fonksiyonunun parametreleridir. θ , a ve c parametreleri probleme uygun olarak modelleyici tarafından seçilir, b_j başlangıç değeri ise ağırlıklarla aynı şekilde öğrenilecektir. HO_j çıktısı bir sonraki birimin girdisi olmakta ve bu işlem çıktı birimine ulaşıcaya kadar devam etmektedir. m adet çıktı nöronlarına ulaşan girdi şu şekilde bulunmaktadır:

$$IO_n = \sum_{j=1}^h w_{jn} HO_{jn} \quad n = 1, \dots, m \quad (7)$$

Bu girdi değerleri daha önce tanımlanan sigmoid/gauss fonksiyonu tarafından işlenerek sinir ağı çıktıları O_n elde edilmektedir. Daha sonraki ağırlık düzlemesi

ya da öğrenme süreci geriye doğru yayılma algoritması ile sağlanmaktadır. Çıktı birimindeki O_n , hedef değeri T_n ile aynı olmayacağıdır. Her girdi grubu için hata karelerinin toplamı e_p , p'inci girdi grubu için şu şekilde bulunmaktadır:

$$e_p = \sum_{n=1}^m (T_n - O_n)^2 \quad (8)$$

Ortalama sistem hatası ya da ortalama kare hatası (OKH) E, bütün girdi grupları için şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$E = \frac{1}{2N} \sum_{p=1}^N \sum_{n=1}^m (T_{pn} - O_{pn})^2 \quad (9)$$

Burada T_{pn} , p'inci grup için T_n hedef değeri, O_{pn} ise p'inci grup için O_n çıktı değeridir. Geriye doğru yayılma algoritmasının amacı ortalama kare hatasının iterasyonla en aza indirilmesidir. Bu önce çıktı birimindeki her nöron için δ_n hata gradyanının hesaplanması ile gerçekleştirilir:

$$\delta_n = O_n (1-O_n) (T_n - O_n) \quad \text{sigmoid fonksiyonu} \quad (10)$$

$$\delta_n = O_n \sqrt{-\log O_n} (T_n - O_n) \quad \text{gauss fonksiyonu} \quad (11)$$

Gizli birimlerdeki her nöron için δ_j hata gradyanı ise bir sonraki birimdeki hataların ağırlıklı toplamının hesaplanması ile bulunmaktadır:

$$\delta_j = HO_j (1-HO_j) \sum_{n=1}^m \delta_n w_{jn} \quad \text{sigmoid fonksiyonu} \quad (12)$$

$$\delta_j = HO_j \sqrt{-\log HO_j} \sum_{n=1}^m \delta_n w_{jn} \quad \text{gauss fonksiyonu} \quad (13)$$

Hata gradyanları daha sonra ağ ağırlıklarını güncellemek için kullanılmaktadır:

$$\Delta w_{ij}(r) = \eta \delta_j X_i \quad (14)$$

$$W_{ij}(r+1) = w_{ij}(r) + \Delta w_{ij}(r) \quad (15)$$

n'inci veri sunumundan sonraki ağırlık değişimi şu şekildedir:

$$\Delta w_{ij}(r) = \eta \delta_j X_i + \alpha \Delta w_{ij}(r-1) \quad (16)$$

Burada η , öğrenme oranıdır, α , momentum faktörü, r ise iterasyon numarasıdır.

3. MODELLERİN KURULMASI

Çalışmada hem Yapay Sinir Ağları (YSA) hem de Regresyon Analizi (RA) kullanılarak çeşitli modeller kurulmuştur. YSA'nın kullanıldığı bütün modeller doğrusal olmayan ilişkiler temelinde, RA'nın kullanıldığı modellerde ise bağımsız değişken sayısı bir tane olması halinde doğrusal olmayan, bağımsız değişken sayısı birden fazla olduğu hallerde ise doğrusal ilişki temelinde modeller kurulmuştur. Bu modellerin tümünde taşınan sediment miktarı bağımlı değişken; yağış, sıcaklık ve akım değerleri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.

Çalışmada kurulan modeller; yağış-sediment (P-S), sıcaklık-sediment (T-S), akım debisi-sediment (Q-S), yağış-sıcaklık-sediment (P-T-S), yağış-akım debisi-sediment (P-Q-S), sıcaklık-akım debisi-sediment (T-Q-S) ve yağış-sıcaklık-akım debisi-sediment (P-T-Q-S) modelleridir. Bu modellerin her biri için RA ve YSA yöntemleri olmak üzere iki değişik model kullanılarak akarsu için toplam 14 model kurulmuştur ve bu modeller birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Botan Çayı'nda taşınan uzun dönem aylık sediment miktarlarının, yağış, sıcaklık ve akım miktarı parametrelerinin çeşitli kombinasyonları ile ilişkisini incelemek amacıyla doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkiler temelinde 14 farklı model kurulmuştur. Kurulan bu 14 modelden 7 tanesi Regresyon (RA) modelleri, 7 tanesi de Yapay Sinir Ağları (YSA) modelidir.

Söz konusu verilerin bir kısmı modelin parametrelerinin belirlenmesinde eğitim aşaması, geri kalan kısmı ise modelin geçerliliğini belirlemek amacıyla tahmin aşaması için kullanılmıştır. Çalışmada 220 aylık yağış (kg/m^2), sıcaklık ($^{\circ}C$), akım (m^3/s) ve süspans-e-sediment (ton/yıl) verileri kullanılmıştır. Bu sebeple Botan Çayı için 225 veriden 125 tanesi modelin parametrelerinin belirlenmesinde eğitim, 95 tanesi de modeli test için tahmin aşamasında kullanılmıştır.

Bağımsız değişken sayısının bir veya birden fazla olması halinde Regresyon modelleri için, doğrusal, logaritmik, polinom, üs ve üstel eğrilerinden, dağılımı en iyi temsil eden korelasyon katsayısı en büyük eğri seçilmiş ve bu eğrinin denklemi ve modelin parametreleri belirlenmiştir. YSA modelleri için, her bir tabakasındaki hücre sayısı değişken olabilen, girdi tabakası, bir gizli tabakası ve çıktı tabakası olan üç tabakalı bir YSA ağı oluşturulmuştur. Bu YSA ağını eğitmek amacıyla geriye doğru yayılma algoritması kullanılmıştır. Çalışmada, Fortran dilinde yazılmış bir program kullanılmıştır.

4. BULGULAR

Botan Çayı için kurulan regresyon modellerde (RA), modellerin verdiği değerler ile gerçek değerler arasında korelasyon katsayıları (R), model kurma aşamasında yani

eğitim aşamasında 0,32 ile 0,72 değerleri arasında, modeli test etme aşamasında yani tahmin aşamasında ise 0,19 ile 0,86 değerleri arasında değişmektedir. Kurulan en iyi modeller sırasıyla sediment-akım debisi (S-Q modeli), sediment-yağış-akım debisi (S-P-Q), sediment-sıcaklık-akım debisi (S-T-Q), sediment-yağış-sıcaklık-akım debisi (S-T-P-Q) modelleridir. Bunlar arasında korelasyon katsayısı eğitim ve tahmin aşamasında sırasıyla 0,70 ve 0,86 olan sediment-akım debisi modeli (S-Q modeli) en iyi model olarak seçilmiştir. Çünkü bu model literatürde yapılan çalışmalarda a katsayısının %5 ile %90, b katsayısının 2 ile 3 arasında değişen değerleri veren ve akarsuyun herhangi bir kesitindeki debisi ile katı madde değişimini arasındaki ilişkiyi gösteren sediment anahtar eğrisi ile bir uyum içinde olmaktadır.

Botan Çayı için kurulan Yapay Sinir Ağları modellerde (YSA), modellerin verdiği değerler ile gerçek değerler arasında korelasyon katsayıları (R), model kurma aşamasında yani eğitim aşamasında 0,33 ile 0,80 değerleri arasında, modeli test etme aşamasında yani tahmin aşamasında ise 0,17 ile 0,90 değerleri arasında değişmektedir. Bu modellerin rölatif hataları ise eğitim ve tahmin aşamasında sırasıyla %1,31 ile %164,40 değerleri arasında değişmektedir. Kurulan en iyi modeller sırasıyla sediment-akım debisi (S-Q modeli), sediment-yağış-akım debisi (S-P-Q), sediment-sıcaklık-akım debisi (S-T-Q), sediment-yağış-sıcaklık-akım debisi (S-T-P-Q) modelleridir. Bunlar arasında sediment-akım debisi modeli (S-Q modeli) en iyi model olarak seçilmiştir. Çünkü modelin rölatif hatası diğer modellere göre daha düşüktür. Diğer modellerin rölatif hataları özellikle tahmin aşamasında çok büyük olması nedeniyle tatmin edici bulunmamıştır.

Regresyon (RA) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) modelleri ile ilgili ayrıntılı bilgiler Çizelge 3'te verilmiştir. Burada S:taşınan sediment miktarı (ton/yıl); P:yağış (kg/m^2); T:sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$); Q:akım debisi (m^3/s); $\theta, A, N, \eta, \alpha, I$: YSA modelinin parametreleri; a,b,c,d RA modelinin parametreleri, R ise korelasyon katsayısını göstermektedir.

YSA modellerinden sadece S-Q modelleri için sigmoid aktivasyon fonksiyonunun, diğer bütün modeller için ise gauss aktivasyon fonksiyonunun kullanılmasının uygun olduğu, verilerdeki saçılma grafiklerinden anlaşılmıştır. Yani sediment miktarlarının, sadece akım miktarları ile değişimi genel olarak monoton iken, diğer bağımsız değişkenlerden herhangi biri (yağış, sıcaklık) modelde bulunduğuunda ilişkinin monoton olduğunu söylemek mümkün değildir.

Çizelge 3'te görüldüğü gibi seçilen en iyi model olan YSA/S-Q modelinin parametreleri ise şöyledir: sigmoid fonksiyonun parametresi olan $\theta=0,50$, gizli tabaka hücre sayısı $N2=4$, öğrenme oranı $\eta=0,20$, momentum katsayısı $\alpha=0,50$ ve iterasyon sayısı $I=10000$ olarak seçilmiş ve bu parametrelere göre modelin verdiği değerlerin rölatif hatası eğitim ve tahmin aşamasında sırasıyla %12,63 ve %7,01, korelasyon katsayısı eğitim ve tahmin aşamasında sırasıyla 0,80 ve 0,74 olarak bulunmuştur. Ayrıca seçilen en iyi model olan YSA/S-Q modeli ve gözlenen verilerin istatistik parametreleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Şekil 1 ve 2'de Botan Çayı için kurulan modellerden en iyi sonucu veren YSA/S-Q modelin, eğitim ve tahmin aşamasında model çıktılarının gözlenen değerlerle karşılaştırılması gösterilmiştir. Şekil 3 ve 4'te eğitim ve tahmin aşamasında hesaplanan ve gözlenen taşınan sediment miktarlarına ait saçılma diyagramı verilmiştir.

**YAPAY SINİR AĞLARI VE REGRESYON TEKNİKLERİ İLE BOTAN ÇAYI
AYLIK TAŞINAN SEDİMENT MIKTARININ MODELLENMESİ**

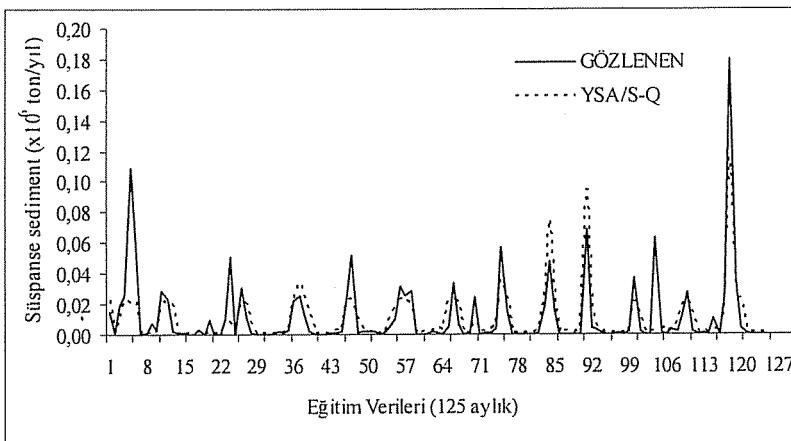
Çizelge 3. Botan Çayı Billoris Ölçüm İstasyonu için Kurulan Modeller ve Özellikleri

Model	Fonksiyon	Katsayılar				R		Rölatif Hata (%)	
		a	b	c	d	Eğitim	Tahmin	Eğitim	Tahmin
S-P	$S=aP+b$	140,53	2303,4			0,32	0,19	0,00	168,66
S-T	$S=aT^2+bT+c$	-108,65	3405,3	-5967,30		0,36	0,26	0,00	204,32
S-Q	$S=aQ^b$	0,0919	2,1275			0,70	0,86	32,46	98,73
S-P-T	$S=aP+bT+c$	246,11	1037,77	-18463,92		0,46	0,23	0,00	135,00
S-P-Q	$S=aP+bQ+c$	100,57	104,61	-11086,74		0,72	0,72	0,00	100,51
S-T-Q	$S=aT+bQ+c$	-265,03	114,04	-2526,24		0,69	0,73	0,00	109,00
S-P-T-Q	$S=aP+bT+cQ+d$	125,96	231,1	99,68	-15079,66	0,72	0,72	0,00	98,21

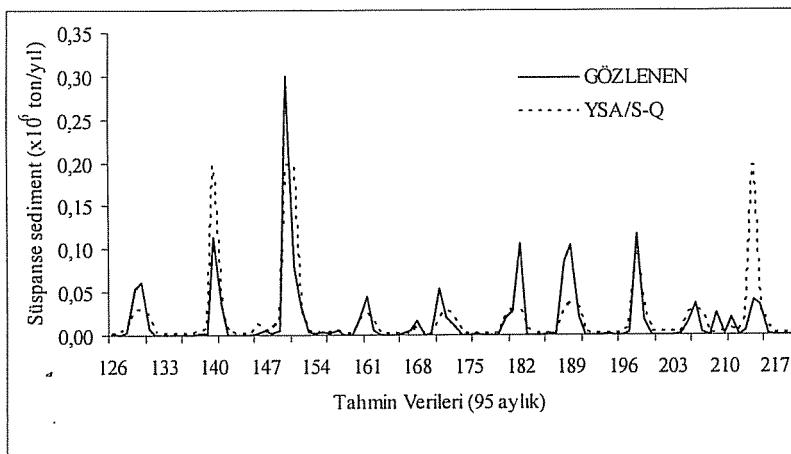
YSA MODELİ										
Model	Aktivasyon Fonksiyonu		N2	η	α	I	R		Rölatif Hata(%)	
	Sigmoid	Gauss								
	Parametreler									
	θ	a					Eğitim	Tahmin	Eğitim	Tahmin
S-P	-	3,0	3	0,01	0,30	1000	0,33	0,17	1,31	156,9
S-T	-	3,0	3	0,01	0,30	1000	0,40	0,34	11,99	164,4
S-Q	0,5	-	4	0,20	0,50	10000	0,80	0,74	12,63	7,01
S-P-T	-	1,0	6	0,01	0,30	2000	0,55	0,31	3,15	124,5
S-P-Q	-	1,5	5	0,01	0,60	5000	0,76	0,86	4,26	63,99
S-T-Q	-	2,0	5	0,01	0,60	1000	0,72	0,88	4,16	63,25
S-P-T-Q	-	2,5	7	0,01	0,30	10000	0,78	0,90	2,36	66,13

Çizelge 4. Seçilen YSA/S-Q Modelinin ve Gözlenen Değerlerin İstatistik Parametreleri

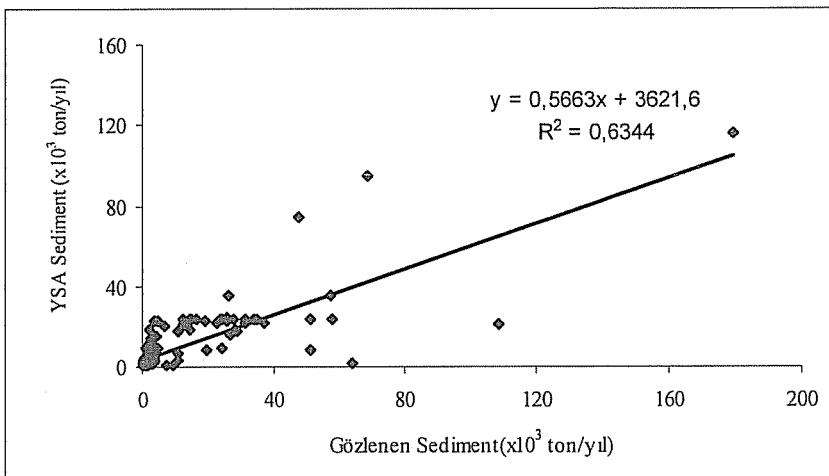
İstatistik Parametre	Gözlenen		Model		Rölatif Hata(%)	
	Eğitim	Tahmin	Eğitim	Tahmin	Eğitim	Tahmin
Ortalama	11263,49	17110,74	10000,24	18401,11	12,63	7,01
Standart Sapma	23120,65	39475,84	16439,12	40048,14	40,64	1,43
Çarpıklık Katsayısı	4,19	4,59	3,84	3,86	9,11	18,87



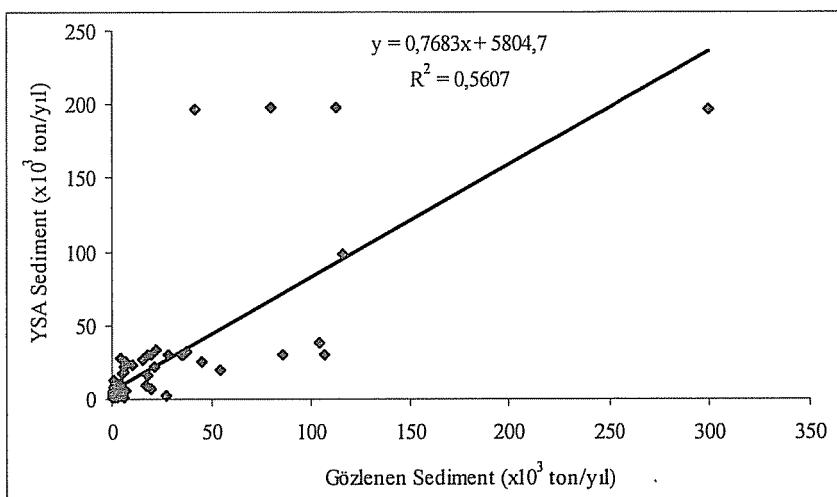
Şekil 1. YSA/S-Q Modelinin Eğitim Aşamasında Model Değerleri ile Gözlenen Değerlerin Karşılaştırılması



Şekil 2. YSA/S-Q Modelinin Tahmin Aşamasında Model Değerleri ile Gözlenen Değerlerin Karşılaştırılması



Şekil 3. Eğitim Aşamasında Hesaplanan ve Gözlenen Taşınan Sediment Miktarlarına Ait Saçılma Diyagramı



Şekil 4. Tahmin Aşamasında Hesaplanan ve Gözlenen Taşınan Sediment Miktarlarına Ait Saçılma Diyagramı

5. SONUÇLAR

Dicle havzası sınırlarında bulunan Botan Çayı Billoris istasyonu için yapılan modelleme çalışmasında uzun-dönem yıllık veriler göz önüne alındığında taşınan sediment miktarı ile yağış ve/veya sıcaklık parametreleri arasında doğrudan, doğrusal veya doğrusal olmayan hata düzeyi düşük anlamlı bir fonksiyonel ilişki elde edilememiştir. Sadece Botan Çayı için kurulan en iyi model yapay sinir ağları yöntemi

kullanılarak oluşturulan, taşınan sediment miktarının akım miktarı ile ilişkisine dayanan ve hata düzeyi düşük YSA/S-Q modelidir.

Taşınan sediment miktarlarının modellenmesinde Yapay Sinir Ağları yönteminin kullanılmasının Regresyon Analizine göre daha iyi sonuçlar verdiği göstermiştir. Bunun nedeni Regresyon Analizinde, bağımsız değişken sayısı birden fazla olduğu zaman değişkenler arasında doğrusal olmayan bir ilişki kurmak için birtakım dönüştürmeler gerektiğinden zor ve vakit kaybına neden olurken, YSA sayesinde doğrusal olmayan modelleme çok hızlı ve rahat bir şekilde yapılabilmektedir.

Çalışmada, girdi olarak yağış ve akım miktarı kullanılarak taşınan sediment miktarının tahmin edilebileceği gösterilmiştir. Çalışmada ayrıca, tahmin edilen taşınan sediment miktarlarının bazı değerlerde farklı olabilmesine karşın, bütün veriler göz önüne alındığında oldukça düşük bir hata ile tahmin yapılabileceği gösterilmiştir. Bu sonuca göre belli bir dönemde sediment ölçümü yapılamadığı zaman, ölçülen akım miktarları ve yağış değerleri YSA modelinde girdi olarak kullanılarak eksik döneme ait taşınan sediment miktarlarının toplamını düşük bir hata ile tahmin etmek mümkündür. Sonuç olarak, aralarında non-lineer ilişki bulunan değişkenler arasında fonksiyonel bağıntılar geliştirmeye çalışmasında, Yapay Sinir Ağları Metodunun lineer ilişkileri kullanan klasik metotlara göre çok büyük avantajlar sağladığı görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- Holeman,J.N., "The sediment yield of major rivers of the world", Water Resources , 4, 737-747, 1968.*
- Görcelioğlu,E., "Akarsu Havzalarının Asılı Sediment Verimlerini Etkileyen Başlıca İklim, Havza ve Akım Özellikleri Üzerine Araştırmalar", İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, 145 s., İstanbul, 1982.*
- Atalay,I., "Türkiye'de rıhtınel sedimentasyon problemleri", Prospektör Dergisi, 2,105-119, Ankara, 1973.*
- Guy,H.P., "An analysis of some storm variables affecting stream sediment transport", U.S. Geol. Survey, Paper 462-E, 1964.*
- Lane,E.W., Carlson,E.J. and "Hanson,O.S. , "Low temperature increases sediment transportation in Colorado river", Civil Eng ASCE, vol. 16, 1949.*
- Öztürk,M. ve Gül,E., "Peri Suyu Havzasında Sediment Miktarının Belirlenmesi ve Metotların Karşılaştırılması ", I.Türkiye Su Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 2, s. 423-430 , İstanbul, 8-10 Ocak 2001.*
- Hamidi,N., "Dicle Nehri Kırılığının Kaynaklar ve Kırılığın Değişimi Yönünden Matematiksel Modellerle Belirlenmesi", F.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 199 s., Elazığ,1994.*
- Hsu,K., Gupta,H.V. and Sorooshian,S., "Artificial neural network modelling of rainfall-runoff process", Water Resources Research, 31 (10), 2517-2530, 1995.*
- Fernando,D.A. and Jayawardena,A.W., "Runoff Forecasting Using RBF Networks with OLS Algorithm", Journal of Hydrological Engineering, 3 (3), 203-209, 1998.*
- Cığızoğlu,H.K. ve Alp,M., "İleri Beslemeli Geriye Yayınım Sinir Ağları ile Yağış-Akış İlişkisinin Modellemesi", IV.Uluslararası Hidroloji Kongresi Bildiriler Kitabı, İTÜ, İnşaat Fakültesi İstanbul, s.341-346 ,21-25 Haziran 2004.*

- 11.** Lange,N., "Advantages of unit hydrograph derivation by neural networks", *Hydroinformatics Conference, Copenhagen, 1998.*
- 12.** Karahan,H. ve Fırat,M., "Aylık Maksimum Yağışların Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı ve Denizli İçin Bir Uygulama", *IV.Uluslararası Hidroloji Kongresi Bildiriler Kitabı, İTÜ, İnşaat Fakültesi İstanbul, s. 327-334, 21-25 Haziran 2004.*
- 13.** Kişi,Ö., "Yapay Sinir Ağları ve Regresyon Teknikleri ile Filyos Çayı Akımlarının Tahmini ", *IV.Uluslararası Hidroloji Kongresi Bildiriler Kitabı, İTÜ, İnşaat Fakültesi İstanbul, s.347-353 ,21-25 Haziran 2004.*
- 14.** Hall,M.J. and Minns,A., "Regional Flood Frequency Analysis Using Artificial Neural Networks", *Hydroinformatics Conference, Copenhagen, 1998.*
- 15.** Baylar,A., Kaya.N. ve Emiroğlu,M.E., "Akarsu Debisi ile Askı Maddesi Miktarı Arasındaki İlişkinin Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi", *F.Ü. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi, 11(2), 105-116,1999.*
- 16.** Ciğreoglu,H.K., "Suspended sediment estimation and forecasting using artificial neural networks", *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences, 26 (1) , 15-25, 2002.*
- 17.** Fırat,M. ve Gingör,M., "Askı Madde Konsantrasyonu ve Miktarının Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi", *TMOOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi,15 (3), 3267-3282, 2004.*
- 18.** Alp,M. ve Ciğreoglu,H.K., "Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağları ile Askı Maddesi Miktarının Tahmini", *IV.Uluslararası Hidroloji Kongresi Bildiriler Kitabı, İTÜ, İnşaat Fakültesi İstanbul, s.335-340 ,21-25 Haziran 2004.*
- 19.** Doğan,E., İşik,S. ve Şaşal,M., " Esnek Modelleme Yöntemlerini Kullanarak Nehirdeki Askı Maddesi Miktarının Tahmin Edilmesi", *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu, Kocaeli, s.867-874, 16-18 Kasım 2005.*
- 20.** Güldal,V. ve Tayfur,G., "Akarsularda Gündük Toplam Askı Maddesi Miktarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini", *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu, Kocaeli, s. 858-866, 16- 18 Kasım 2005.*
- 21.** Kayaalp,N., "Dicle Havzası Akarsularında Sediment Taşınımının Matematiksel Modellerle Belirlenmesi", *D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 62 s., Diyarbakır, 2003.*
- 22.** Kayaalp,N. ve Hamidi,N., "Dicle nehrinde taşınan aylık stüspanse sediment miktarının yapay sinir ağları kullanılarak belirlenmesi", *IV.Uluslararası Hidroloji Kongresi Bildiriler Kitabı, İTÜ, İnşaat Fakültesi İstanbul, s.319-325, 21-25 Haziran 2004.*
- 23.** EIE, "1999 Yılı Su Akımları Yıllığı", *Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Yayın no. 28, Ankara, 2002.*
- 24.** DMİ, "Ortalama, Ekstremler Sicaklık ve Yağış Değerleri", *Devlet Meteoroloji İşleri Diyarbakır Bölge Müdürlüğü, Yazılı Görüşme, 2003.*
- 25.** Bayazıt,M., "İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri", *İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, sayı:1573, 245 s., İstanbul, 1996.*

DİYARBAKIR İLİ, YENİ MÜCAVİR ALANIN REZİDÜEL KİLİNİN ŞİŞME POTANSİYELİNİN İRDELENMESİ

Taha TAŞKIRAN

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

ÖZET : Bu çalışmada, Diyarbakır ili, Kayapınar-Bağcılar ve Yeniköy semtlerini kapsayan alanın, ilin yeni mücavir alanı olması ve yakın gelecekte yoğun bir konutlaşmaya sahne olacağı ve mevcut yapıplarda (*hafif yapılar*) var olan çatıtlaklar nedeniyle mevcut formasyonun şışme potansiyelinin irdelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma alanından elde edilen örselenmemiş numuneler üzerinde zemin sınırlandırma, serbest şışme yüzdesi (*free swell*), sabit hacimli şışme (*constant volume swell*) deneyleri yürütülmüş ve X-Ray diffraksiyonu ile mineralojik analizler yapılmıştır.

Çalışmalar sonucunda mevcut kılın, şışebilir özellikte (*potansiyel şışebilir*) olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen şışme deneyleri ile söz konusu kile ait şışme değerleri elde edilmiş ve özellikle az katlı yapılar, zemin kaplamaları, yol ve isale hatlarını gibi hafif yapıplara “orta derecede hasar verebilir” olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler : şışme potansiyeli, hasar mertebesi

EVALUATION OF SWELLING POTENTIAL OF RESIDUEL CLAY OF NEW SETTLEMENT AREA IN DIYARBAKIR PROVINCE

ABSTRACT : In this study, the new settlement area of Diyarbakır province enclosed by Kayapınar-Bağcılar and Yeniköy regions is studied. Due to structural distress observed especially on light structures, it is therefore intended to study swelling potential of existing clay formation.

For this purpose, undisturbed samples were taken from different location of studying area and soil classification, free swell and constant volume swell tests were performed. X-Ray diffraction analysis was also carried out to get information about mineralogical composition.

Consequently has been determined that the soil is potentially swell type. Potential swell values were correlated with degree of structural distress. It is also concluded that especially light structures such as single storey buildings, road pavements and pipelines will be moderately affected.

Keywords : swelling potential, degree of structural distress

1. GİRİŞ

Şişme özelliği olan kısmen doygun zeminler, su ile karşılaşlıklarında, hacim değiştirirler ve şısmelerine engel olunduğu takdirde ise basınç uygularlar. Bu basınç “şişme basıncı” olarak adlandırılır. Şişen zeminlerin bu özelliklerini ölçmek amacıyla, uygulanan deneysel yöntemler ya “şişme potansiyeli” olarak adlandırılan hacim artışını, ya da zemin suya doygun hale gelinceye kadar “şişme basıncını” ölçmeye dayanır.

Öte yandan killerin, mineral yapıları ile temel mühendislik özelliklerini ve davranışları arasındaki ilişki çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Kilin türü; zeminin geçirimsizlik, şişme-büzülmeye davranışı, sıkışabilirlik ve kayma direnci gibi önemli özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Ayrıca, alan çalışmalarında, çalışmaya yön vermekte ve alanın geoteknik karakterini daha iyi anlamayı sağlamaktadır.

Şişme olayı bir çok etmene bağlıdır. Tabaka kalınlığı, zemine gelebilecek suların kaynakları, zeminin başlangıç yoğunluğu ve su muhtevası, sürşarj yükü, yeraltı su seviyesi ve aktif bölge derinliği bunlar arasında en önemlidir. Bunların dışında, zemin yüzeyinde geçriimsiz alanların oluşturulması, kırık su borularından dolayı oluşan sızıntılar gibi insan faktörü etkenlerde şişme olayında etkilidirler (1). Ancak, şişmenin oluşabilmesi için, zeminin şişme özelliğine sahip (potansiyel şısebilir) olması gerekmektedir. Bu nedenle, bu tip zeminlerin farkına varılması ve tanımlanmaları oldukça önemlidir.

Şişme özelliği olan zeminlerin, şişme potansiyellerini ölçümede en sık kullanılan iki yöntem bulunmaktadır. Bunlardan ilki, niteliksel yöntemler olup, temel zemin parametreleri ile şişme potansiyeli arasında korelasyon kurulması esasına dayanır. İkincisi, niceliksel yöntemler olup, ödometre kullanılarak zeminin şişme potansiyelini deneysel olarak ölçmeye dayanır.

Bu çalışmada, Diyarbakır bölgesinde yüzeylenen Kayapınar-Yeniköy ve Bağcılar kilinin şişme özelliği araştırılmıştır. Bu kapsamda, söz konusu kili niceliksel yöntemlerle değerlendirmek amacı ile alınan örselenmemiş numuneler üzerinde serbest şişme yüzdesi ve sabit hacimli şişme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ölçülen şişme değerleri, üst yapıya hasar verme derecesi bakımından değerlendirilmiştir.

2. ŞİSME ÖZELLİĞİNİN TANIMLANMASI

“Şişme potansiyeli” laboratuarda belli şartlarda sıkıştırılmış veya tabii (örselenmemiş) bir zemin numunesinin belirli yük altında, sıfır yanal deformasyon durumunda suya doygun hale gelinceye kadar göstermiş olduğu düşey şişme miktarının, numunenin ilk yüksekliğine oranı olup yüzde olarak ifade edilmektedir. Bu değer, sıfır yanal deformasyon şartlarında aynı zamanda hacimsel artış yüzdesidir. Şişme potansiyeli ölçülürken kullanılan ring çapları 50-112mm, yükseklikleri ise 12-37mm arasında değişmektedir. Numuneye uygulanan sürşarj yükleri ise 1 kPa -71,8 kPa arasında değişebilmektedir. Bu farklılıkların sebebi, numune ile ring arasındaki sürtünmenin azaltılması ve numune içine su girişini kolaylaştırmak ise de, sonuçta farklı deneysel süreçlere ve şişme karakteristiklerinin bu farklılıklar göz önüne alınarak tanımlanmasına yol açmıştır. Genellikle, deney başlangıcında numuneye uygulanan basıncın 7 kPa ve daha az olması halinde, elde edilen şişme “serbest şişme (free swell)” olarak alınır. Bundan daha büyük yükler altında elde edilen şişme değerleri; uygulanan gerilmenin yerindeki gerilme civarında olması halinde “sürşarj altında şişme (swell

under overburden)”, bundan farklı gerilmeler altında ise “yüklü şişme (swell under load)” olarak alınır (2).

Killerin şişme davranışında en etkili iki parametre başlangıç su muhtevası ve sürşarj basıncıdır. Kılın başlangıç su muhtevasının yüksek olması oranında şişme potansiyeli azalacaktır. Sürşarj basıncının artması ise şişme potansiyelini azaltıcı yönde etki yapmaktadır (2).

Killerin gerilme tarihçesi de nihai şişme miktarını belirleyen faktörlerden biridir. Daha önce aşırı yüklenmiş ve boşaltılmış numuneler ön yükleme almamışlara oranla daha az şişme gösterirler. Ön yükleme işlemi negatif boşluk basıncının azalmasına ve ve floküller yapının dispers yapıya dönüşmesine yol açmaktadır. Floküller yapılar şişmeye karşı daha hassastırlar (3).

Kuruma-islanma tekrarlarına maruz kalan doğal çökellerin yiğilma ve depolanma süreçlerinde Ca, Mg, Al, ve Fe bileşikleri etkili olurlar. Bu tür çimentolanma süreçleri zeminin kırılganlık özelliğinin artmasına ve bağlanmış kil gruplarının oluşturduğu kümelerin özgül yüzeylerinin azalmasına neden olur. Neticede bozulmamış (örselenmemiş) killi zeminler, silti zeminler gibi davranışmakta ve benzer durumda sıkıştırılmış zeminlere göre daha az şişmektedir. Bu durum şişme yorulması olarak (fatigue of swelling) adlandırılmaktadır (4, 5).

Şişen zeminlerin sahip oldukları, şişme basıcı ve şişme yüzdesi değerlerinin yapılar üzerindeki etkileri farklı araştırmacılar tarafından araştırılmıştır. Wayne ve diğ. tarafından önerilen şişme miktarları ve muhtemel hasar arasındaki ilişki Çizelge 2.1'de verilmiştir (1).

Çizelge 2.1. Hacim değişimi, şişme basıncı ve muhtemel hasar arasındaki ilişki (1)

Hacim Değişimi (%)	Şişme Basıncı (kN/m^2)	Olası Hasar
0-1.5	50	Düşük
1.5-5	50-250	Orta
5-25	250-1000	Yüksek
>25	>1000	Çok yüksek

3. ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI VE JEOLOJİSİ

Çalışma alanı; Diyarbakır ili, yerleşim alanının güneybatısında yer alıp ilin yeni mücavir alanıdır. Kayapınar, Bağcılar ve Yeniköy semtlerini kapsamaktadır. Bu çalışmanın hazırlandığı sıralarda, yapışma süreci yoğun olarak devam etmekteydi.

Çalışma alanı, genel olarak hafif engebeli, ortalama % 2-3 eğime sahip, 715-740m rakımları arasında yer almaktadır. Arap Bloğu üzerinde, Dicle nehrine karşılık gelen yapısal açılım bölgesinde yer almaktadır. Stratigrafik istif yukarıdan aşağıya doğru; residüel kil (Genç kil) 1-9m kalınlığında, bazalt (Pliyo-Kuvaterner) 25-120m, Şelmo formasyonu (Miyo-Pliyosen) 200-225m, Silvan formasyonu (Üst-Miyosen) 200-250m, Germik formasyonu (Alt Miyosen) 150-250m ve Midyat formasyonu (Orta-Eosen) 200-350m'den oluşmaktadır (6).

Çalışma alanı kili, sınırları çalışma alanının dışında da devam eden ve oldukça geniş bir alana yayılmış olan bazaltlar üzerindedir. Bazaltlar, Karacadağ'ın faaliyet ürünleri

olup, kalkan krater şekliyle; Diyarbakır, Urfa, Mardin ve Şırnak illerinde mevcuttur. Bazalt ortamın; yaygın ve yüksek kotlarda yer almışından dolayı bu ortama, rüzgar, yağmur, v.s. etkilerle yabancı malzeme taşınımı güçleşmektedir. Yine, aynı nedenlerle bu ortamdan komşu ortamlara malzeme akışının olduğu gözlemlenmektedir. Bu nedenle, bazaltlar üzerinde yer alan koyu kahverengi-kırmızımsı ve/veya kahve renklerindeki bu kilin, tamamen bazaltın yıpranma ve ayrışma ürünü olması ihtimalini güçlendirmektedir. Ayrıca, mevcut kilin, homojenlik, ayrışma derinliği, mineralojik yapı, bazalt kaynaklı mineralller ile ilişkisi, renk-iklim ilişkisi de dikkate alındığında, rezidüel olduğu anlaşılmaktadır (7).

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Çalışma Alanından Numune Alma ve Hazırlama Çalışmaları

Çalışma alanı kilinin şisme özelliklerini saptamak amacıyla, alanı temsilen 12 farklı lokasyondan, 1,20-4,20m arası değişen derinliklerden örselenmemiş numuneler alınmıştır. Numune yerleri, biribirinden yeterince uzak ve farklı mineralojik özellikler taşıma durumu dikkate alınarak seçilmiştir. Numune alma çalışmalarında, zemin profillinin, yüzeyde oldukça güç kazılabilir, sert ve kırılgan ve derinlik artışı ile birlikte bazalt kayasından kapiler yolla beslenmeye bağlı olarak, kıvamda yumuşama olduğu gözlemlenmiştir. Zeminin katı ve sert olduğu yerlerde, numune alıcıları zemine çakmak için oldukça fazla enerji sarf edilmiştir. Kullanılan numune alıcılar standart olmayıp 25 cm çap ve 25 cm yüksekliğinde imal ettirilmiştir. Geniş çaplı ve kısa numune alıcıların kullanılması ile, numune alıcıya iletilen enerjinin azaldığı ve buna bağlı olarak numune örselenmelerinin azaltıldığı düşünülmektedir.

Laboratuvara getirilen numuneler, hidrolik kriko yardımı ile ödometre ringlerine doğrudan aktarılmışlardır. Böylece, örselenmemiş numuneler doğal su muhtevasında deneye hazır duruma getirilmişlerdir. Ayrıca numune alma ve hazırlama çalışmaları sırasında söz konusu kilin fisürü yapıda olduğu görülmüştür.

4.2. Çalışma Alanı Zeminlerinin İndeks Özellikleri ve Sınıflandırılması

Çalışma alanı rezidüel kilinin, tane bağıl yoğunluğu, tane boyu dağılım, birim hacim ağırlıkları, doğal su muhtevaları ve kıvam limitleri 12 örnek üzerinde belirlenmiştir.

Bütün numunelere ait deney sonuçları, bu kilin yüksek plastisiteli kil (CH) sınıfına girdiğini göstermektedir. Örneklerin kolloid oranları ise %52- %57 aralığında değiştiği için söz konusu kilin “yüksek kolloid içerikli” olduğu söylenebilir. Gerçekleştirilen deneylere ait değişim aralıkları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

4.3. Mineralojik Analizler

Çalışma alanı kilinin, mineralojik özelliklerini saptamak amacıyla, çalışma alanından elde edilen numuneler üzerinde yapılan mineralojik incelemeler, M.T.A Genel müdürlüğü laboratuarlarında X-Ray difraksiyonu yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

Diclekent ve Yeniköy, D.S.İ kuyuları civarından alınan iki adet numune üzerinde gerçekleştirilen işlemler sonucu elde edilen XRD difraktogramlar, yönlendirilmiş XRD difrogogramlar, etilen glikolle muamele edilmiş XRD difrogramları ve 550 C/2H muamele edilmiş difraktogramlar elde edilmiştir.

**DİYARBAKIR İLİ, YENİ MÜCAVİR ALANIN REZİDÜEL KİLİNİN
ŞİŞME POTANSİYELİNİN İRDELENMESİ**

Çizelge 4.1. Zemin indeks parametrelerine ait değişim aralıkları

Zemin Özellikleri	Değişim Aralığı
Doğal Su Muhtevası, %	31-38.5
Likit Limit, %	72-83
Plastik Limit, %	30-34
Plastisite Indisi, %	40-50
# 4 Elekten Geçen, %	99-100
# 200 Elekten Geçen, %	97-99.7
Doğal Birm Hacim Ağırlığı, kN/m ³	18-19
Özgül Ağırlık, G _s	2.50-2.58
Grup Sembolü	CH
Rötre Limiti (lineer), %	17-19
Rötre Limiti (hacimsel), %	9.5-10.5

Birbirinden yeterince uzaklıktan alınmış iki adet numunenin, içerdikleri kil mineralleri açısından birbirine yakın mineral yapıda oldukları, kil olmayan mineraller itibariyle de aynı mineralleri içerdikleri, ancak çokluk sıralaması açısından farklılık gösterdikleri görülmektedir. Her iki numunede de çokluk sıralaması açısından, kil mineralleri hakim minerallerdir. Bu nedenle, çalışma alanının hemen hemen tümünü kaplayan bu kilin mineral yapısının değişkenlik göstermediği düşünülmektedir. Örneklerin içerdikleri mineraller ve bunların çokluk sırasına göre diziliş sırası aşağıda verilmiştir.

Diclekent : Karışık tabakalı kil (Smektit + Klorit), kuvars, kalsit, feldspat.

Havaalanı (D.S.İ.Kuyuları civarı) : Karışık tabakalı kil (Smektit + Klorit), kalsit, kuvars, feldspat.

Yukarıdaki sonuçlara göre, smektit ve kloritten oluşmuş karışık tabakalı kil ile kil minerallerinin bünyede hakim mineral durumunda olmaları, zemine kil davranışının yön verici olması sonucunu doğurmaktadır. Bu nedenle, özellikle smektit gurubu kil minerallerinin, hacim değiştirme kapasitelerinin yüksekliği nedeniyle, şişme potansiyeli ve şişme basıncı gibi mühendislik özellikleri önem kazanmaktadır. Yol ve dolgu yapımında yol açıkları stabilité problemleri, hafif yapılar, yol ve kanal kaplamalarına uyguladıkları şişme basıncı, ayrıca çok düşük geçirgenlik özellikleri nedeniyle baraj gövdelerinde dolgu malzemesi olarak kullanılabilirlikleri ile gündeme gelmektedirler.

4.4. Şişme Deneyleri

Laboratuarda deney yapılmaya hazır duruma getirilen numuneler, ödometre aletine alınarak, her lokasyon için bir adet serbest şişme yüzdesi (FS) ve bir adet sabit hacimli şişme (CVS) deneyleri birlikte yürütülmüştür. Her iki deney 24 saat süre ile sürdürülmüştür. İlk gerçekleştirilen deneylerde, deney süresinin 48 saatte uzatılması ile numunelerin şişme değerlerinde dikkate değer bir artışın gerçekleşmediği görüлerek sonraki deneylerde bundan vazgeçilmiştir. Deneyler 75.2mm çap ve 20mm yükseklikli

ödometre ringleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sabit hacimli şişme deneyinde, deney başlangıcında 400gr'lık başlık, sürüşarj yükü olarak kullanılmıştır. Numunenin şişmesi sonucu oluşan düşey deplasmanları dengelemek için konan ağırlıklar, numunenin 0,03mm deplasman yapmasına müsaade edilerek konulmuştur. Yürütülen deneyler sonucunda elde edilen serbest şişme yüzdeleri ve şişme basıncı değerleri; numunelerin alınma derinlikleri, başlangıç su muhtevası, doğal ve kuru birim hacim ağırlıkları ve suya duyguluk dereceleri ile birlikte Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Çalışma alanı kiline ait şişme deneyleri toplu sonuçları

Numune kodu	Deney başı su muht.	Numune derinliği	Zemin Sınıfı	Doğal b.h.a. (kN/m ³)	Kuru b.h.a (kN/m ³)	Serbest Şişme (%)	Şişme basıncı (kgf/cm ²)
1	35	1.5	CH	18.7	13.50	8.7	1.341
2	35.7	4.2	CH	18.6	14.50	6.5	0.631
3	31.1	4.2	CH	19.1	0.00	7.5	0.77
4	35.4	1.6	CH	18.6	14.60	12.1	0.95
5	31.9	1.5	CH	18.37	14.80	15.5	2.037
6	30.6	1.5	CH	18.6	14.26	15	1.52
7	39.7	1.5	CH	18.2	13.03	10	0.60
8	29.7	1.7	CH	18.7	14.43	12	1.1
9	25.5	1.4	CH	18.0	14.34	19	2.34
10	27.3	1.5	CH	18.1	14.22	13	1.25
11	28.7	1.8	CH	18.2	14.13	14	1.5
12	26.1	1.8	CH	18.5	14.70	12	1.45

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Söz konusu alandan alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen X-Ray Difraksiyon analizleri; numunelerin tümünde, hakim mineral yapının smektit + klorit ten oluşmuş karışık tabakalı kil olduğunu, ikincil olarak da kuvars, kalsit ve feldspat minerallerini içerdigini göstermektedir.

2. Çalışma alanını kaplayan kil; yüksek plastisite, mineralojik yapı, kolloid içeriği gibi bünyesel özellikleri itibarıyle şişme özelliğine sahip bir kildir. Ayrıca sahip olduğu smektit gurubu kil minerallerinin, hacim değiştirmeye kapasitelerinin yüksekliği nedeniyle, şişme potansiyeli ve şişme basıncı gibi mühendislik özellikleri önem kazanmaktadır.

3. Zeminin fistürlü yapısı, geçirgenliğin artmasına, suyun daha geniş bir alanı etkilemesine ve sonuçta aktif bölge derinliğini artırarak şişmenin artmasına neden olabilmektedir.

4. Alanın genel bitki örtüsü yönünden zayıf olması nedeni ile yağışlı dönemlerde suyu alacak bitki örtüsünün olmaması, yağış sularının zemin tarafından absorbe edilmesine ve şişmenin artmasına neden olmaktadır.

5. Deneysel çalışmalar, şişme değerlerinin genel olarak derinlik artışı ile birlikte azaldığını göstermektedir. Örneğin 4.20m derinlikten alınan numunelerin şişme değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir.

6. Doğal su muhtevasına sahip ve örselenmemiş numuneler üzerinde gerçekleştirilen sabit hacimli şişme (CVS) ve serbest şişme (FS) deneyleri ait şişme basıncı ve serbest şişme yüzdeleri ilgili zemin parametreleri ile birlikte Çizelge 4.1 de verilmiştir. Buna göre alınan numunelerin şişme basıncı değerlerinin $0.60\text{--}2.34 \text{ kg/cm}^2$ değerleri arasında kaldığı ve ortalama 1.29 kg/cm^2 değerine sahip olduğu şişme yüzdesinin ise %6.5- %19 değerleri arasında kaldığı ve ortalama %12.10 değerine sahip olduğu görülmüştür.

7. Deneysel çalışmada elde edilen $0.60\text{--}2.34 \text{ kg/cm}^2$ değerleri ile; Wayne, Osman ve Elfatih tarafından verilen ve temel tasarımlarında kullanılmak üzere, hacim değişikliği, şişme basıncı-muhtemel hasar ilişkilerine başvurulduğunda “orta derecede” hasar olası görülmektedir (1). Nitelikim çalışma alanından yapılan gözlemlerde, az katlı yapılar, zemin üstü dösemelerinin ve duvarların hasar aldığı görülmüştür.

8. Elde edilen şişme basıncı ve şişme yüzdesi değerleri dikkate alındığında, başta az katlı hafif yapılar, yol kaplamaları, kanal kaplamaları ve su boruları gibi imalatlara hasar verebileceği beklenmeli, bu alanda yapılacak çalışmalarla şişme bir sorun olarak dikkate alınmalıdır.

9. Çalışma alanında inşa edilecek yapıların zemin etüdü aşamasında kil kalınlığının saptanması, kil kalınlığının az olması durumunda diğer avantajlarından (taşınma gücü, tasman ve bodrum yapmak için yer elde etmek) göz önüne alınarak yapı temellerinin ana kayaya indirilmesi.

10. Çevresel koşullar ile uyumlu ve temel tasarımda faydalı olmak üzere Gromko, Wayne ve diğerleri tarafından verilen bazı öneriler aşağıda sıralanmıştır (8,1).

İnşaatından sonra yapı altı ve çevresinde su muhtevası değişikliği meydana gelmemesi için; yüzey suyu drenajı, yapıyı çevreleyen geçirimsiz tabaka (kaldırırm, kaplama, geçirimsiz membran) yapılması, su kaçakları meydana gelmemesi için tedbir alınması, kökleri ile aşırı su çeken veya sulama nedeniyle zemin nemini artıracak yakın bitkisel örtüntün kontrolü.

Kireç, çimento asfalt ve kimyasal maddelerle zeminin ıslahı.

Münferit sömel yapılacaksa, şisen zemini kaldırarak sömel ve döseme altlarına 1m kalınlıktan az olmamak üzere ve bina çevresine an az 3m kadar taşmak üzere sıkıştırılmış stabilité malzeme koyulması.

Şişme basıncını karşılamak üzere dar mütemadi temeller yapılarak taban basıncının artırılması.

6. KAYNAKLAR

1. Wayne,A.C., Mohammed,A.O. and El-Fatih,M.A., "Construction on Expansive Soils in Sudan", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol 110, Pp.359-374, 1984.
2. Coduto,P.D., "Foundation Design Principles and Practices", *Printice Hall*, New Jersey, 1994.
3. Seed,H.B., Woodward,R.J., Ludgren,R., "Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays" *Asce, Pro., Journal of Soil Mechanics and Foundation Div.*, No. Sm 3, Vol 88 pp 53-87, 1962.
4. Chen,F.H. "Foundations on Expansive Soils", *Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-Newyork*, 1975.
5. Sridharan,A., Sreepado,R.A., Sivapullaiah,P.V., "Swelling Pressure of Clays", *Geotechnical Testing Journal, GTJODJ*, Vol. 9, No.1, pp 24-33 1986.
6. Şimşek,R., Nazik,M., "Yukarı Dicle Havzası Hidrojeolojik Etüd Raporu", *DSİ Jeoteknik Hizmetler Müdürlüğü, Ankara*, 1979.
7. Taşkiran,T., "Diyarbakır İli Kayapınar-Yeniköy-Bağcılar Yöresi Kilinin Şişme Potansiyelinin İrdelenmesi", *Gazi Ünv.Fen Bilimleri. Enst.Yüksek Lisans Tezi, Ankara*, 2000.
8. Gromko,G.J., "Review of Expansive Soils", *ASCE Journal of Geotechnical Engineering*, 100, 667-687, 1974.

BETON DAVRANIŞINDA MİKROMEKANİK MODELLEME**Murat ÖRNEK***Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/ Türkiye***Babür DELİKTAŞ***M.K.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay/ Türkiye***Ferhun Cem CANER***Universitat Politecnica de Catalunya, Barcelona/ İspanya***Mustafa DEMİRCİ***Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/ Türkiye*

ÖZET : Betonun malzeme davranışının itibarıyle son derece karmaşık bir yapıya sahip olduğu bilinmektedir. Betondan imal edilen yapıların başarılı bir şekilde tasarlanması beton davranışının daha iyi modellenmesine doğrudan bağlıdır. Kullanılan malzeme modelinin gerçek davranışını temsil etmesi, özellikle yapı elemanlarının göçme yükleri hesaplanırken oldukça önemlidir. Bu amaçla geliştirilen birçok model malzeme mikromekanikine dayanmaktadır. Bu çalışmada, betonun mekanik davranışının, mikromekanik yaklaşımıyla sayısal olarak modellenmiş ve sunulan modelin geçerliliği literatürde mevcut bir takım deneyel verilerle karşılaştırılarak araştırılmıştır.

MICROMECHANICAL MODELLING IN CONCRETE BEHAVIOR

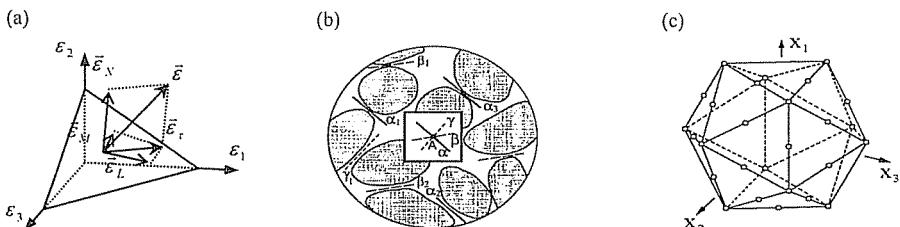
ABSTRACT : It is known that constitutive behaviour of concrete has a complex structure. Project performance of concrete structures depends directly on the modelling of their behaviour. Especially when the collapse loads of structural members are of interest, representing of actual behaviour by material models is quite important. For these purposes, many of developed constitutive models are based on material micromechanics. In this study, mechanical behaviour of concrete was modelled numerically by means of a micromechanical approach and the validity of presented model was investigated by using suitable experimental data in literature.

1. GİRİŞ

Betonun karmaşık mekanik davranışını, betona etkiyen gerilmelere bağlı olarak değişimtedir ve bu tür malzemelerin modellenmesi oldukça zordur. Bu tür özelliklerden dolayı, bugüne kadar betonun doğrusallık ötesinde mekanik davranışını yeteri kadar iyi bir şekilde temsil edebilen bir model geliştirilememiştir. Günümüzde ise mikromekanik temellere dayalı bilgisayar algoritmaları ile betonun bu karmaşık davranışını kısmen de olsa basitçe izah edilebilmekte ve sonuçta başarılı modeller kurulabilmektedir. Betonun mekanik davranışını modelleyebilen, aynı zamanda klasik sonlu elemanlar analizlerine kolayca uyarlanabilen ve kavramsal olarak da basit temellere dayanan model, "mikrodüzlem modeli" olarak isimlendirilmektedir. Beton için geliştirilen bu modelde, normal, hacimsel, şekilsel ve kayma gerilmeleri ile bu gerilmelere karşılık gelen deformasyonlar arasındaki ilişkiler, çeşitli doğrultulardaki düzlemler üzerinde tanımlanmaktadır. "Mikrodüzlem" adını alan bu düzlemler, malzemenin herhangi bir noktasında malzeme izotropluğunu bozmayacak şekilde uygun doğrultularda yerleştirilmişlerdir (1) (Şekil 1b).

Mikrodüzlem kavramı, ilk olarak Taylor tarafından polikristal metallerdeki plastik davranışının modellenmesinde ortaya atılmıştır (2). Taylor'un bu fikri daha sonra Batdorf ve Budianski tarafından 'plastik kayma teorisi' olarak açıklanmıştır (3). Yapılan çalışmalar neticesinde mikrodüzlem model serileri geliştirilmiş ve M1'den M6'ya kadar isimlendirilmiştir (4-8).

Bu çalışmada, Northwestern Üniversitesi'nde (ABD) beton için geliştirilen mikrodüzlem modeller serisinden altıncısını temsil eden (M6) mikrodüzlem modeli betonda gözlenen hacimsel-kaymasal çaprazlama etkilerini de içerecek şekilde geliştirilmiş ve beton mekanik davranışı sayısal olarak modellenmiştir. Yeni geliştirilen bu model M6I şeklinde isimlendirilmiştir. M6I modeli, gözenekli izotrop kayalar için geliştirilen M4R mikrodüzlem-tipi malzeme modeli formülasyonlarının M6 modeline uyarlanması ile elde edilmiştir (9). Bu çalışmada sunulan yeni modelin geçerliliği ve model parametrelerinin kalibrasyonu literatürde mevcut bir takım deneysel verilerle karşılaştırılarak araştırılmıştır.



Şekil 1. (a) Mikrodüzlem deformasyonları; (b) Malzeme yapısında mikrodüzlemler; (c) 21-noktalı Gauss integrasyonu için bir küre üzerinde mikrodüzlemlerin optimum dağılımı

2. MİKRODÜZLEM MODELİNDE TEMEL KAVRAMLAR

2.1. Model Formülasyonu

Gerilme ve deformasyon tensörleri σ ve ε 'nin bileşenleri bu tensörlerin değişmezlerinden oluşan eşitlikler, klasik malzeme modellerinin temellerini oluşturmaktadır. Bu çalışmada sunulan mikrodüzlem malzeme modeli ise, birim normal vektörü (n_i) olarak tanımlanmış bir düzleme etki eden gerilme ve deformasyon vektörleri arasındaki ilişkiyle ifade edilir. Mikrodüzlem üzerindeki normal deformasyon $\varepsilon_N = n_i \varepsilon_{Ni}$ şeklinde hesaplanır. Şekil 1a'dan,

$$\varepsilon_N = N_{ij} \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

olduğu tespit edilebilir. Burada $N_{ij} = n_i n_j$, $i, j = 1, 2, 3$ olmaktadır.

Mikrodüzlemdeki kesme deformasyonları M ve L yönlerinde, mikrodüzlem içinde birbirine dik bulunan ve bileşenleri m_i , l_i olan \vec{m} ve \vec{l} birim vektörleri tarafından tanımlanır. \vec{m} ve \vec{l} vektörlerinden biri seçilir, diğerı seçilen vektörün \vec{n} ile vektörel çarpımından elde edilir. \vec{m} ve \vec{l} yönlerindeki kesme deformasyon bileşenleri $\varepsilon_M = m_i (\varepsilon_{ij} n_j)$ ve $\varepsilon_L = l_i (\varepsilon_{ij} n_j)$ ifadelerinden hesaplanır ve tensör simetrisi düşüntürlerek bu bileşenler için;

$$\varepsilon_M = M_{ij} \varepsilon_{ij} \quad \varepsilon_L = L_{ij} \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

elde edilir. Burada $M_{ij} = (m_i n_j + m_j n_i)/2$ ve $L_{ij} = (l_i n_j + l_j n_i)/2$ olarak ifade edilir (3).

Mikrodüzlem ve sürekli ortam seviyesindeki deformasyonları birbirine bağlayan kinematik sınırlamaların dolayı gerilmelerin statik eşitlikleri yaklaşık olarak sağlanabilemektedir. Statik denge, virtüel iş prensibinin birim yarıküre yüzeyi (Ω) üzerinde uygulanmasıyla aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir (10):

$$\frac{2\pi}{3} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} = \int_{\Omega} (\sigma_N \delta \varepsilon_N + \sigma_L \delta \varepsilon_L + \sigma_M \delta \varepsilon_M) d\Omega \quad (3)$$

Eşitlik (3), birim küredeki sürekli ortam gerilmelerince yapılan işin, küre yüzeyindeki gerilme vektörü olarak ele alınan mikrodüzlem gerilme bileşenlerinin yaptığı işe eşit olması anlamına gelmektedir. Söz konusu integralin fiziksel anlamı, malzeme üzerinde çeşitli yönlerdeki düzlemlerden gelen farklı katkıların homojenleştirilmesidir (10). $\delta \varepsilon_N$, $\delta \varepsilon_L$, $\delta \varepsilon_M$ ifadeleri yerine sırasıyla $N_{ij} \delta \varepsilon_{ij}$, $L_{ij} \delta \varepsilon_{ij}$ ve $M_{ij} \delta \varepsilon_{ij}$ yazılır ve elde edilecek eşitliğin herhangi bir $\delta \varepsilon_{ij}$ için geçerli olduğu kabul edilirse;

$$\sigma_{ij} = \frac{3}{2\pi} \int_{\Omega} s_{ij} d\Omega \approx 6 \sum_{\mu=1}^{N_m} w_{\mu} s_{ij}^{(\mu)}; \quad s_{ij} = \sigma_N N_{ij} + \sigma_L L_{ij} + \sigma_M M_{ij} \quad (4)$$

elde edilir (1). Yukarıdaki yaklaşık eşitlikte integralin değeri, $\sum_{\mu} w_{\mu} = 1/2$ olacak şekilde optimum Gauss integrasyonu (Şekil 1c) kullanılarak sayısal olarak elde edilebilir. Günümüzde kullanılan en etkili integrasyon, minimum sayıda mikrodüzlem kullanıldığında kabul edilebilecek bir doğruluk sağlayan ve 21 mikrodüzlemli integrasyondur (5,6,11).

Mikrodüzlem seviyede beton için en genel malzeme davranış eşitlikleri aşağıdaki gibi yazılabılır (12).

$$\begin{aligned}\sigma_N(t) &= F'_{\tau=0} [\varepsilon_N(\tau), \varepsilon_M(\tau), \varepsilon_L(\tau)] \\ \sigma_L(t) &= G'_{\tau=0} [\varepsilon_N(\tau), \varepsilon_M(\tau), \varepsilon_L(\tau)] \\ \sigma_M(t) &= H'_{\tau=0} [\varepsilon_N(\tau), \varepsilon_M(\tau), \varepsilon_L(\tau)]\end{aligned}\quad (5)$$

burada F, G ve H, t anında mikrodüzlem deformasyonlarının fonksiyonelleridir ve x indisi N, D ve V değerlerini alır.

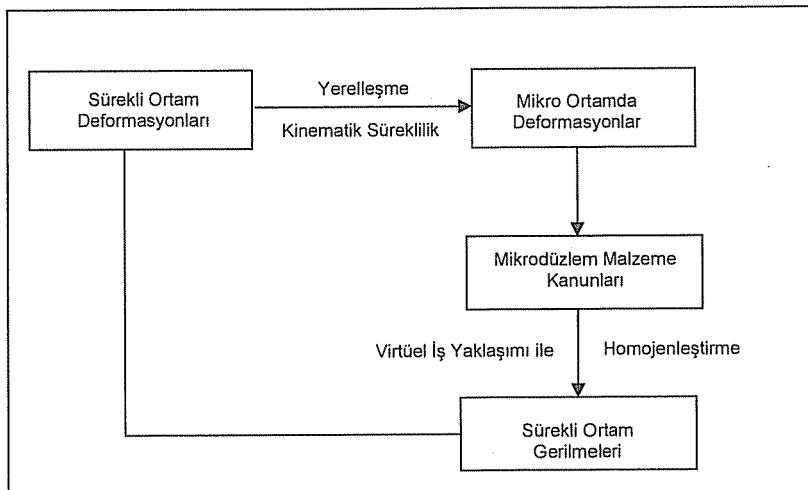
2.2. Modelin Çalışma Prensipleri ve Sınır Şartlarının Tanımlanması

Sürekli ortam seviyesinde ele alınan deformasyonlar, kinematik süreklilik yaklaşımı ile yerleşme (lokalizasyon) yapılarak mikro seviyede tanımlanır. Kinematik bağlanma, sürekli ortam seviyesindeki deformasyon tensörlerinin mikrodüzlemdeki izdüşümü; statik bağlanma, sürekli ortam seviyesindeki gerilme tensörlerinin mikrodüzlemdeki izdüşümü olarak değerlendirilir. Mikrodüzlem seviyede tanımlanan deformasyonlar, mikrodüzlem malzeme kanunları kullanılarak virtüel iş yaklaşımı ile homojenleştirilir. Ardından makro gerilmelere ulaşılır. Sonuçta da makro ortamda gerilme ve deformasyonlar elde edilir (13) (Şekil 2). Olay malzeme boyutunda ele alındığında ise sürekli ortam seviyesinde ele alınan herhangi bir nokta temsili hacim eleman olarak kabul edilir. Hacim elemanın içinde, malzeme izotroplüğünü bozmayacak şekilde uygun doğrultularda mikrodüzlemler düşünülür. Mikrodüzlemler, normal, şekilsel, hacimsel ve kayma gerilmeleri ile bu gerilmelere karşılık gelen deformasyonlar arasındaki ilişkilerin tanımlandığı çeşitli doğrultulardaki düzlemlерdir. Temsili hacim elemanda mikrodüzlem sayısı 21, 28, 37 ve 61 olarak değişmektedir. Bu değerler birim küre üzerinde en optimum şekilde dağılabilen mikrodüzlem sayılarıdır.

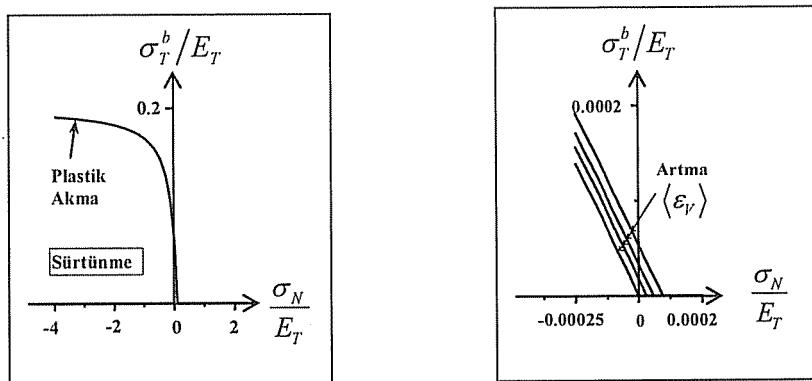
Modelde kullanılan FORTRAN diliyle yazılan programda, poisson oranı, mikrodüzlem sayısı, elastik modül, betonun yaşı, yükleme süresi, basınç mukavemeti, agregat-cimento oranı, cimento yoğunluğu (kg/m^3), su-cimento oranı, yükleme yolu, yükleme miktarı, yükleme artımları gibi girdilerin yanı sıra, mikrodüzlem mekanizmalarını kontrol eden parametreler bulunmaktadır. Bunlar, her beton için ayrı alınabilecek, farklı betonlar arasındaki farkları yansıtıcı ve k_1 , k_2 , k_3 , k_4 olarak adlandırılan serbest parametreler ile; c_1 'den c_{25} 'e kadar uzanan ve tüm beton tipleri için aynı alınabilecek, ölçülmesi zor, sabit parametrelerdir. Bu parametrelerden her biri betondaki farklı davranışları temsil ettiğinden, herhangi parametrenin değişmesi, diğer davranışları etkilemeyecektir. Belirtilen tüm parametreler boyutsuzdur (14,15).

Mikrodüzlem yaklaşımı belli kanunlara dayanmaktadır. Mikrodüzlem yaklaşımında betonun elastik olmayan davranışları gerilme ve deformasyon sınırları ile karakterize edilmektedir. Bu sınırlar; yatay sınırlar (yani plastik limitler), normal gerilme sınırı, kayma gerilmesi sınırları, sürtünmesel akma yüzeyi ve hacimsel sınırlardır. Bu sınırları her biri, betonda görülen fiziksel mekanizmaları temsil etmektedirler.

Yatay sınırlar yani plastik limitler, sınırlanılmamış basınç ve çekmedeki gerilme tepe noktalarının yuvarlaklığını ve tekrarlamalı yüklemelerde çevrimsel döngülerini kontrol ederken mikrodüzlem akma limitlerini tanımlarlar (10). Yatay sınırlar aynı zamanda betondaki süneklik derecesini ayarlar (Şekil 3).



Şekil 2. Mikrodüzlem Modelinin Çalışma Prensibi

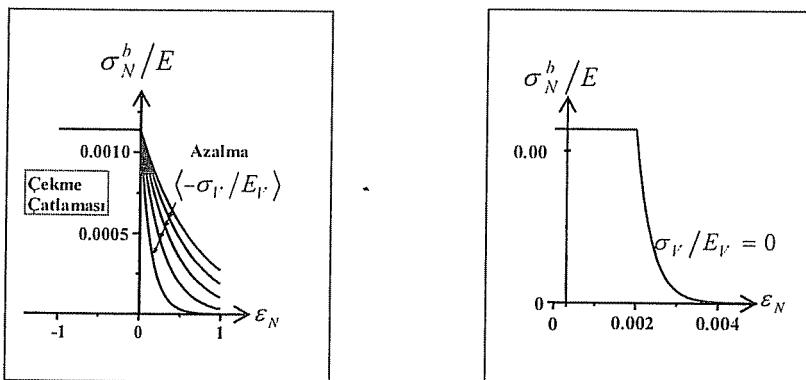


Şekil 3. Mikrodüzlem modelinde plastik limitler (sağdaki büyütülmüş görünümüdür)

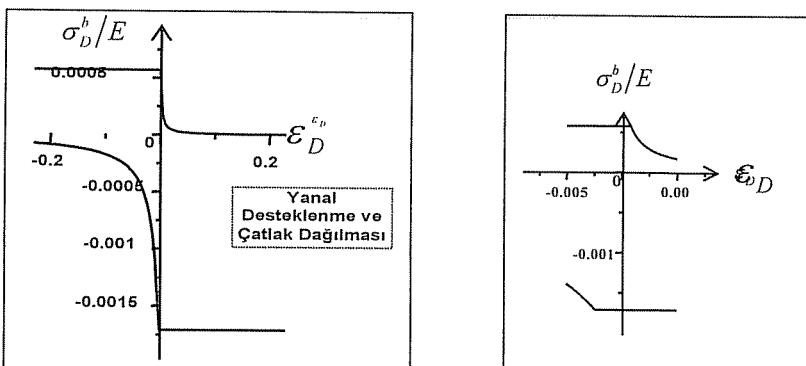
Normal gerilme sınırı, mikrodüzleme paralel olan çekme çatlamalarını tanımlar. Şekil 4'te gösterilen gerilme sınırının aşılması durumunda çekme çatlamaları meydana gelir. Mikrodüzlemdeki davranış sınırlardan birine ulaşılana kadar elastiktir. Herhangi bir sınır aşıldığında gerinim sabit tutularak gerilme sınıra geri düşürülür.

Kayma gerilmesi sınırları, eksenel ezilmeyi, eksenel olarak dağılmış çatlıkların yanal çatlık açıklıklarını ve hacimsel genleşmeyi kontrol eder (1). Şekil 5'te gösterilen aralıklarda kalınması durumunda olabileceği muhtemel çatlıklar yanal desteklenmeye önlendirmekte ve çatlık dağılması olmamaktadır.

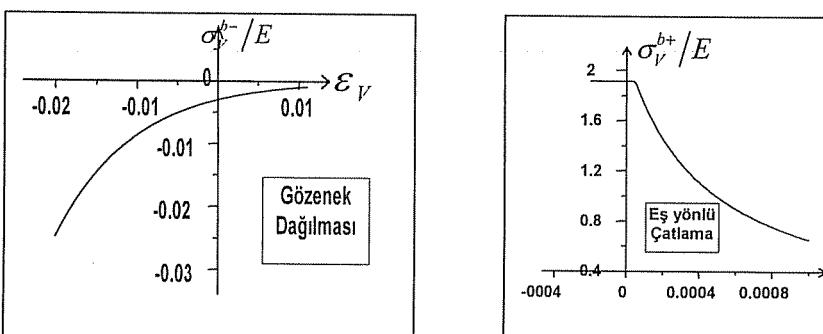
Hacimsel sınırlar, hacim genleşmesi ve daralması ile ortaya çıkan izotropik çatlamaları ve gözenek göçmesini tanımlar. Şekil 6'da gösterilen sınırların aşılması halinde eş yönlü çatlamalar ve gözenek dağılması meydana gelir. Aşılmaması halinde beton, elastik davranışını sürdürür.



Şekil 4. Mikrodüzlem modelinde normal gerilme sınırları
(sağdaki büyütülmüş görünümdür)



Şekil 5. Mikrodüzlem modelinde kayma gerilmesi sınırları
(sağdaki büyütülmüş görünümdür)



Şekil 6. Mikrodüzlem modelinde hacimsel sınırlar

M6I mikrodüzlem modelini diğer mikrodüzlem modeli serilerinden farklı kılan faktör, kayma ve hacimsel sınırların tanımlanma biçimidir. Burada M6I modelindeki kayma sınırı, bir önceki model olan M6'ya M4R modelinden (9) gelen katkılarının dâhil edilmesiyle tanımlanmıştır. M4R modelinden gelen katkı, büyük kesme deformasyonlarında mukavemetin geri kazanım faktörüne bağlı bir fonksiyondur. Bu fonksiyonda tanımlanan, minimum hacimsel gerilmeye bağlı ϕ (phi) fonksiyonu ise, dağılmaya bağlı olarak mukavemet azalması faktöridür.

$$\sigma_s^b = \sigma_s^{M6} f_r \left(|\varepsilon_r|^{\max} \right) \quad (6)$$

$$\sigma_s^{M6} = \frac{E_r k_1 k_2 c_{10} \langle \sigma_N^0 - \sigma_N \rangle}{E_r k_1 k_2 + c_{10} \langle \sigma_N^0 - \sigma_N \rangle} \quad \sigma_N^0 = E_r k_1 c_{11} / \left(1 + c_{12} \frac{\langle \varepsilon_V \rangle}{k_1} \right) \quad (7)$$

$$f_r \left(|\varepsilon_r|^{\max} \right) = (1 - \varphi) \left[1 - \exp(-c_{25} |\varepsilon_r|^{\max} / k_1) \right] + \varphi \quad (8)$$

$$\varphi(\sigma_V^{\min}) = c_{22} + \frac{1 - c_{22}}{1 + \exp \left[c_{23} (c_{18} - \frac{3\sigma_V^{\min}}{E_V k_1}) \right]} \quad (9)$$

M6I mikrodüzlem modelindeki diğer bir değişiklik ise hacimsel sınırlarda olmuştur. Burada yine M4R modelinden gelen katkılar söz konusudur. Basınç hacimsel sınırlarda, M6 mikrodüzlem modelindeki sınırlara ilave olarak, tüm mikrodüzlemlerdeki kesme deformasyonları ortalaması (J_2^e)'nın karekökü olarak tanımlanmış \bar{e} etkili şekilsel deformasyona bağlı f_d fonksiyonu ile hacimsel gerinme bağlı olarak değişen f_i fonksiyonu dâhil edilmiştir.

$$\sigma_V^{b-} = \sigma_V^{b-M6} f_i(\varepsilon_V) f_d(\bar{e}) \quad (10)$$

$$\sigma_V^{b-M6} = E_V k_1 k_3 \exp(-3\varepsilon_V / k_1 k_4) \quad (11)$$

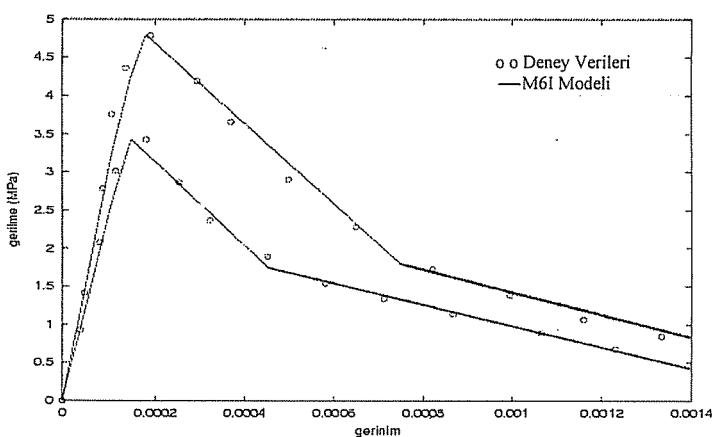
$$f_i(\varepsilon_V) = 1 / [1 + \exp \{c_{15} (3\varepsilon_V / k_1 + c_{18})\}] \quad (12)$$

$$f_d(\bar{e}) = f_i \exp(-c_{24} \bar{e} / \varepsilon_V) + (1 - f_i) \quad (13)$$

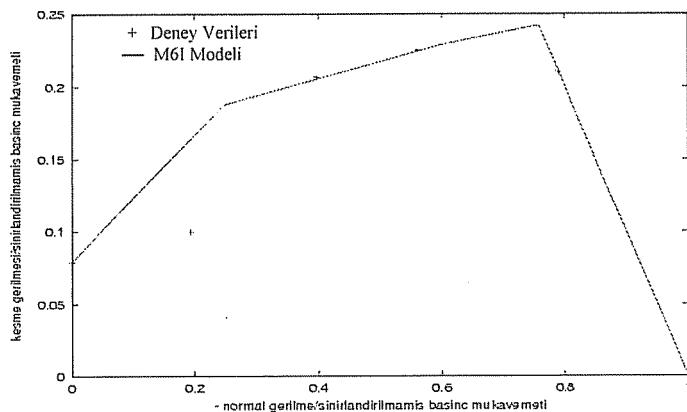
$$\bar{e} = \sqrt{J_2^\varepsilon} \quad (14)$$

3. DENEY VERİLERİ İLE MODEL SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

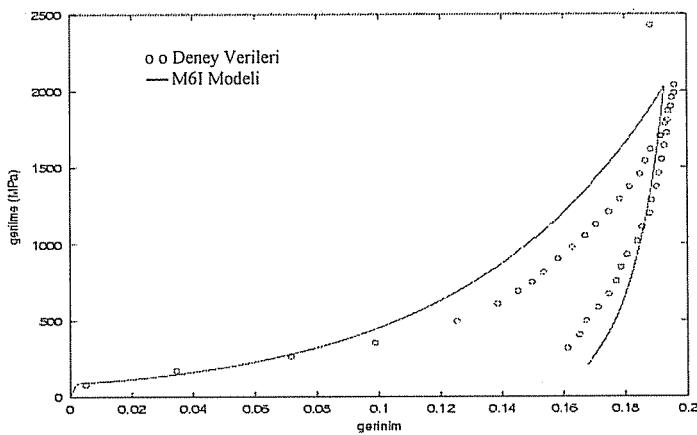
Bu bölümde M6I mikrodüzlem modelinin güvenirliliğini ve doğruluğunu göstermek için bu model tarafından üretilen sonuçlar, betonun davranışını karakterize eden çeşitli deney verileri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 7, Petersson tarafından yapılan "tek eksenli çekme" deney sonuçlarının M6I mikrodüzlem modeli ile modellenmesini göstermektedir (16). Sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Analiz sırasında aynı parametre grubu şekildeki her veri grubu için kullanılmıştır. Tek eksenli basınç durumunda ise, tepe sonrası eğimi, herhangi benzer test verisi uyarlanarak kolayca modellenebilir. Şekil 8'de, Bresler ve Pister tarafından sunulan "kesme basıncı ile oluşan kırılma zarfı"nın M6I mikrodüzlem modeli ile modellenmesi gösterilmektedir (17). Sonuç olarak yeni geliştirilen M6I mikrodüzlem modelinin iyi bir modelleme gerçekleştirdiği söylenebilir. Bazant tarafından yapılan "sınırlandırılmış basınç" deney sonuçlarının M6I mikrodüzlem modeli ile modellenmesi Şekil 9'da görülmektedir (6). Özellikle yük boşalma bölgesinde test verileri ile model arasındaki uyumun oldukça iyi olduğu ifade edilebilir. Şekil 10, Water Experiment Station -WES (1994)' te elde edilen hidrostatik basınç test sonuçlarının M6I mikrodüzlem modeli ile modellenmesi gösterilmektedir. Sonuçlar, genel eğilimin birbiri ile uyumlu olduğunu göstermektedir. Bu veriler WES'te yapılan diğer beton davranış deneylerinde bulunan optimum parametreler (k ve c katsayılı) kullanılarak elde edildiği için şekilde görülen kısmi uyumsuzlukların normal olabileceği düşünülmüştür. Kullanılan parametrik ifadeler modelin genellliğini korumak için değiştirilmemiştir.



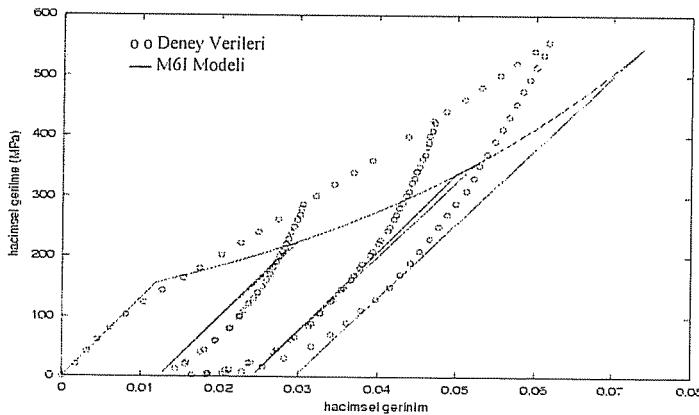
Şekil 7. Tek eksenli çekme deneyi (16) ve M6I modelllemesi



Şekil 8. Kesme basıncı ile oluşan kırılma zarfı (17) ve M6I modellemesi



Şekil 9. Sınırlandırılmış basınç deneyi (6) ve M6I modellemesi



Şekil 10. Hidrostatik basınç deneyi (Water Experiment Station-WES, 1994) ve M6I modellemesi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada beton mekanik davranışının mikromekanik yaklaşımıla sayısal olarak modellenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- M6 mikrodüzlem modeli, betonda görülen hacimsel-kaymasal çaprazlama etkilerini de içerecek şekilde geliştirilip M6I olarak adlandırılmıştır.
- Mikrodüzlem modeli kavramsal olarak basit bir modeldir.
- Mikrodüzlem modeli, kayalar ve betonların anizotropik mekanik davranışını kolaylıkla uylanabilecek niteliktir.
- Mikrodüzlem modeli, fizikal mekanizmalar kullanılarak malzeme davranışının belirlendiği bir modeldir.
- Mikrodüzlem modeli, yüzlerce farklı yükleme geçmişi yaratabilecek potansiyele sahiptir.
- Mikrodüzlem modeli, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hesaplamalı mekanik uygulamaları için son derece kolay entegre edilebilen, ancak yüksek hesap gücü gerektiren bir modeldir

5. KAYNAKLAR

1. Bazant,Z.P., "Microplane Model for Strain controlled inelastic behaviour", Chapter 3 in Mechanics of Engineering Materials (Proc., Conf. held at U. of Arizona, Tucson, Jan. 1984), C.S. Desai ve R.H.Gallagher, eds. , J.Wiley, London, 45-59, 1984.
2. Taylor,G.I., "Plastic strain in metals", Journal of Inst. Metals, 62, 307-324, 1938.
3. Batdorf,S.B. ve Budianski,B. "A math. theory of plasticity based on the concept of slip", Tech. Note No: 1871, Nat. Advis. Comm. for Aeronautics, Washington D.C., 1949.
4. Bazant,Z.P., Prat,P.C., "Microplane Model for brittle plastic material: I.Theory", Journal of Engineering Mechanics, ASCE 114, 1672-1688, 1988a.

5. Bazant,Z.P. ve Oh,B.H., "Microplane Model for progressive fracture of concrete and rock", *Journal of Engineering Mechanics, ASCE* 111, 559-582, 1985.
6. Bazant,Z.P. ve Oh,B.H., "Efficient Numerical Integration on the surface of a sphere", *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik (ZAMM, Berlin)*, 66, (1), 37-49, 1986.
7. Bazant,Z.P. ve Planas,J., "Fracture and Size Effect in Concrete and Other Quasibrittle Materials" CRC Press, Boca Raton, Florida, (ISBN: 084938284X), 1997.
8. Carol,I., Jirasek,M. ve Bazant,Z.P., "New thermodynamic approach to microplane model. Part I: Free Energy and consistent microplane stresses", *Report, Northwestern University*; 1999.
9. Bazant,Z.P. ve Zi,G., "Microplane Constitutive Model for Porous Isotropic Rocks", *Int. J. for Num. and Analytical Meth. in Geomechanics*, 2002.
10. Bazant,Z.P., Xiang,Y. ve Prat,P.C., "Microplane Model for Concrete. I. Stress-Strain boundaries and finite strain", *Journal of Engg. Mech., ASCE* 122(3), 245-254, 1996a.
11. Stroud,A.H., "Approximate Calculation of Multiple Integrals", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1971 (ASIN: 0130438936).
12. Bazant,Z.P., Caner,F.C., Adley,M.D., Akers,S.A., "Microplane model M4 for concrete I: Formulation with work-conjugate deviatoric stress" *J. of Eng. Mechanics, ASCE*, 126(9): 944-953, 2000.
13. Örnek,M., Caner,F.C. ve Deliktaş,B., "Modelling Studies to Simulate Mechanical Behavior Of Concrete", 3rd FAE, International Symposium, TRNC, 2004.
14. Caner,F.C. ve Bazant,Z.P., "Microplane model M4 for concrete, II. Algorithm and Calibration", *ASCE Journal of Engineering Mechanics*, Vol.126, No.9, pp. 954-961, 2000.
15. Örnek,M., "Beton Mekanik Davranışının Mikromekanik Yaklaşımıla Sayısal Olarak Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya, Hatay, 2004.
16. Petersson,P.E. "Crack growth and development of fracture zones in plain concrete and similar materials", Report No. TVBM 1006, Lund Inst. of Technology, Lund, Sweden, 1981.
17. Bresler,B. ve Pister,K.S. "Strength of concrete under combined stresses", *J. Am. Concr. Inst.*, 551(9), 321-345, 1958.



AKARSULARDA KATI MADDE MİKTARININ YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK TAHMİNİ

Murat ÇOBANER ve Burhan ÜNAL

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

Özgür KİŞİ

E.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri/Türkiye

Serap ÜNAL

E.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri/Türkiye

ÖZET : Akarsuların taşımış olduğu askı maddesi miktarı, akarsuyun taban eğimine, topografyasına, akarsuyun debisine, zamana ve bölgenin iklim şartlarına bağlı olarak değişir. Taşınan katı madde miktarının doğru tahmini, hidrolik mühendisliği ve su kaynakları projelerinin tasarımları ve yönetiminde önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada katı madde miktarının tahmini için Yapay Sinir Ağları (YSA)'na dayalı modeller geliştirilmiştir. Çalışmada Amerika'da USGS (US Geological Survey) tarafından işletilen Rio Valenciano istasyonuna ait günlük akış ve katı madde verileri kullanılmıştır. Bugünkü akış verileri ile önceki günlere ait akış ve katı madde verilerinden oluşan farklı girdi kombinasyonları denenerek bugünkü katı madde miktarını en iyi tahmin eden YSA modeli elde edilmiş ve test sonuçları, katı madde anahtar eğrileri ve çoklu doğrusal regresyonla (ÇDR) karşılaştırılmıştır.

MODELING RIVER SUSPENDED SEDIMENT YIELD USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

ABSTRACT : *Transportation of suspended sediment in the river changes according to the base slope, topography and flow discharge of the river, time and regional climate conditions. Estimation of suspended sediment yield accurately has a big importance in hydraulic engineering and design of water resources projects and management. In this study, various models developed based on artificial neural networks (ANN) to predict sediment concentration in the river. Daily flow and suspended sediment concentration data of the Rio Valenciano Station operated by the United States Geological Survey (USGS) were used as case study. Different input combinations tested to predict daily suspended sediment concentration dependent on daily flows and former daily flows and suspended sediment concentrations. The best ANN model is obtained with the help of this input combination. Than the test results of the ANN models were compared with the multi linear regression and sediment rating curve.*

1. GİRİŞ

Hidrolik mühendisliği ve su kaynakları projelerinin tasarımu ve yönetiminde askı maddesinin doğru tahmin edilmesi önemli bir yere sahiptir. Özellikle baraj hazneleri gibi su depolama tesislerinde biriken katı maddeler hazne kapasitesini azaltır ve zamanla su alma ağzının tıkanmasına sebep olur. Hazne kapasitesinin azalması tesislerin ekonomik ömrünü kısaltır. Su alma yapısının tıkanması ise haznenin fonksiyon görmez duruma gelmesi demektir. Bu zararları geciktirmek için baraj haznesinde ölü hacim denilen pasif bir hacim bırakılır ve su alma yapısı bu hacim üstünde kalacak şekilde yapılır. Bir barajın hizmet süresi bu hacmin büyüklüğüne bağlıdır. Ölü hacim gerekli olandan küçük ya da büyük olarak tayin edilirse baraj ekonomisi çok önemli şekilde etkilenir. Ayrıca hazneye gelen katı maddeler sadece ölü hacimde değil, haznenin başka kısımlarında da birikeceği için barajın aktif depolama kapasitesinin gittikçe azalmasına ve belirli bir süre sonra verimin, beklenen seviyesinin çok altına düşmesine neden olur. Bu sebeplerle, barajların ekonomik olarak projelendirilmesinde katı madde tür ve miktarının doğru olarak tahmin edilmesi zorunludur. Ayrıca su alma yapılarının tip ve yerlerinin seçiminde, su kuvveti tesislerinde, taşımacılık ve taşkın kontrolü için akarsu düzenlemelerinde ortaya çıkabilecek aşınma ve yıgılmalara belirlenmesi katı madde tahminlerini zorunlu kılmaktadır.

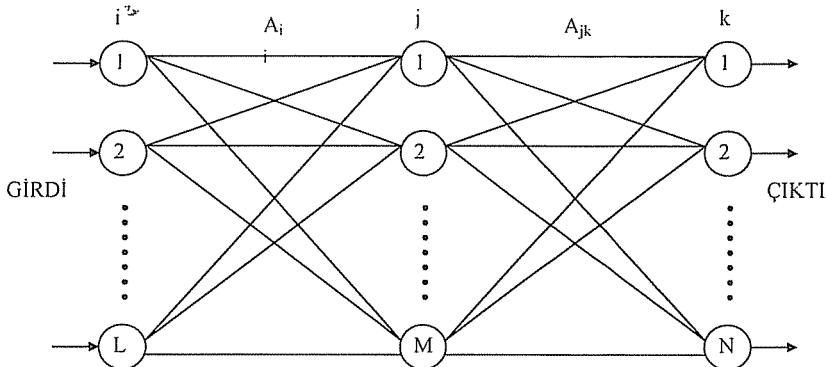
Her yıl tonlarca toprağın erozyon sonucu kaybolması bir başka deyişle akarsu depolama tesislerinde birikmesi veya denizlere taşınması, arazinin düzleşmesine, tarımsal alanların çoraklaşmasına ve toprağın veriminin azalmasına yol açar ki, bunlar da canlı hayatını tehdit eden hayatı problemlerdir. Bu nedenle, bir havzadan veya belirli tarımsal alanlardan oluşması muhtemel toprak kayıplarının bilinmesi o havza veya bölgelerde alınacak önlemler için zorunludur. Havza ile ilgili erozyon kontrolü çalışmalarının planlanma ve işletilmesinde ise katı madde miktarının zaman göre dağılımını bilmek gereklidir [1].

Su yapılarının projelendirilmesi ve işletilmesinde askı maddesi konsantrasyonunun gerçek zamandaki değişimine ihtiyaç vardır. Akarsuların taşıdığı katı madde miktarının gerçek zamandaki tahmini yolunda yapılacak gelişmeler bu problemlerin çözümüne katkı sağlayacaktır. Bu amaç doğrultusunda çalışmada, askı maddesi konsantrasyonunu tahmin etmek için kullanılan modellerin etkinliğini incelenmiştir.

2. YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay sinir ağları, farklı ağırlıklarla birbirine bağlı birçok işlem elemanlarından oluşan yoğun paralel sistemlerdir. YSA metodları içerisinde en çok kullanılanı hataların geriye yayılma (back-propagation) ilkesine göre çalışandır [2].

Şekil 1, üç tabakalı bir yapay sinir ağını göstermektedir. Burada i girdi tabakası, j gizli tabaka ve k çıktı tabakası, A_{ij} ve A_{jk} ise hücre tabakaları arasındaki bağlantı ağırlıklarıdır. Başlangıçta rastgele atanan ağırlık değerleri, eğitme sürecinde tahmin edilen çıktılarla gerçek çıktı değerleri karşılaştırılarak devamlı değiştirilir ve hataları minimum yapan bağlantı ağırlık değerleri ayarlanıncaya kadar hatalar geriye doğru (Şekil 1'de sağdan sola) yayılır. Burada ağırlıkları ayarlamak için Levenberg-Marquardt metodu kullanılmıştır [3].



Şekil 1. Üç tabakalı bir yapay sinir ağısı.

j ve k tabakalarındaki her bir hücre, önceki tabakadan NET ağırlıklı toplam çıktılarını girdi olarak alır. NET değeri (1) eşitliği ile hesaplanır.

$$NET_{pj} = \sum_{i=1}^L A_{ij} C_{pi} + \theta_j \quad (1)$$

Burada L girdi vektörünün boyutu, θ_j taraflılık sabiti (bias), A_{ij} i ve j tabakaları arasındaki ağırlıklar kümesi, C_{pi} p örneği için i tabakasının çıktı kümesidir. j ve k tabakalarındaki herbir hücre, NET değerini doğrusal olmayan bir tasvir fonksiyonundan geçirerek $f(NET)$ çıktısını üretir. Yaygın şekilde kullanılan bu tasvir fonksiyonu,

$$f(NET) = \frac{1}{1 + e^{-NET}} \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Eğitme aşamasında, p örneği için toplam hata H_p , tahmin edilen ve gerçek çıktılar arasında kareler farkına bağlı olarak (3) eşitliğiyle hesaplanır.

$$H_p = \sum_{k=1}^N (G_{pk} - C_{pk})^2 \quad (3)$$

Burada N iterasyon sayısı olmak üzere G_{pk} ve C_{pk} sırası ile p örneği için gerçek ve tahmin edilen çıktı değerleridir. Eğitme işleminin asıl amacı toplam hatayı, H , minimum yapan bir ağırlıklar kümesi üretmektir.

$$H = \sum_{p=1}^P H_p \quad (4)$$

Her bir bağlantı ağırlığı, A_{ij} , (5) eşitliği ile yenilenir.

$$A_{ij}^{yeni} = A_{ij}^{eski} - \eta \frac{\partial H_p}{\partial A_{ij}} \quad (5)$$

Burada η öğrenme oranı olarak adlandırılan orantılılık katsayısını, $\partial H_p / \partial A_{ij}$ ise hata yüzeyinin eğimini göstermektedir [4].

3. KATI MADDE ANAHTAR EĞRİSİ

Kati madde anahtar eğrisi, akarsuyun herhangi bir kontrol kesitindeki debisi ile kati madde miktarı arasındaki ilişkiyi gösterir ve genellikle:

$$S = aQ^b \quad (6)$$

gibi bir fonksiyonel ilişki ile ifade edilir. Burada Q nehir akım debisini, S kati madde konsantrasyonunu, $\log S$ ve $\log Q$ arasında lineer regresyon kurularak elde edilen a ve b ise nehir akımı karakteristiğine bağlı katsayıları göstermektedir [5].

4. ÇOKLU DOĞRUSAL REGRESYON

Çoklu doğrusal regresyonda amaç, bağımlı değişkeni etkilediği belirlenen bağımsız değişkenler yardımıyla bağımlı değişkenin değerinin kestirilmesi ve bağımlı değişkeni etkilediği düşünülen bağımsız değişkenlerden hangisi ya da hangilerinin bağımlı değişkeni daha çok etkilediğini bulmaktır.

Çoklu regresyon çözümlemesinde, bağımlı değişken y , bağımsız değişkenler x_1, x_2, \dots, x_p ile gösterildiğinde aralarındaki ilişki;

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_j x_j + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon \quad (7)$$

olarak yazılabilir. Burada; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_j, \dots, \beta_p$ bilinmeyenlerine regresyon katsayıları denir. Herhangi bir β_j regresyon katsayısı, diğer değişkenler sabit tutulduğunda (diğer değişkenlerin etkisi ortadan kaldırıldığında) x_j değişkeninde ortaya çıkan bir birimlik değişimeye karşılık y değişkenindeki beklenen değişiklik miktarını vermektedir. Diğer bir ifadeyle; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_j, \dots, \beta_p$; bağımsız değişkenlerin y 'nin saptanmasına yaptıkları göreceli katkıya ilişkin ağırlıklardır. Bu nedenle, β_j ($j=1, 2, \dots, p$) parametreleri genellikle kısmi regresyon katsayıları olarak adlandırılmaktadır. β_0 'a ise kesim noktası veya sabit denir ve tüm x_j değişken değerleri sıfır olduğunda bağımlı değişkenin aldığı değeri gösterir. ε ise hata terimidir [6].

5. UYGULAMA

Bu çalışmada, Amerika'da USGS (United States Geological Survey) tarafından işletilen Rio Valenciano İstasyonu (USGS İstasyon No: 6308500)'nun günlük akım ve kati madde verileri kullanılmıştır. İstasyon drenaj alanı 43.57 km^2 dir. İstasyona ait veriler USGS'in web sayfasından alınmıştır (<http://webserver.cr.usgs.gov/sediment>).

İlk olarak veriler kurulacak olan modelleri eğitme ve test için keyfi olarak iki kısma ayrılmıştır. 1994 su yılına ait veriler eğitme verisi, 1995 su yılına ait veriler ise modelleri test etmek için kullanılmıştır. İstasyonlara ait akım ve sediment

konsantrasyon verilerinin istatistik parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir. Hem eğitme hem de test aşamasındaki debi ve sediment verilerinin çok çarpık bir dağılıma sahip olduğu açıkça görülmektedir.

5.1. Rio Valenciano İstasyonu

Sediment (kati madde) konsantrasyonunu tahmin etmek için bu uygulamada kullanılan giriş kombinasyonları sırasıyla (i) Q_t ; (ii) Q_t ve Q_{t-1} ; (iii) Q_{t-1} , Q_t ve S_{t-1} ; (iv) Q_{t-1} , Q_t , S_{t-2} ve S_{t-1} ; (v) Q_t ve S_{t-1} ; (vi) Q_t , S_{t-2} ve S_{t-1} ; (vii) Q_{t-2} , Q_{t-1} , Q_t ve S_{t-1} . Burada Q_t ve S_t sırasıyla Rio Valenciano istasyonuna ait t anındaki akış ve kati madde değerlerini göstermektedir.

Çizelge 1. Rio Valenciano İstasyonu'na ait verilerin günlük istatistik parametreleri.

Veri Seti	Değişken	x_{ort}	S_x	C_v $S_x/x_{\text{ort}})$	C_{sx}	x_{mak}	x_{min}
Eğitim	Debi (m^3/s)	0.60	2.07	3.5	13.6	219	0.04
	Sediment (mg/l)	42.0	106	2.5	7.45	1200	2.00
Test	Debi (m^3/s)	1.05	2.47	2.4	5.72	24.6	0.05
	Sediment (mg/l)	71.1	148	2.1	4.31	1090	4.00

S_x : Standart sapma, C_v :değişim katsayısı, C_{sx} :çarpıklık katsayısı.

YSA simülasyonu MATLAB yazılımı yardımıyla çalıştırılmıştır. Her bir giriş kombinasyonu için logaritma sigmoid transfer fonksiyonu ve tek gizli tabaka kullanılmıştır. Her bir giriş kombinasyonu için YSA modellerinin optimum ara tabaka hücre sayıları deneme–yanılma ile bulunmuştur. Hücre sayısını belirlemekte ortalama karesel hata (OKH) değeri dikkate alınmıştır. OKH denklem (8)'de tanımlanmaktadır.

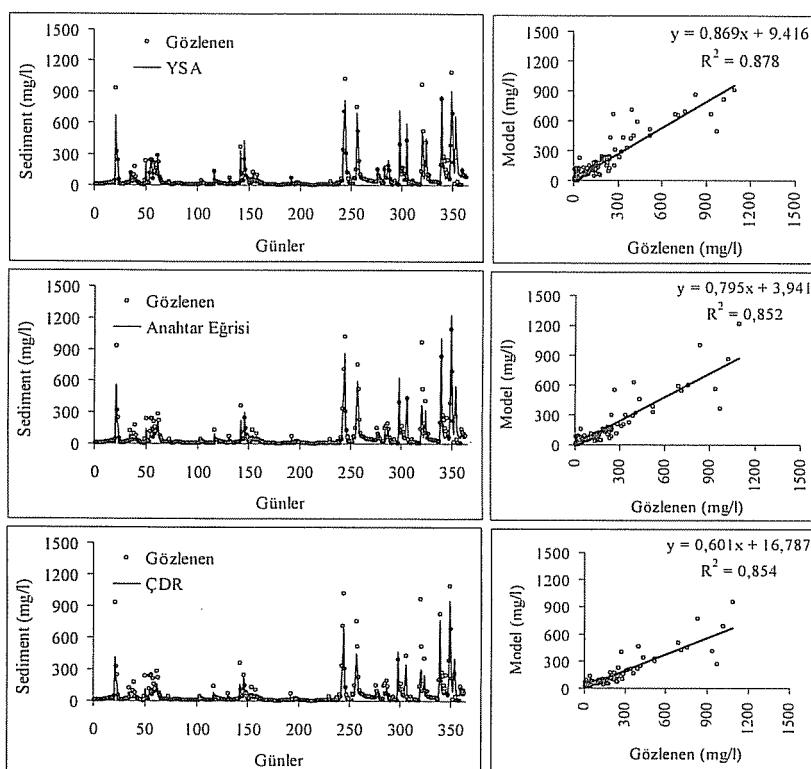
$$OKH = \frac{\sum_{i=1}^N (S_{i_{\text{Gözleme}}^{\text{Deneme}}} - S_{i_{\text{Tab. min}}})^2}{N} \quad (8)$$

Denklemde, S_i sediment konsantrasyonunu, N ise gözlem adedini göstermektedir. Ayrıca modelde denenen girdi kombinasyonları için doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. YSA modelinde kullanılan eğitme verileri için regresyon denklemleri oluşturulmuş ve test verilerinde bu elde edilen denklemlerin uygunluğu kontrol edilmiştir. Anahtar eğrisi ise denklem (6)'da gösterildiği üzere sadece 1nci kombinasyonda olduğu gibi debiye bağlı olarak elde edilmiştir.

Çizelge 2. Rio Valenciano istasyonu için modellerin test aşamasındaki OKH ve R^2 değerleri

Model Girdileri	YSA		Anahtar Eğrisi		ÇDR	
	OKH	R^2	OKH	R^2	OKH	R^2
Q_{rt}	3042	0.865	3410	0.852	5508	0.837
Q_{rt-1} ve Q_{rt}	2728	0.880	-	-	4886	0.850
Q_{rt-1} , Q_{rt} , ve Sr_{rt-1}	2941	0.881	-	-	4946	0.850
Q_{rt-1} , Q_{rt} , Sr_{rt-2} ve Sr_{rt-1}	2881	0.872	-	-	4964	0.851
Q_{rt} ve Sr_{rt-1}	3189	0.856	-	-	5182	0.844
Q_{rt} , Sr_{rt-2} ve Sr_{rt-1}	2721	0.878	-	-	4925	0.854
Q_{rt-2} , Q_{rt-1} , Q_{rt} ve Sr_{rt-1}	2649	0.878	-	-	4851	0.853

YSA, anahtar eğrisi ve ÇDR modelleriyle yapılan tahminlerin R^2 ve OKH değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2'den de görüldüğü gibi YSA'nın 6'ncı giriş kombinasyonu en düşük OKH ve en yüksek R^2 değerine sahiptir. Sediment anahtar eğrisi ise ÇDR'a göre daha iyi performans göstermiştir. Bu da akım ve sediment konsantrasyon değerlerinin logaritmalarının alınması ile aralarındaki lineer ilişkinin arttığını göstermektedir.



Şekil 2. Rio Valenciano İstasyonu için modellerin test aşamasındaki sediment (kati madde) tahminleri.

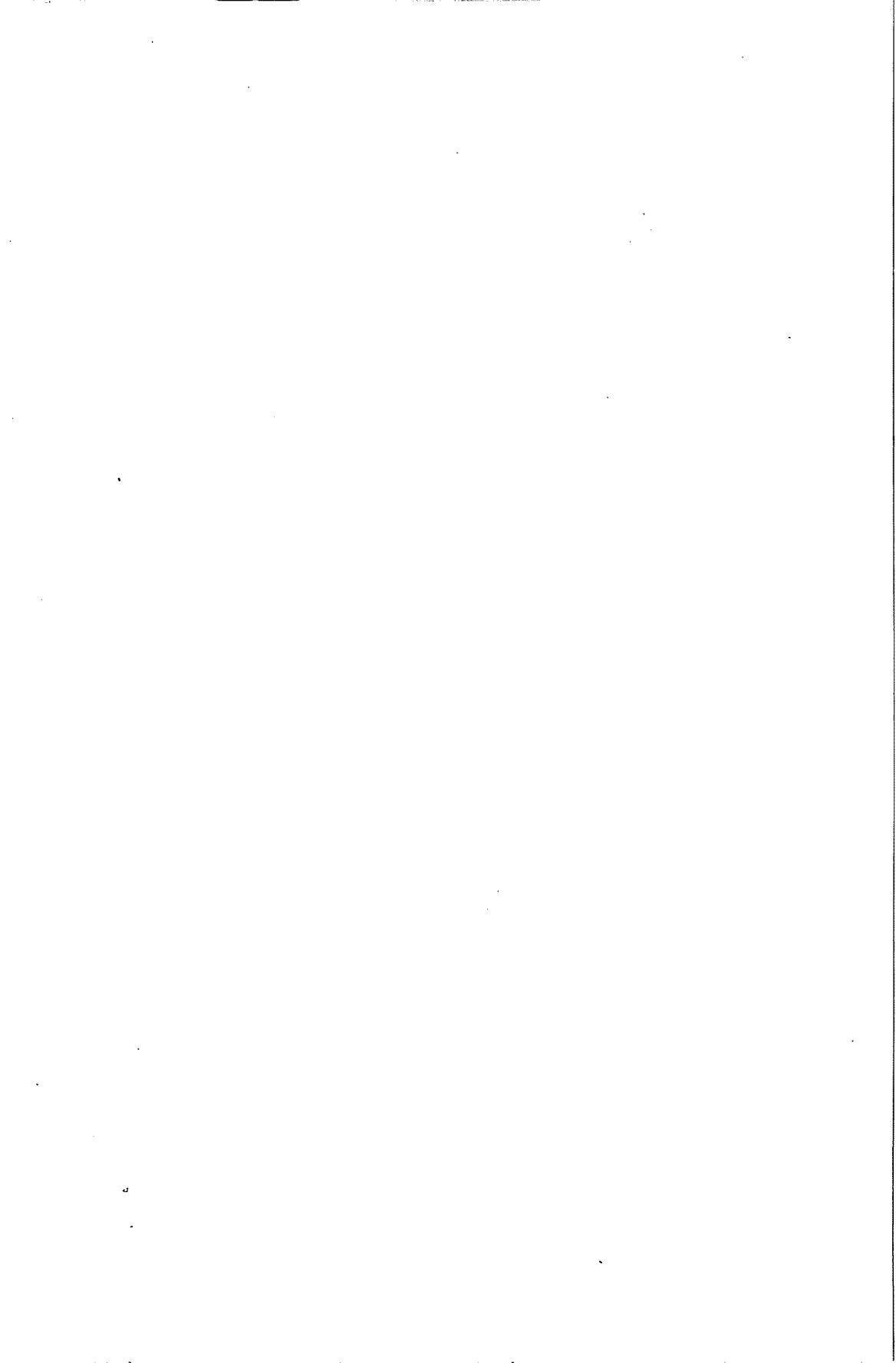
Rio Valenciano istasyonu'na ait gözlenmiş ve tahmin edilmiş sediment konsantrasyon değerleri Şekil 2'de karşılaştırılmıştır. Şekil 2'den de görüldüğü gibi YSA modeli özellikle pik değerleri anahtar eğrisi ve ÇDR'dan daha iyi tahmin etmiştir.¹ Saçılma grafiklerindeki eşitlikler ve R² değerleri incelendiğinde YSA modelinin diğerlerine göre daha tutarlı olduğu görülmektedir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada YSA modelinin nehir akımları ile sediment konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi modellemektedeki kabiliyeti incelenmiştir. YSA modeli, sediment konsantrasyonunu tahmin etmede anahtar eğrisi ve ÇDR'a göre daha iyi bir performans göstermiştir. Anahtar eğrisi ve ÇDR yaklaşımı YSA'ya göre özellikle pik sediment değerleri için kötü tahminler vermiştir. Bu çalışmada sadece birer yıllık Rio Valenciano istasyonuna ait debi ve sediment konsantrasyon değerleri kullanılmıştır. YSA modellerin başka istasyonlara ve daha uzun verilere uygulanması, ardından da regresyon teknikleri ile karşılaştırılması elde edilen sonuçların desteklenmesi açısından önemlidir. Bunun yanı sıra zamanla değişen bir çok parametreye bağlı olan sediment konsantrasyonunun formüllerle ifade edilmesinin oldukça güç olması ve YSA'nın belirli bir problemi çözmek için fazla bir bilgiye ihtiyaç duymadan örnekleri kullanarak sonuca verdiği için su yapılarının tasarımda sediment konsantrasyonunun tahmininde YSA modelleri rahatlıkla ve kolaylıkla kullanılabilir.

7. KAYNAKLAR

1. Müftüoğlu,R.F., "Akarsu Yapıları", Cilt 1, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, Türkiye, 1980.
2. Lippman,R, "An Introduction to Computing With Neural Nets", IEEE ASSP Mag., 4, 4-22, 1987.
3. Marquardt,D., "An algorithm for least squares estimation of non-linear parameters", J.Soc.Ind.Appl.Math., pp.431-441, 1963.
4. Kişi,Ö., "Yapay Sinir Ağları ve Regresyon Teknikleri ile Filyos Çayı Akımlarının Tahmini", IV.Hidroloji Kongresi, 23-25 Haziran, 347-353, İstanbul, Türkiye, 2004.
5. Kişi,O., "Suspended sediment estimation using neuro-fuzzy and neural network approaches", Hydrological Sciences Journal, 50(4), 683-696, 2005.
6. Alpar,R., "Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlere Giriş 1", Ankara, Türkiye, 2003.



İPLİK EĞİRMEDE BİLGİSAYAR DESTEKLİ PROSES KONTROL

Emel Ceyhun SABIR ve Ömer ERDOĞAN
Ç.Ü., Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Her üretim sektöründe olduğu gibi tekstil sektöründe de amaç, minimum maliyette ve maksimum verimlilikte, müşteri ihtiyaç ve bekleyenlerin karşılanması için ürünün üretilmesidir. Ürünün, istenen standartlarda üretiminin sağlanabilmesi için üretimi etkileyen parametrelerin optimize edilmesi ve bu optimize edilmiş şartların devamlılığının sağlanması gereklidir. Bu devamlılık proses kontrolü ile sağlanabilmektedir.

Bu çalışmada kısa elyaf iplik eğirme sürecinde, proses kontrolüne yardımcı olabilecek bir bilgisayar programı tasarlanmıştır. Bilgisayar programı yazılırken Visual Basic 6.0 programlama dili kullanılmıştır. Bu program proseslerde meydana gelen hataların görülebilmesine ve yorumlanması, ürün kalitesinin şu anki durumu ve kalitenin gidişatı hakkında yorum sahibi olunabilmesine imkan sağlamaktadır. Ayrıca işletme içi dokümantasyon kalabalığından kurtulmasına da katkı sağlayacaktır.

COMPUTER AIDED PROCESS CONTROL IN YARN SPINNING

ABSTRACT : Like every production sector, the aim of the textile sector is meeting the customers' needs and expectations by the maximum productivity with minimum cost. To obtain the production of the product in expected standards, parameters that effect the production must be optimized and these optimized conditions must be uninterrupted. This continuity can be obtained by the Process Control.

In this study, a computer program has been made to help the process control in the short fibers yarn spinning process. In the coding of this computer program, Microsoft Visual Basic version 6.0 programming language is used. By this program, experiencing and interpreting the errors in the processes, interpretation of current product quality and the observation of the situation of quality can be obtained. Furthermore, the program helps saving time from the superfluity of reporting in the administrating managing.

1. GİRİŞ

Tekstil ve hazır giyim ticareti, uluslararası ticaretteki global kısıtlamalara rağmen, üretimin önünde gelişmektedir. Dünya tekstil üretimi 1980-1999 döneminde %15 kadar artarken, ticareti %150'nin üzerinde artmıştır. 2005 ve sonrasında DTÖ (World Trade Organization) düzenlemelerinin hayata geçmesiyle, dünya tekstil ticaretinin daha da artacağı kesindir. Bloklar içi (AB, NAFTA, Uzakdoğu) tercihli ticaret giderek daha fazla ağırlık kazanmakta; bu da bloklar arası ticaret ve özellikle bloklar dışında kalan ekonomiler için yeni ve büyük boyutlu bir rekabet yaratmaktadır.

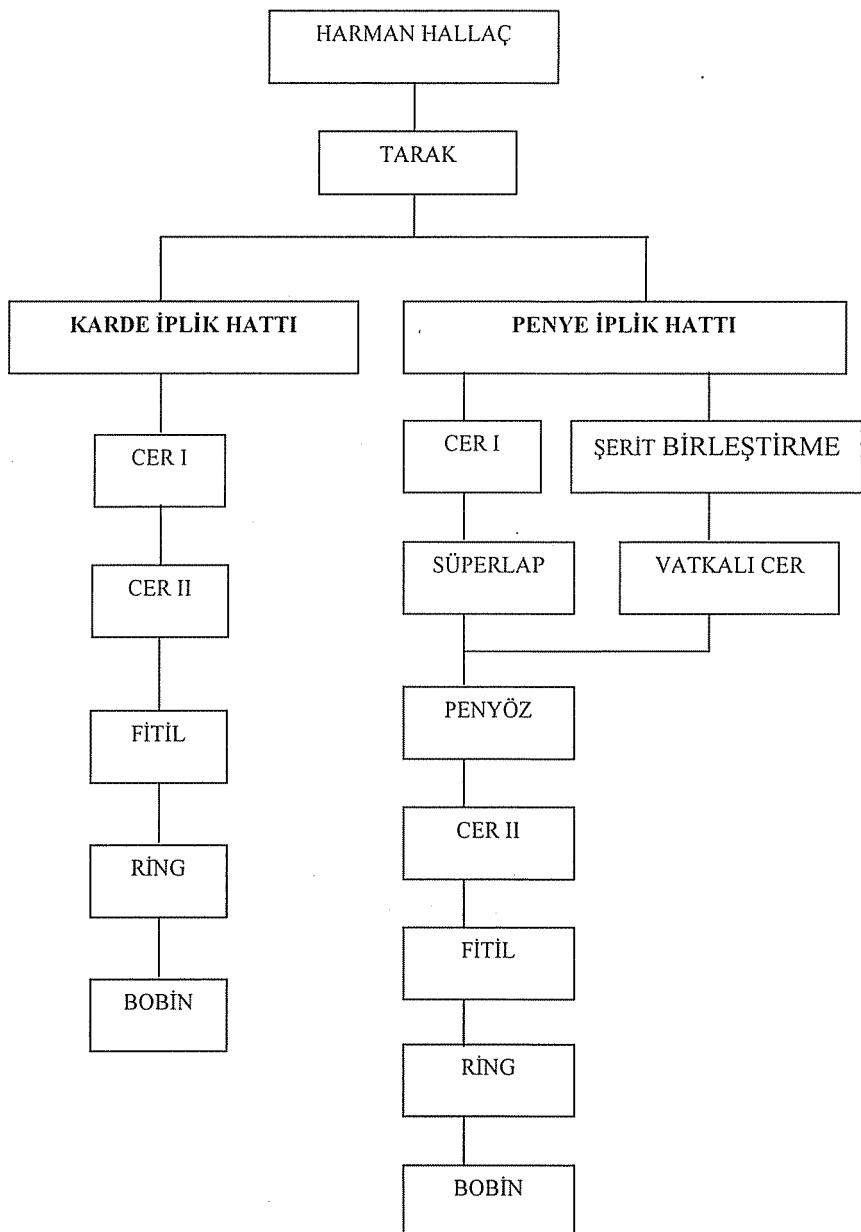
Diger bir önemli husus, işgücü maliyetlerinin düşük olduğu gelişmekte olan ülkelerin, tekstil ve hazır giyim üretim ve ticaretindeki paylarını, gelişmiş ülkelere kıyasla giderek artırmalarıdır.

Türk Tekstil Sekktörü teknoloji düzeyi, ekonomik etkinliği ve sosyal etkileşimi itibarıyle ülkenin onde gelen sosyo-ekonomik faaliyet alanlarından biridir. Sektörün bu konumunu önemizdeki iki on yıl boyunca koruması, hatta geliştirmesi beklenmektedir. Tekstil sektörümüzün ürün kalitesi ve üretim teknolojisi çağdaş dünya standartlarındadır.

Üretiminin yaklaşık %' ü on yaşıdan daha genç makine ve teçhizatla gerçekleştirilmektedir. Üretim kapasitesi açısından Türkiye, kurulu kapasite iğ sayısı itibarıyle dünya'da altıncı, rotor sayısında ise dördüncü sıradadır ve iğ sayısında dünya kapasitesinin %3,4'üne, rotor sayısında ise %5,5'ine sahiptir. Avrupa Birliği'nde Kurulu pamuk tipi kısa elyaf kapasitesinin yaklaşık yarısı Türkiye'dedir; yani, Türkiye'de kurulu kapasite tek başına AB kurulu kapasitesine denktir [1].

Bu çalışmada kısa elyaf iplik işletmesinde iplik üretim süresince elyafın geçtiği proseslerin bilgisayar programı desteğiyle proses takibinin yapılması amaçlanmıştır. Bilgisayarla proses takibinin, hataların yakalanmasında ve problemlerin daha kısa sürede giderilmesinde işletme çalışanlarına yardımcı olabileceği düşünülmüştür. Proses takibi sırasında dokümantasyonun da sağlanabilmesi amaçlar arasındadır. Program sayesinde istenildiğinde kağıda grafik dökümü ve bilgi dökümü de yapılabilmektedir.

Ring iplikçiliği işlem akışına göre penye ve karde hattı olarak ikiye ayrılır. Penye ipliği daha temiz ve uzun elyaflardan oluşur, daha parlak ve düzgün bir ipliktir. Karde iplik ise orta ve kısa uzunlukta elyaflardan oluşur, daha kirli, mat ve düzgünsüzlüğü daha yüksektir. Penye ve karde iplikten üretilmiş kumaşların kalite değerleri ve buna bağlı olarak fiyatları da farklıdır. Şekil 1'de Ring iplikçiliğinde iş akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 1. Ring iplikçiliğinde iş akış şeması

Çalışmada kullanılan hatlar için geçerli olan proses parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan proses ve kontrol noktaları

PROSES	KONTROL PAREMETRESİ
Harman Hallaç	Rutubet Kontrol
	Vatka Kontrol
Tarak	Numara Kontrol
	Düzungünlük Kontrol
	Neps Kontrol
Cer	Numara Kontrol
	Renk Kontrol
	Düzungünlük Kontrol
Fitil	Numara Kontrol
	Düzungünlük Kontrol
Ring (Vater)	Numara Kontrol
	Düzungünlük Kontrol
	Tüylülük Kontrol
	Mukavemet Kontrol
	Renk Kontrol
	Büküm Kontrol
	Devir Kontrol

2. MATERİYAL

Yapılan çalışmada materyal olarak kısa elyaf iplik işletmesine ait veriler kullanılmıştır. İşletme, çalışabileceği tiplere ve renklere göre 3 ayrı salon olarak tasarlanmıştır. Bu sayede daha esnek bir çalışma ortamı sağlanmıştır. İşletmenin kapasitesi Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Kısa Elyaf İplik İşletmesi üretim kapasitesi

Salonlar	iğ Sayısı	Makine Adedi	Kg*Ne/Gün	Kg
1.Salon	30200 iğ	81	183934	6569
2.Salon	8040 iğ	21	39690	1417
3.Salon	14560 iğ	34	58800	2100
Core-Spun	2160 iğ	6	11340	405
Toplam	54960 iğ	142	293764	10491

İşletmede genel olarak çalışılan tipler Çizelge 3'te verilmiştir. İşletmede hammadde olarak elyafi boyalı denilen elyaflar kullanılır ya da polimer boyalı veya boyasız elyaf kullanılır.

Çizelge 3. Kısa elyaf iplik işletmesinde çalışılan tipler

Tip	Karışım Oranı
Polyeseter/Viskon	67/33 – 50/50
Karde/Keten	70/30
Viskon/Keten	70/30
Tencel/Karde	70/30
Polyester/Viskon/Elastan	Core-spun üretiminde
Polyester/Karde	78/22
Karde/Polyester	88/12
Karde/Penye/Elastan	Core-spun üretiminde

3. METOD

Iplik işletmesinde bilgisayar destekli proses kontrol için seçilen metod, proses kontrolünü anlaşılır şekilde yapabilecek ve yazıcıdan döküm almayı sağlayacak bir bilgisayar yazılımıdır.

Yazılımda kullanılan programlama dili Visual Basic 6.0'dır. Visual Basic'in kurulumu ve çalışması için gerekli en az sistem gereksinimleri;

- Microsoft Windows 98 veya üst versiyonları
- Pentium II 300 Mhz işlemci
- 64 MB Ram
- 4MB Ekran kartı içeren bir donanım bunun için yeterli olacaktır [2].

Programda veritabanı olarak Microsoft Access kullanılmıştır. Veritabanına bağlantı da DAO (Data Access Object) bağlantı nesnesi aracılığıyla yapılmıştır.

Veritabanı ile ilgili tüm sorgulamalar SQL (Structered Query Language) sorgulama söz dizimleri ile yapılmıştır.

Program temel olarak 4 işlem yapmaktadır. Bu işlemler;

1. Veritabanından kayıt bilgilerinin sorgulanması
2. Veritabanına kayıtların yazılması
3. Veritabanından kayıtların okunması
4. Veritabanından okunan kayıtların ekranda gösterilmesi

Programın yapmış olduğu bu işlemlerin sırası yukarıda verildiği gibi olmayabilir. Programdaki her menüde bu sıra değişebilmektedir.

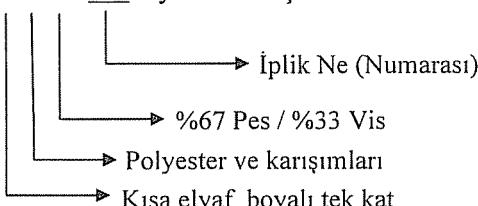
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Programda kullanılan rapor numarası ve renk numarası için numara kodlaması Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.

1 2 3 4 5	
X X X X X	ÜRETİM ÖZELLİĞİ
1	Kısa Elyaf Boyasız Tek kat İplikler
2	Kısa Elyaf Boyasız Büklülü İplikler
3	Kısa Elyaf Boyalı Tek kat İplikler
4	Kısa Elyaf Boyalı Büklülü İplikler
5	Uzun Elyaf Boyasız Tek kat İplikler
6	Uzun Elyaf Boyasız Tek kat İplikler
7	Uzun Elyaf Boyalı Tek kat İplikler
8	Uzun Elyaf Boyalı Büklülü İplikler
1 2 3 4 5	
X <u>X</u> X X X	HAMMADDE ÖZELLİĞİ
1	Polyester ve Karışımıları
2	Pamuk ve Karışımıları
3	Viskon ve Karışımıları
4	Akrilik ve Karışımıları
1 2 3 4 5	
X X <u>X</u> X X	KARIŞIM ORANI
1	%67 Pes / %33 Vis
2	%50 Pes / %50 Vis
3	%48 Pes / %48 Vis / %4 Lycra
4	%56 Pes / %38 Vis / %6 Lycra
1 2 3 4 5	
X X X <u>X</u> X	İPLİK NUMARASI
1 6	16 Numara
2 8	28 Numara

Şekil 2. İplik rapor numarası kodlaması

Örnek olarak 3 1 1 2 8 sayısı verilmiştir.

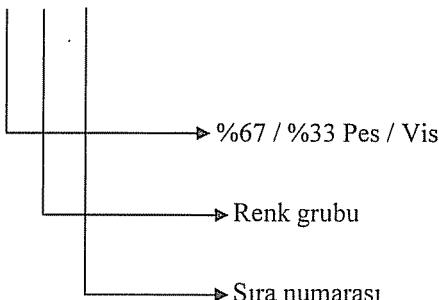


Karışım oranı için verilen sıralama rakamları artırılabilir. Burada işletmede en çok üretilen ürünlerde ait olan bilgiler verilmiştir.

HARMAN GRUBU		RENK AÇILIMI
Harman	No	RENKLER
%67 Pe / %33 Vis	10	(1)Ekru, Ham(renksiz)
%100 Pe	14	(2)A.Sarı-Saman-Sarı-Turuncu-Taş-Kemik-Kum
%100 Vis	15	(3)Pembe-Kırmızı-Kızıl-Kiremit-Gülkurusu-Tarçın
%100 Akrilik	80	(4)Şarap-Bordo-Vişne-Mürdün
%27 Vis / %18 Keten / %55 Pe	89	(5)Lila-Eflatun-Mor
%45 Keten / % 55 Pe	90	(6)A.Mavi-K.Mavi-Lacivert-Turkuaz-Petrol-Saks
%50 Pe / %50 Vis	12	(7)A.Yeşil-K.Yeşil-Nefti-Hardal-Limonküfü
%48 Pe / %48 Vis / %4 Lycra	16	(8)Bej-Kamel-A.Kahve-Kahve-Tüttün-Vizon
%56 Pe / %38 Vis / %6 Lycra	18	(9)A.Gri-Siyah-Kurşini-Duman-Toprak-Füme
		(0)Melanjlar (Kırçılılı)

Şekil 3. Elyaf renk numarası kodlaması

Örnek olarak 10 9 02 sayısı verilebilir. Bu sayının rengi siyahdır.



İşletmede ve programda en çok kullanılan karışım oranlarından olan %67 Pes / %33 Vis , %50 Pes / %50 Vis, %56 Pes / %38 Vis / %6 Lycra ve %48 Pes / %48 Vis /%4 Lycra için işletmenin kalite kontrol laboratuarından alınan Harman-Hallaç dairesinden Fitil dairesine kadar olan bölümü için standart kalite değerleri Çizelge 4, 5 ,6 ve 7'de verilmiştir.

Çizelge 4. %67 Pes / %33 Vis için standart kalite değerleri

%67 Polyester / %33 Viskon için	Minimum Değeri	Maksimum Değeri
Elyaf Rutubeti	---	3.5
Vatka Gramajı (gr)	355	365
Tarak Şerit Numarası (Ne)	0.120	0.140
Tarak Şeridi Neps Miktarı	---	17
Tarak Şeridi Düzgünsüzlüğü (%U)	---	6.5
Cer Şerit Numarası (Ne)	0.128	0.132
Cer Şeridi Renk Durumu	Onaylanmış Keçe Rengine Göre	
Cer Şeridi Düzgünsüzlüğü (%U)	---	2.7
Filfil Numarası (Ne)	(28 Ne iplik ve aşağısı)	0.98
	(28 Ne iplik ve yukarısı)	1.37
Filfil Düzgünsüzlüğü (%U)	---	4.3

Çizelge 5. %50 Pes / %50 Vis için standart kalite değerleri

%50 Polyester / %50 Viskon için	Minimum Değeri	Maksimum Değeri
Elyaf Rutubeti	---	4.0
Vatka Gramajı (gr)	355	365
Tarak Şerit Numarası (Ne)	0.120	0.140
Tarak Şeridi Neps Miktarı	---	17
Tarak Şeridi Düzgünsüzlüğü (%U)	---	6.5
Cer Şerit Numarası (Ne)	0.128	0.132
Cer Şeridi Renk Durumu	Onaylanmış Keçe Rengine Göre	
Cer Şeridi Düzgünsüzlüğü (%U)	---	3.0
Filfil Numarası (Ne)	(28 Ne iplik ve aşağısı)	0.98
	(28 Ne iplik ve yukarısı)	1.37
Filfil Düzgünsüzlüğü (%U)	---	4.5

Çizelge 6. %56 Pes / %38 Vis / %6 Lycra için standart kalite değerleri

%56 Polyester/%38 Viskon /% 6 Lycra için	Minimum Değeri	Maksimum Değeri
Elyaf Rutubeti	---	3.5
Vatka Gramajı (gr)	355	365
Tarak Şerit Numarası (Ne)	0.120	0.140
Tarak Şeridi Neps Miktarı	---	17
Tarak Şeridi Düzgünsüzlüğü (%U)	---	6.5
Cer Şerit Numarası (Ne)	0.128	0.132
Cer Şeridi Renk Durumu	Onaylanmış Keçe Rengine Göre	
Cer Şeridi Düzgünsüzlüğü (%U)	---	2.7
Fitil Numarası (Ne)	(28 Ne iplik ve aşağısı)	0.98
	(28 Ne iplik ve yukarısı)	1.37
Fitil Düzgünsüzlüğü (%U)	---	4.3

Çizelge 7. %48 Pes / %48 Vis / %4 Lycra için standart kalite değerleri

%48 Polyester/%48 Viskon /%4 Lycra için	Minimum Değeri	Maksimum Değeri
Elyaf Rutubeti	---	4.0
Vatka Gramajı (gr)	355	365
Tarak Şerit Numarası (Ne)	0.120	0.140
Tarak Şeridi Neps Miktarı	---	17
Tarak Şeridi Düzgünsüzlüğü (%U)	---	6.5
Cer Şerit Numarası (Ne)	0.128	0.132
Cer Şeridi Renk Durumu	Onaylanmış Keçe Rengine Göre	
Cer Şeridi Düzgünsüzlüğü (%U)	---	3.0
Fitil Numarası (Ne)	(28 Ne iplik ve aşağısı)	0.98
	(28 Ne iplik ve yukarısı)	1.37
Fitil Düzgünsüzlüğü (%U)	---	4.5

Programda kullanılan; rapor numaraları için işletmenin kalite kontrol laboratuarına ait olan standart değerler aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 8. %67/33 Pes/Vis karışım oranında rapor numarası için standart değerler

Rapor no:31116 olan iplik ve bobin için standart değerler						
	Ne	T "	%U	H	RKM	Rutubet (Bobin için)
Üst Limit	16.5	16.5	9.5	7.0	---	3.5
Alt Limit	15.5	15.5	---	---	17.0	---
Rapor no:31120 olan iplik ve bobin için standart değerler						
	Ne	T "	%U	H	RKM	Rutubet (Bobin için)
Üst Limit	19.4	17.0	9	7.5	---	3.5
Alt Limit	20.6	16.0	---	---	24	---
Rapor no:31122 olan iplik ve bobin için standart değerler						
	Ne	T "	%U	H	RKM	Rutubet (Bobin için)
Üst Limit	22.7	16.5	9.3	5.0	---	3.5
Alt Limit	21.3	15.5	---	---	23.0	---
Rapor no:31128 olan iplik ve bobin için standart değerler						
	Ne	T "	%U	H	RKM	Rutubet (Bobin için)
Üst Limit	28.8	19.0	11.0	5.0	---	3.5
Alt Limit	27.2	17.8	---	---	20.0	---
Rapor no:31136 olan iplik ve bobin için standart değerler						
	Ne	T "	%U	H	RKM	Rutubet (Bobin için)
Üst Limit	37.0	24.7	13.5	5.5	---	3.5
Alt Limit	35.0	23.3	---	---	14.0	---
Rapor no:31140 olan iplik ve bobin için standart değerler						
	Ne	T "	%U	H	RKM	Rutubet (Bobin için)
Üst Limit	41.2	23.7	13.0	4.2	---	3.5
Alt Limit	38.8	22.3	---	---	20.0	---

Çizelge 9. %50/50 Pes/Vis karışım oranında rapor numarası için standart değerler

Rapor no:31214 olan iplik ve bobin için standart değerler						
	Ne	T "	%U	H	RKM	Rutubet (Bobin için)
Üst Limit	14.4	22.7	8.0	5.8	---	4.0
Alt Limit	13.6	21.3	---	---	23.0	---
Rapor no:31216 olan iplik ve bobin için standart değerler						
	Ne	T "	%U	H	RKM	Rutubet (Bobin için)
Üst Limit	16.5	17.0	9.0	5.0	---	4.0
Alt Limit	15.5	16.0	---	---	23.0	---
Rapor no:31220 olan iplik ve bobin için standart değerler						
	Ne	T "	%U	H	RKM	Rutubet (Bobin için)
Üst Limit	20.6	22.9	9.0	6.0	---	4.0
Alt Limit	19.4	22.1	---	---	20.0	---
Rapor no:31230 olan iplik ve bobin için standart değerler						
	Ne	T "	%U	H	RKM	Rutubet (Bobin için)
Üst Limit	30.9	28.4	11.5	4.6	---	4.0
Alt Limit	29.1	26.8	---	---	20.0	---
Rapor no:31236 olan iplik ve bobin için standart değerler						
	Ne	T "	%U	H	RKM	Rutubet (Bobin için)
Üst Limit	37.1	25.4	11.5	4.5	---	4.0
Alt Limit	34.9	23.8	---	---	21.0	---
Rapor no:31240 olan iplik ve bobin için standart değerler						
	Ne	T "	%U	H	RKM	Rutubet (Bobin için)
Üst Limit	41.2	23.7	13.0	4.0	---	4.0
Alt Limit	38.8	22.3	---	---	20.0	---
Rapor no:31244 olan iplik ve bobin için standart değerler						
	Ne	T "	%U	H	RKM	Rutubet (Bobin için)
Üst Limit	45.0	28.0	12.5	5.0	---	4.0
Alt Limit	43.0	26.4	---	---	18.0	---

Çizelge 10. %48 / 48 / 4 Pes/Vis/Lycra karışım oranında rapor numarası için standart değerler

Rapor no:31320 olan iplik ve bobin için standart değerler

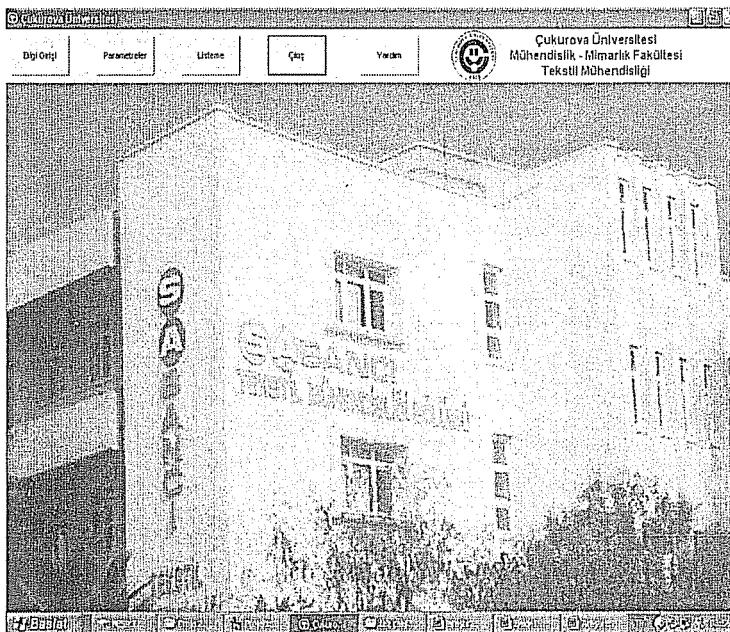
	Ne	T °	%U	H	RKM	Rutubet (Bobin için)
Üst Limit	20.6	27.3	10.5	6.0	---	4.0
Alt Limit	19.4	25.7	---	---	15.5	---

Çizelge 11. %56 / 38 / 6 Pes/Vis/Lycra karışım oranında rapor numarası için standart değerler

Rapor no:31420 olan iplik ve bobin için standart değerler

	Ne	T °	%U	H	RKM	Rutubet (Bobin için)
Üst Limit	20.5	19.6	9.0	6.5	---	3.5
Alt Limit	19.5	18.4	---	---	18.0	---

Program bilgisayara yüklenildikten sonra program çalıştırıldığında programın ana ekranının görüntüsü Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4. Programın ana ekranının görüntüsü

Kullanıcı tarafından yapılacak ilk iş, parametreler menüsü kullanılarak fabrika kalite standartları ekranından programa verilerin girilmesidir. Girilecek olan değerlere ait veriler daha önce tablo halinde verilmiştir. Fabrika kalite standartları ekranına girilen değerlerin görüntüleri Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.

Fabrika Kalite Standartları Ekrani

Dış Cep | Paranteze | Liste | Çık | Yarın |  Çukurova Üniversitesi
Mühendislik - Mimarlık Fakültesi
Takstili Mühendisliği

İşlik Rapor Numarası:	31116	Bul	İptal
İşlik Kalkınma Düzeyi (%) 44.7 Faz/h 33 Viz			
Hizmet Kalite Değer (%) Max:	3.5		
Veri Kalite Değer (%) Min:	365	365	
Sert Humara Değer (%) Min/Max:	0.12	0.14	
Reçek Kalite Değer (%) Max:	17		
Düzenlilik Kalite Değer (%) Max:	0.5		
Sert Humara Değer (%) Min/Max:	0.128	0.132	
Reçek Kalite Düzey:	Evet		
Üzergânlilik Kalite Değer (%) Max:	2.7		
Tüm Rapor Değer (%) Min/Max:	0.98	1.02	Detay >
Üzergânlilik Kalite Değer (%) Max:	4.3		

Şekil 5. Fabrika kalite standartları ekranının değer girilen ilk bölümü

Fabrika Kalite Standartları Ekrani

Dış Cep | Paranteze | Liste | Çık | Yarın |  Çukurova Üniversitesi
Mühendislik - Mimarlık Fakültesi
Tekstili Mühendisliği

İşlik Rapor Numarası: 31116 **Bul** **İptal**

İşlik Kalkınma Düzeyi (%) 44.7 Faz/h 33 Viz

Nüfus Değer (%) Min/Max:	16.6	310.5
Düzenlilik Değer (%) Max:	9.5	
Müzakemel Değer (RMK) Min:	17	
Reçek Kalite Düzey:	Evet	
Tığılık Kalite Değer (%) Max:		
Dokun Kalite Değer (%) Min/Max:	16.6	310.5
Sert Humara Değer (%) Min/Max:	16.6	310.5
Üzergânlilik Değer (%) Max:	0.5	
Müzakemel Değer (RMK) Min:	17	
Tığılık Kalite Değer (%) Max:		
Reçek Kalite Değer (%) Max:	3.5	
Dokun Kalite Değer (%) Min/Max:	16.6	310.5

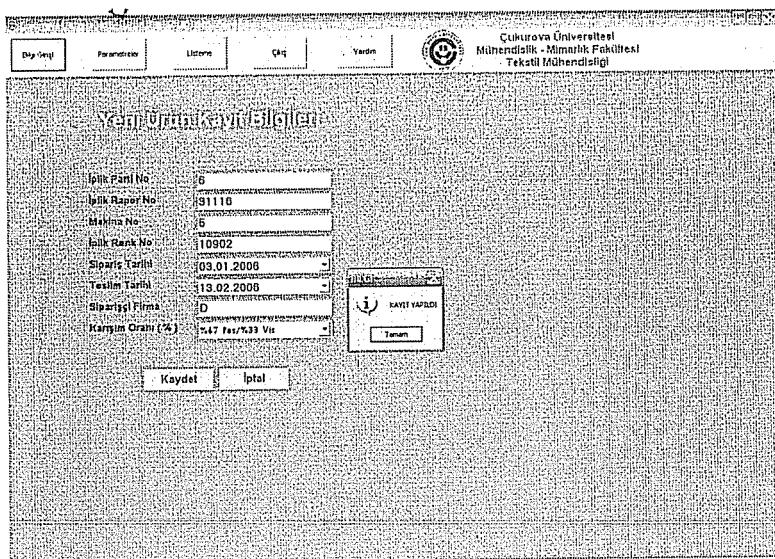
İşlik Rapor Numarası: 31116 İşlik Rapor Numarası Fabrika değer kaydı başarıyla kaydedildi.

Tanım

< Geri | Kaydet | İptal

Şekil 6. Fabrika kalite standartları ekranının kayıt ekranı

Girilen rapor numaralı ürünün standart kalite değerlerinin kaydı yapıldıktan sonra, Yeni ürün kaydı ekranından, üretilicek olan ürüne ait kayıt bilgileri girilmelidir. Şekil 7'de Yeni ürün kaydı ekranından girilmiş değerler verilmektedir.



Şekil 7. Yeni ürün kaydı ekrانından girilen, üretilicek olan ürüne ait bilgiler

Yapılan bu işlemlerden sonra üretilmiş ürüne ait olan değerler fabrika üretim değerleri ekranından programa girilir. Girilmiş olan değerlere ait görüntüler Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir.

Şekil 8. Üretim değerleri ekranına girilen verilerin ilk bölümü

Çukurova Üniversitesi
Mühendislik - Mimarlık Fakültesi
Tekstil Mühendisliği

<input type="button" value="Dış Giriş"/>	<input type="button" value="Panolarde"/>	<input type="button" value="Listeme"/>	<input type="button" value="Çatı"/>	<input type="button" value="Yazdır"/>	<input type="button" value="İptal"/>
<input type="checkbox"/> Kartvizit Oluştur <input type="checkbox"/> E-mail Oluştur					
<input type="checkbox"/> FAVİT YAPILDI <input type="button" value="Tamam"/>					
İmza Değeri (No) : 15,9 Darpçuluşlu Koltuk Değeri (KU) : 8,9 Üstüne Üstüne (ÜÜ) : 10 Tekstil Oluş : Evet Üstüne Değeri (ÜÜ) : 7,1 Döküm Koltuk Değeri (DK) : 16 Üstüne Değeri (ÜÜ) : 16,9 Darpçuluşlu Koltuk Değeri (KU) : 9 Üstüne Üstüne (ÜÜ) : 19 Taşılık Değeri (T) : 7,2 Üstüne Değeri : 3,6 Döküm Koltuk Değeri (DK) : 16					
<input type="button" value="< Geri"/> <input type="button" value="Kaydet"/> <input type="button" value="İptal"/>					

Şekil 9. Üretim değerleri ekranının kayıt ekranı

Değerler girildikten sonra ürün listeleme ve hatalı ürün listeleme ekranlarından, ekrandan yapılan seçime göre girilen değerlere ait veriler listelenebilmektedir. Bu listelere ait görüntüler Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmiştir.

Ürün Listesi

Çukurova Üniversitesi
Mühendislik - Mimarlık Fakültesi
Tekstil Mühendisliği

<input type="button" value="Dış Giriş"/>	<input type="button" value="Panolarde"/>	<input type="button" value="Listeme"/>	<input type="button" value="Çatı"/>	<input type="button" value="Yazdır"/>	<input type="button" value="İptal"/>																																																															
Arama Sonuçları <table border="1"> <thead> <tr> <th>Sıra No</th> <th>İmza No</th> <th>İapor. No</th> <th>Makinə. No/renk. No</th> <th>Üretim. Tarihi</th> <th>İstil. Tarihi</th> <th>İlçe</th> <th>Konum. Oranı</th> <th>İstil.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>31114</td> <td>1</td> <td>10902</td> <td>08.12.2005</td> <td>14.01.2006</td> <td>A</td> <td>%47 Per/%33 Viz</td> <td>3,3</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>31114</td> <td>2</td> <td>10902</td> <td>03.11.2005</td> <td>15.12.2005</td> <td>B</td> <td>%47 Per/%33 Viz</td> <td>3,6</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>31114</td> <td>4</td> <td>10902</td> <td>12.02.2006</td> <td>31.04.2006</td> <td>C</td> <td>%47 Per/%33 Viz</td> <td>3,7</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>31114</td> <td>5</td> <td>10902</td> <td>01.02.2006</td> <td>17.03.2006</td> <td>D</td> <td>%47 Per/%33 Viz</td> <td>3,4</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>31114</td> <td>8</td> <td>10903</td> <td>01.11.2005</td> <td>02.01.2006</td> <td>D</td> <td>%47 Per/%33 Viz</td> <td>3,4</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>31114</td> <td>5</td> <td>10902</td> <td>03.01.2006</td> <td>31.02.2006</td> <td>D</td> <td>%47 Per/%33 Viz</td> <td>3,4</td> </tr> </tbody> </table>						Sıra No	İmza No	İapor. No	Makinə. No/renk. No	Üretim. Tarihi	İstil. Tarihi	İlçe	Konum. Oranı	İstil.	1	31114	1	10902	08.12.2005	14.01.2006	A	%47 Per/%33 Viz	3,3	2	31114	2	10902	03.11.2005	15.12.2005	B	%47 Per/%33 Viz	3,6	3	31114	4	10902	12.02.2006	31.04.2006	C	%47 Per/%33 Viz	3,7	4	31114	5	10902	01.02.2006	17.03.2006	D	%47 Per/%33 Viz	3,4	5	31114	8	10903	01.11.2005	02.01.2006	D	%47 Per/%33 Viz	3,4	6	31114	5	10902	03.01.2006	31.02.2006	D	%47 Per/%33 Viz	3,4
Sıra No	İmza No	İapor. No	Makinə. No/renk. No	Üretim. Tarihi	İstil. Tarihi	İlçe	Konum. Oranı	İstil.																																																												
1	31114	1	10902	08.12.2005	14.01.2006	A	%47 Per/%33 Viz	3,3																																																												
2	31114	2	10902	03.11.2005	15.12.2005	B	%47 Per/%33 Viz	3,6																																																												
3	31114	4	10902	12.02.2006	31.04.2006	C	%47 Per/%33 Viz	3,7																																																												
4	31114	5	10902	01.02.2006	17.03.2006	D	%47 Per/%33 Viz	3,4																																																												
5	31114	8	10903	01.11.2005	02.01.2006	D	%47 Per/%33 Viz	3,4																																																												
6	31114	5	10902	03.01.2006	31.02.2006	D	%47 Per/%33 Viz	3,4																																																												
<input type="button" value="Tamam"/>																																																																				

Şekil 10. Rapor numarasına göre ürün listeleme

İPLİK EĞİRMEDE BİLGİSAYAR DESTEKLİ PROSES KONTROL

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet. At the top, there's a header bar with tabs for 'Dış Geç', 'Parametreler', 'Ünite', 'Çıkış', 'Yardım', and 'Çalışma Dosyası'. Below this is another header row with a logo and text: 'Çalışma Dosyası Dosyaları', 'Mühendislik - Mühendislik Fakültesi', and 'Tekstil Mühendisliği'. The main area contains several tables and lists:

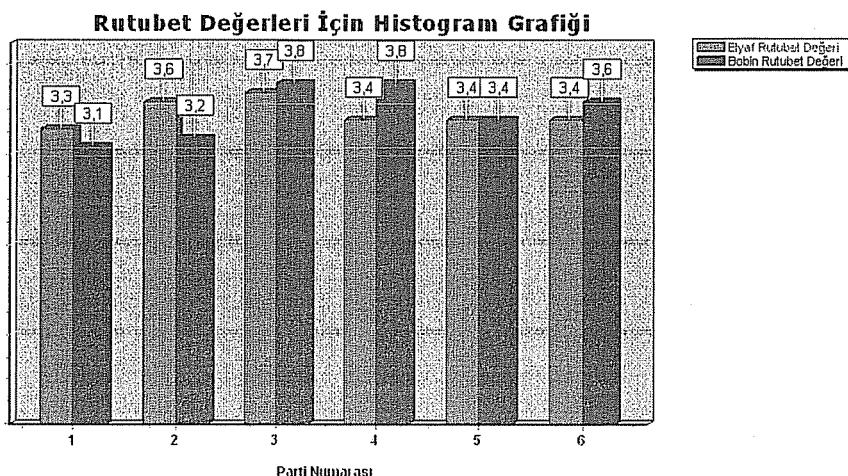
- A table for 'Arıza Sayıları' (Fault Number) listing products with fault codes and descriptions.
- A table for 'Hatalı Ürünler Listesi' (List of Faulty Products) showing products by fault code, quantity, unit price, and total value.
- A large table at the bottom listing products by serial number, date, and various quality control parameters (C1, C2, etc.).
- A footer section with summary statistics: 'Toplam Hatalı Ürün Sayısı: 33', 'Toplam Hatalı Ürün Fiyatı: 10.354,20 TL', and a 'Toplam' button.

Şekil 11. Rapor numarasına göre hatalı ürün listeleme

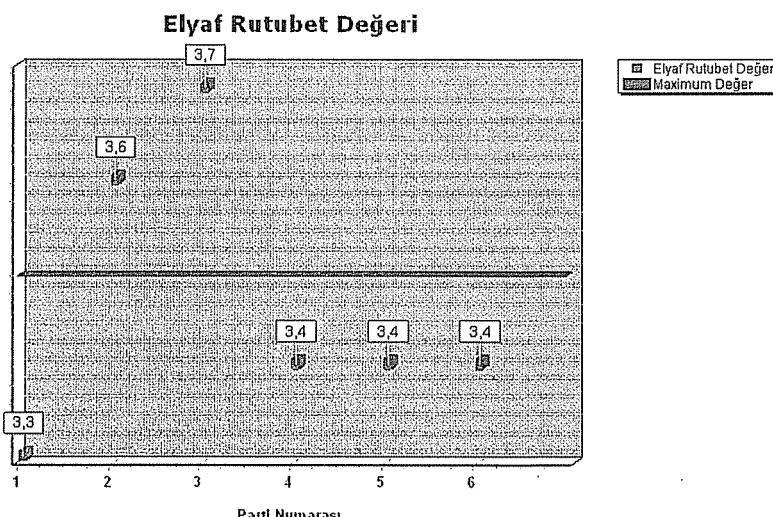
par.no	satır.no	merek	fka no	kararlılık tarihi	turu	hesap no'su	adetler	satış tarihi	satın tarihi	cins	cancerr cari	üye no	fid	regu	argu	mg	mg mukavemet	mg	satın	satın	bölüm	bölüm	birim	birim
1	31116	1	1022	01/12/2011	14.01.2014	A																		
2	31116	2	1022	01/12/2011	15.12.2011	B																		
3	31116	4	1022	10/12/2009	13.04.2010	C																		
4	31116	4	1022	06/12/2009	17.02.2010	D																		
5	31116	3	1023	01/11/2010	11.03.2011	E																		
6	31116	5	1022	01/07/2009	13.02.2008	F																		
7	31116	4	1022	07/12/2009	10.02.2010	G																		
8	31116	12	1076	01/07/2009	16.02.2010	H																		
9	31123	1	1072	02/01/2008	20.02.2010	I																		
10	31135	4	1088	01/12/2009	20.02.2010	J																		
11	31140	6	1049	01/12/2009	20.02.2010	K																		
12	32216	11	1022	20/12/2009	09.03.2010	L																		
13	32214	15	1022	20/02/2009	09.04.2010	M																		
14	32214	15	1088	01/12/2009	20.02.2010	N																		
15	32238	3	1029	01/12/2009	20.02.2010	O																		
16	32237	16	1222	20/02/2009	09.03.2010	P																		
17	32244	16	1242	20/02/2009	07.03.2010	Q																		
18	32243	9	1222	20/02/2009	07.03.2010	R																		
19	32244	2	1222	21/12/2009	01.01.2010	S																		
20	32240	4	1022	01/02/2008	25.01.2009	T																		
21	34251	16	1022	09/03/2008	01.03.2010	U																		

cer no	fitl no	fitl u	ring no	ring u	ring mukavemet	ring renk	ring tuyuluk	ring büküm
2,7	0,99	4,2	16,2	9,4	25	Evet	6,1	16
2,6	1	4	15,9	9,8	16	Evet	6,5	15,5
2,7	1,04	4,2	15,9	8,9	17,8	Evet	6,3	16
2,5	1,01	4,2	15,9	9	17,8	Hayır	6,3	16
2,5	1,03	4,4	15,8	8,8	18	Evet	6,8	16,1
2,6	0,99	4,2	15,9	8,9	19	Evet	7,1	16
2,7	0,99	4,2	19,8	8,4	16,1	Evet	6,9	16,5
2,7	1,01	4,2	21,5	9,1	26	Evet	5,1	15,8
2,6	1	4,1	28,6	10	21	Evet	5,3	24
2,9	1,45	4,3	36	12	22	Evet	4,2	23
2,7	1,42	4,4	39,6	12	23	Evet	4,2	23
2,8	1	4,1	16,1	8,8	25	Evet	5,1	16
2,8	1,01	4,5	13,9	7,8	24	Evet	5,5	21,5

Şekil 12. Toplam ürün dökümü, Excel çıktı



Şekil 14. 31116 Rapor numaralı ürün için toplam ürün dökümünün histogram grafiği çıktıtı



Şekil 15. 31116 Rapor numaralı ürün için toplam ürün dökümünün kontrol grafiği çıktıtı

5. SONUÇLAR

Çalışmada iplik eğirme sürecinde Proses kontrol uygulamasına yardımcı olabilecek bilgisayar programı tasarlanmıştır. Tasarlanan bilgisayar programı sayesinde;

1. Mamule ait tanımlayıcı bilgiler verilerek, mamulün işletme içerisinde takibinin yapılması kolaylaştırılmıştır.

2. İşletmede üretilen ipligin, iplik oluncaya kadar geçirdiği aşamalardaki kalite parametrelerinin, olması gereken ile gerçekleşen değerleri program veritabanında kayıt altına alınmıştır.
3. Üretimde olması gereken ve gerçekleşen değerler karşılaştırılıp, hatalı olan değerler ile hatasız değerler birbirlerinden ayrıstırılmıştır.
4. Program, esnek bir raporlama imkâni sunmaktadır. Kullanıcı isterse bu değerleri Microsoft Office Excel üzerinde ya da program üzerinden *Grid* nesnesi vasıtasyyla görebilmektedir. Excel'e aktarılan bilgilerin aynı zamanda yazıcıdan çıktısı da alınabilmektedir.
5. İşletmedeki üretim değerleri, istatistiksel süreç kontrolünde kullanılan tekniklerden olan Histogram grafiği ve Kontrol grafiklerinde de gösterilmiştir. İstenildiği takdirde bu grafiklerin yazıcıdan çıktısı da alınabilmektedir.
6. İşletmedeki üretimden sorumlu yönetim, üretim ile ilgili bilgilere daha kısa sürede ve daha düzenli olarak ulaşabilecektir. Sorumlu kademenin işletme içi doküman akışından kurtarılması da sağlanan faydalar arasındadır.

Bütün bu anlatılanlar sonucunda, programın kısa elyaf iplik işletmesinde proses kontrolü çalışmasına yardımcı olabileceği görülmüştür.

6. TEŞEKKÜR

Çalışmaya maddi olarak destek veren Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Bilimsel Araştırma Projeler Birimi'ne teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

1. [www.tubitak.gov.tr, \(Tekstil Paneli. <http://vizyon2023.tubitak.gov.tr/teknolojiongorusu/paneller/tekstil/raporlar/raport.pdf>\), 2006.](http://vizyon2023.tubitak.gov.tr/teknolojiongorusu/paneller/tekstil/raporlar/raport.pdf)
2. Hocaoğlu, Ö., *Visual Basic 6.0.*, Pusula Yayıncılık, 301 s., İstanbul, 2005.

YUKARI AKIŞLI ANAEROBİK ÇAMUR ÖRTÜ REAKTÖRÜNDE SİYANÜR GİDERİMİ

Turan YILMAZ ve Ahmet YÜCEER
Ç.Ü., Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana/ Türkiye

ÖZET : Bu çalışmada yukarı akışlı anaerobik çamur örtü (ÇÖR) reaktörünün siyanür adaptasyon süreci, siyanür giderme verimi ve siyanür giderimi sırasında organik karbon gereksinimi araştırılmıştır. 24 saat hidrolik bekletme süresiyle işletilen anaerobik reaktöre 1 mg/L' den 130 mg/L'ye kadar artan konsantrasyonlarda siyanür beslemesi yapılmıştır. ÇÖR'de 110 mg/L siyanüre adaptasyon gerçekleşmiştir. 1 mg/L siyanür yüklemesinde % 99 olan siyanür giderme verimi, artan siyanür yüklemelerine bağlı olarak % 94' e kadar azalmıştır. Siyanür giderimi sırasında anaerobik reaktörün karbon ihtiyacını belirlemek için, 3000 mg/L olan giriş suyu KOİ konsantrasyonu sırasıyla 1500, 500 ve 250 mg/L'ye düşürülmüştür. KOİ konsantrasyonunun 1500 ve 500 mg/L'ye azalması, reaktörü olumsuz etkilememiştir. 250 mg/L KOİ konsantrasyonunda, ÇÖR'de çıkış suyu siyanür konsantrasyonu 7-8 mg/L'den 50 mg/L ye yükselmiştir.

CYANIDE REMOVAL IN UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET REACTOR

ABSTRACT : In this study, the process of cyanide adaptation and the performance of cyanide removal in the upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASBR) were examined. The requirement of organic carbon during the cyanide removal was also investigated. The reactor operated with the 24 h hydraulic retention time (HRT) was continuously fed with increasing cyanide concentrations from 1mg/L to 130mg/L. Adaptation was observed at the 110 mg/L cyanide concentration in the UASBR. The cyanide removal has decreased from 99% to 94% with increasing cyanide loading from 1 mg/L to 110 mg/L. During the cyanide removal, influent COD concentrations has been decreased from 3000 mg/L to 1500, 500 and 250 mg/L, respectively. UASBR was not affected negatively by decreased COD concentrations at 1500 mg/L and 500 mg/L. Whereas, for the 250 mg/L COD concentration, effluent cyanide concentration in UASBR increased from 7-8 mg/L to 50 mg/L.

* Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir. Proje No : FBE.2001.D89

1. GİRİŞ

Siyanür, altın-gümüş ekstraksiyonu, elektrokaplama, sentetik fiber üretimi, kömür prosesi, organik kimyasallar ve diğer endüstriyelde kullanılmak üzere büyük miktarlarda üretilir (1). Bundan dolayı birçok endüstriyel atıksuda 0,01-10000 mg/L arasında değişen konsantrasyonlarda serbest siyanür ve kompleks siyanür türleri bulunur (2). İnsan ve sucul organizmalar için oldukça toksik olan siyanürün toksik özelliği genel olarak metallo-enzimlerin aktif bölgelerinde iki veya üç değerlikli metallerle siyanür komplekslerinin oluşumu, metabolik keto gruplar ile siyanohidrinlerin oluşumu gibi mekanizmalarla açıklanmaktadır (3). Siyanür içeren atıksular yüksek derecede toksik Özelliğinden dolayı dışarı edilmeden önce arıtılmak zorundadır.

Siyanür arıtımı ve detoksifikasiyonu için doğal parçalanma, hidrojen peroksit prosesi, sülfür dioksit prosesi, alkali klorinasyon prosesi, ozon oksidasyonu, biyolojik oksidasyon, ve biyosorpsiyon gibi birçok yöntem uygulanmaktadır (4). Doğal parçalanmanın taşkınlarla ve sızmalarla siyanürün yer altı ve yüzey sularına karışma riski, buharlaşmayla atmosfere toksik HCN'nin karışması ve parçalanma için uzun süre gerektirmesi gibi dezavantajları vardır. Kimyasal arıtma yöntemleri ise genellikle maliyeti yüksek proseslerdir (5). Bundan dolayı son yıllarda siyanürün biyolojik arıtımı geleneksel arıtma yöntemlerine uygun bir alternatif olarak görülmektedir. Biyolojik arıtma sistemleri temel olarak aerobik ve anaerobik olmak üzere ikiye ayrılır. Anaerobik mikroorganizmaların siyanüre hassasiyetinden dolayı siyanürün biyolojik arıtımıyla ilgili araştırmalar aerobik proseslere yoğunlaşarak, son 30 yılda siyanürlü atıkların biyolojik arıtımında gerek laboratuar ölçekte gerekse tam ölçekte aerobik sistemler ön plana çıkmıştır (6). 1 mg/L den daha az siyanür konsantrasyonunun anaerobik arıtmayı, özellikle metanojenleri, ciddi şekilde inhibe etmektedir (7). Bununla birlikte, Yang ve Speece (8); Fedorak ve Hrudey (9) ve Fallon (6), tarafından anaerobik bakterilerin siyanüre aklime olabildiği ve aklimasyondan sonra siyanürü parçalayabildiği ileri sürülmüştür (8,9,6).

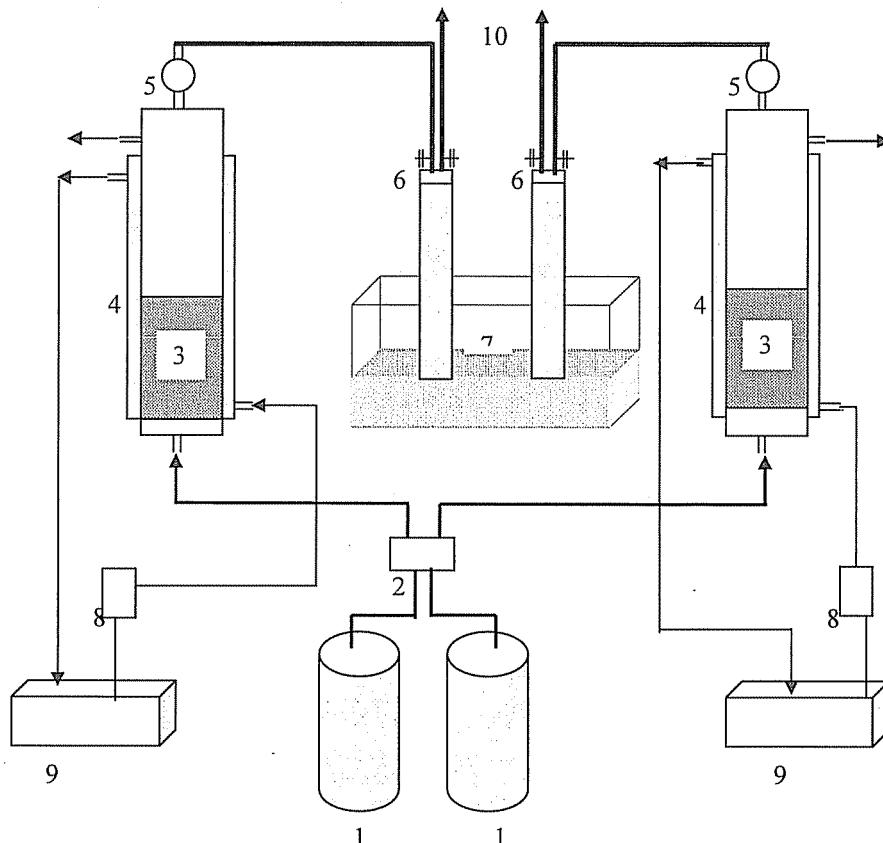
Anaerobik atıksu arıtımı evselden endüstriyele çok farklı özelliklerdeki atıksuların arıtımı için çok hızlı gelişen ve gelecek vaat eden bir teknoloji olarak tanımlanabilir. Birçok endüstriyel atıksu metalleri, siyanürler ve fenoller gibi anaerobik arıtmayı negatif olarak etkileyebilecek toksik bileşikleri içerebilir. Anaerobik arıtma sistemlerinde siyanürün davranışıyla ilgili literatür oldukça sınırlıdır (2). Araştırmaların çoğu siyanür toksisitesi ve anaerobik siyanür parçalanmasının mekanizmasıyla ilgilidir (10,6,8). Fedorak ve Hrudey (9), 25 gün bekletme süresi ile yarı sürekli işletilen metanojenik kültürün 5-30 mg/L arasındaki siyanür konsantrasyonlarını detoksifiye ettiğini bildirmiştirlerdir. Fallon ve ark (10), aktif karbonlu sabit yatak reaktöründe 100 mg/l gibi yüksek siyanür konsantrasyonuna adaptasyonu sağladığını bildirmiştir. Siller ve Winter (11), sürekli işletilen siyanüre adapte olmuş anaerobik reaktörlerde stabil KOİ ve siyanür giderimi için minimum bekletme süresinin 1,8 gün olması gerektiğini ileri sürenken, Gijzen ve ark. (2), Olga ve ark. (12), 0,5 günlük hidrolik bekletme süresinin yeterli olduğunu bildirmiştirlerdir.

Bu çalışmada 24 saat hidrolik bekletme süresinde işletilen yukarı akışı anaerobik çamur örtü reaktöründe siyanür adaptasyonu, siyanür giderme performansı ve siyanür giderimi sırasında ne kadar organik karbona gereksinim olduğu araştırılmıştır.

2. MATERİYAL VE METOD

2.1. Reaktörler

Çalışmada kullanılan iki adet yukarı akışlı anaerobik çamur örtü reaktörü (ÇÖR) pleksi glas malzemeden yapılmıştır. Reaktörlerden ÇÖR1 ve ÇÖR2 8 cm iç çap, 50 cm



- 1- Besleme Tankları
- 2- Peristaltik Pompa
- 3- Anaerobik Reaktörler
- 4- Su Ceketleri
- 5- Sıçrama Tutucular
- 6- Gaz Toplama Kolonları
- 7- 0,1 M Sülfürük Asit Tankı
- 8- Su Devridaim Pompaları
- 9- 35°C Termostatlı Su tankları
- 10- Gaz Çıkışları

Şekil 2.1. Anaerobik Çamur Örtü Reaktörlerin Akım Şeması.

yükseklik ve 2 L çalışma hacmine sahiptir. Reaktör içindeki sıcaklığı $35\pm2^{\circ}\text{C}$ de sabit tutabilmek için reaktörlerin dışına 40 cm yükseklikte su ceketleri yerleştirilmiştir. Bu ceketlerde su dolaşımı içinde termostatlı ısıtıcı bulunan 20 L lik bir tanktan devir-daim pompasıyla yapılmaktadır. Reaktör içinde akımın homojen olarak dağılması için reaktörlerin tabanından 5 cm yüksekliğe 0,2 cm çapta delikler açılmış birer pleksiglas plaka yerleştirilmiştir. Anaerobik parçalanma sırasında üretilen biyogazı toplamak ve ölçebilmek için asitlendirilmiş su ile yer değiştirme prensibine göre çalışan bir düzenek yapılmıştır. Bu düzenek iki reaktör için ayrı ayrı 45 cm yükseklikte ve 7,4 cm iç çapa sahip iki adet ölçeklendirilmiş pleksiglas kolon ve 40-35 cm pleksiglas tanktan oluşmaktadır. Reaktörlerin beslenmesi sırasında sabit debi sağlayabilmek için besleme peristaltik pompayla yapılmıştır. Reaktörlerin ürettiği biyogazın kolanlardaki asitlendirilmiş su ile yerdeğiştirebilmesi için arıtılmış suyun çıkış kısmı üzerine çıkış suyunu kullanarak basıncı yenebilecek yükseklikte su bariyerleri oluşturulmuştur. Bu bariyerlerde zamanla biyokütle birikmesi ve uygulanan hidrolik bekletme süresinin dışında gerek organik madde gerekse siyanür gideriminin devam edebileceği ihtimaline karşı hemen reaktör çıkışlarına numune alma yerleri yerleştirilmiştir. Reaktörlerin akım şemaları Şekil 2.1'de verilmiştir.

2.2. Anaerobik Aşı

Reaktörler Efes Pilsen Bira Fabrikasının anaerobik arıtma tesisinden alınan anaerobik çamurla aşılanmıştır. Çamur, bileşimi Çizelge 3.1 de verilen sentetik atıksu ile % 30 V/V oranında karıştırılarak reaktörlere doldurulmuştur. Sürekli beslemeye başladıkтан sonra iki gün boyunca çamur yıkanmasını önlemek ve akım rejiminin stabil hale gelmesi için çıkış suyu tekrar reaktörlere beslenmiştir. Reaktörler 24 saat hidrolik bekletme süresiyle işletilerek durgun faza ulaşması sağlanmıştır.

Çizelge 2.1. Sentetik atıksu bileşimi (13).

Bileşik	Konsantrasyon (mg/L)
Çözünür Nişasta	1000
Yeast-ekstraktı	100
Üre	150
K_2HPO_4	78
NaHCO_3	2000
$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$	215
CaCl_2	50
$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$	0,75
$\text{NiSO}_4 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$	0,5
$\text{MnCl}_2 \cdot 4 \text{ H}_2\text{O}$	0,5
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$	0,5
H_3BO_3	0,1
$\text{CoCl}_2 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$	0,05
$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}$	0,005
$\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{ MoO}_3 \cdot 24 \text{ H}_2\text{O}$	0,04
KOİ	1015

2.3. Analitik Yöntemler

Reaktörlerde üretilen biyogaz miktarı ölçeklendirilmiş kolonda asitlendirilmiş ($0,1\text{ M H}_2\text{SO}_4$) su ile yerdeğiştirme yöntemiyle ölçülmüştür. İki zaman aralığında toplanan gaz miktarı ölçümün yapıldığı andaki sıcaklık ve basınç değerleri standart şartlara çevrilerek günlük biyogaz miktarları hesaplanmıştır. Üretilen biyogazın bileşimi (%CH₄ ve %CO₂) Perkin Elmer gaz kromatografi cihazıyla ölçülmüştür. Gaz ölçümü sırasında FID (Flame Ionization Dedector) dedektörü 16 m cam kolon ve taşıyıcı gaz olarak 20 mL dak^{-1} helyum kullanılmıştır. Çözünmüş KOİ (Kımyasal Oksijen İhtiyacı) K₂Cr₂O₇-H₂SO₄ karışımı ile oksidasyon ve $0,025\text{N Fe (NH}_4\text{)}\text{SO}_4$ la titrasyon yöntemiyle ölçülmüştür. Amonyum, borat tamponuya pH 9,4 de H₃BO₃ içine distilasyon ve takiben $0,02\text{N H}_2\text{SO}_4$ ile titrasyonla ölçülmüştür. Alkalinitet metil oranj indikatörü eşliğinde, $0,02\text{N H}_2\text{SO}_4$ titrasyonuyla ve AKM (Askida Katı Madde) gravimetrik yöntemle ölçülmüştür. Siyanür ölçümü hem WTV marka İON 345i model iyon metreyle hem de hazır reaktif kullanarak MN 100D spektrofotometre yapılmıştır. Analizlerin tümü standart metodlara uygun olarak yapılmıştır Standard Methods (14).

2.4. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada biri kontrol reaktörü (ÇÖR2) olmak üzere iki adet yukarı akışı anaerobik çamur örtü kullanılmıştır. Deneysel çalışma genel olarak iki aşamada yapılmıştır. Çalışma reaktörün kararlı hale ulaşması, siyanür adaptasyonu ve siyanür parçalanması sırasında bakterilerin karbon ihtiyacının belirlenmesi aşamaları olarak gerçekleştirilmiştir. Adaptasyon aşamasında reaktöre (1, 5, 10, 20, 30, 50, 70, 90, 110 ve 130 mg/L) artan konsantrasyonlarda siyanür ilave edilerek her siyanür konsantrasyonu ilavesinde reaktörün inhibasyon durumu ve inhibasyondan iyileşme süreci araştırılmıştır. Çalışmada ayrıca tüm siyanür yüklemeleri sırasında reaktörlerin çıkış suyunda, amonyak, alkalinitet, askida katı madde, metan miktarı ve pH gibi parametreler takip edilmiştir. Ayrıca biyogazla birlikte siyanürün gaz formunda kaçıp kaçmadığını belirlemek için biyogazın toplandığı kolon içerisinde alınan gaz örneği, $0,1\text{N NaOH}$ içinden geçirilerek NaOH çözeltisinde siyanür ölçümü yapılmıştır.

3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Reaktörün Kararlı Hale Ulaşması

Bu çalışmada bira fabrikası atıksuyuna adapte olmuş yukarı akışı bir anaerobik çamur örtü reaktöründen alınan granül halindeki anaerobik çamur reaktörlerin aşılanmasında kullanılmıştır. Aşılamanadan sonra reaktörler, özellikleri Çizelge 3.1 de verilen sentetik atıksu ile beslenmiştir. ÇÖR aşılamayı takip eden ilk gün KOİ giderme verimi %30 civarında olmuştur ve %96 KOİ gideriminin gerçekleştiği kararlı hale ulaşması 20-25 gün arasında zaman almıştır. Metan verimi açısından bakıldığından, kararlı hale ulaştıktan sonra ÇÖR metan verimi $0,293\text{ L CH}_4/\text{g KOİ}$ olarak ölçülmüştür.

Anaerobik reaktörlerin kararlı hale ulaşması zaman gerektiren bir süreçtir. Anaerobik reaktörlerin arıtılacak atıksuya adapte olarak kararlı hale ulaşmaları, aşı olarak kullanılan çamurun özelliklerine, atıksuyun karakterizasyonuna ve uygulanan işletme prosedürüne bağlı olarak iki aydan altı aya kadar zaman alabilir (15). Lettinga (16) yaptığı çalışmada, şeker fabrikası ve patates işleyen bir tesisin atıksularının arıtımında anaerobik çamurun kararlı hale ulaşmasının 12 hafta sürdüğünü bildirilmiştir.

Başka bir çalışmada, aşı olarak kullanılan anaerobik çamurun granül formda olması halinde, kararlı hale ulaşma süresinin bir aydan daha kısa olabileceğini bildirilmiştir (15). Bu çalışmada aşılama için kullanılan çamurun granüler formda olmasının, reaktörlerin sentetik atıksuya adapte olarak kararlı hale ulaşma süresini kısalttığı düşünülmektedir. Paralel işletilen kontrol reaktörü, kararlı hal döneminde ölçülen bütün parametreler açısından herhangi bir sapma göstermemiştir.

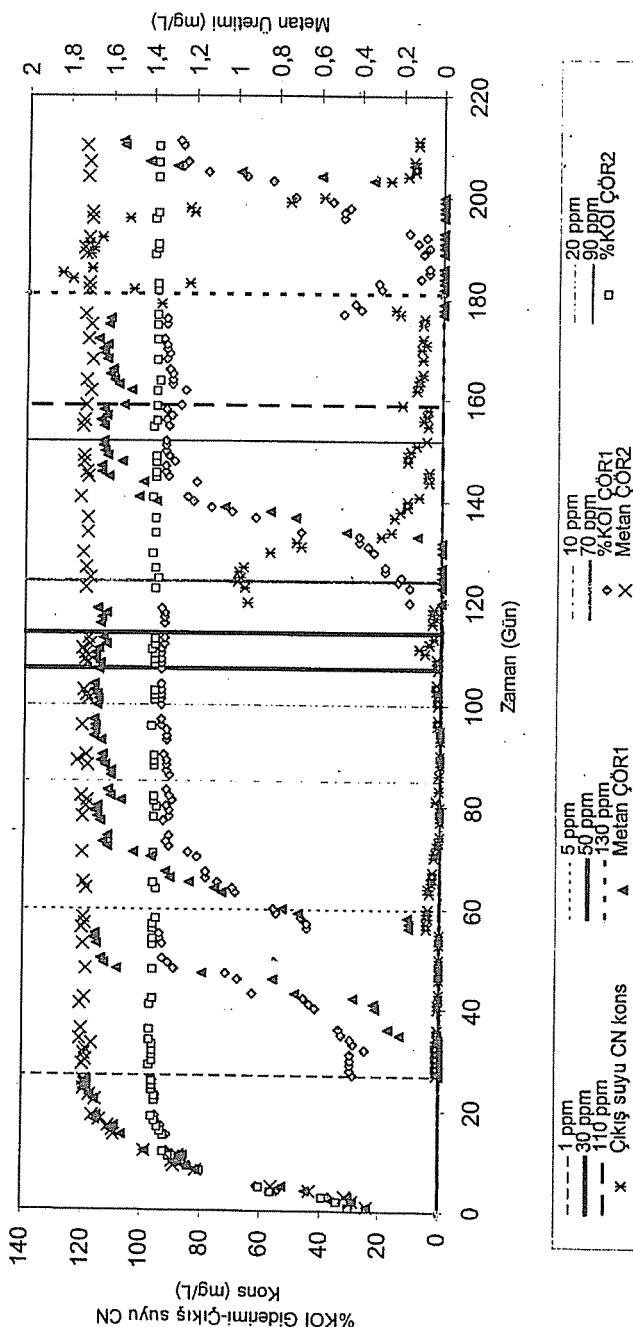
3.2. Anaerobik Reaktörde Siyanür Etkisi ve Uyum Süreci

Çalışmanın bu aşamasında ÇÖR nün siyanüre aklimasyon süreci ve siyanür giderme kapasitesi incelenmiştir. Bu amaçla reaktöre artan konsantrasyonlarda siyanür yüklemeleri yapılmıştır. Tüm siyanür yüklemeleri sırasında reaktörün inhibasyonu ve aklimasyonu Şekil.3.1'de verilmiştir. 1mg/L olan ilk siyanür yüklemesinde reaktörde çok ciddi inhibasyon meydana gelmiştir. KOİ giderimi %30 a, azalırken metan üretimi tamamen durmuştur. İnhibasyonun başlangıcından itibaren reaktörün iyileşmesi 25 gün zaman almıştır ve reaktör 11. gündə metan üretimine başlamıştır. İnhibasyondan sonra KOİ giderimi ve metan üretimi açısından tam olarak kontrol reaktörü seviyelerine ulaşışlamamıştır. Yang ve ark. (1980), anaerobik proseslere siyanür ilave edildiğinde 1 mg/L den daha düşük siyanür konsantrasyonlarının bile metanojenik aktiviteyi çok ciddi şekilde inhibe ettiğini bildirmişlerdir. Aynı zamanda bu araştırmacılarla göre, anaerobik bakteriler siyanüre adapte olabilir, ancak başlangıçta yüksek siyanür konsantrasyonu kullanıldığında adaptasyon süresi uzamaktadır. Olga ve ark. (12), yaptıkları çalışmada başlangıç siyanür konsantrasyonunu 0,5 mg/L ve konsantrasyon artışlarını 1, 3, 5 ve 10 mg/L olarak uyguladıkları da ilk inhibasyonun 20 mg/L de meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Siller ve Winter (17) anaerobik reaktörlerin siyanüre adaptasyonu için 5 mg/L gün başlangıç siyanür yüklemesinde inhibasyon olduğunu bildirmiştir. Gijzen ve ark. (2), siyanür toksisitesi ve anaerobik Çamur örtü reaktörlerinin siyanüre adaptasyonuyla ilgili yaptıkları çalışmada 5 mg/L başlangıç siyanür konsantrasyonda reaktörün inhibe olduğunu ve inhibasyon sırasında KOİ gideriminin %95 den %10 civarına, metan üretiminin de 11,5 L / gün den 3,3 L / güne azaldığını ve 3-4 hafta içinde reaktörlerin inhibasyondan kurtuluşunu bildirmiştir.

Bu çalışmada 1 mg /L başlangıç siyanür konsantrasyonunda meydana gelen inhibasyon, Olga ve ark. (12) çalışmasıyla, inhibasyonun meydana geldiği ilk siyanür konsantrasyonu açısından farklılık gösterirken, Siller ve Winter (17) ve Gijzen ve ark. (2)'nin çalışmalarıyla, ilk siyanür yüklemesinde inhibasyon meydana gelmesi bakımından benzerlik göstermektedir. Ayrıca inhibasyondan kurtulma süresi bakımından da (ortalama 25 gün) Gijzen ve arkadaşlarının çalışmasıyla örtüşmektedir. 1 mg/L siyanür yüklemesinde meydana gelen inhibasyon sırasında çıkış suyu siyanür konsantrasyonu giriş suyu değerlerine yaklaşmıştır. Ancak reaktörün inhibasyondan kurtulmaya başlamasıyla birlikte, iyileşme sürecine paralel çıkış suyu siyanür konsantrasyonu 0,1 mg/L'nin altına düşerek %99 oranında siyanür giderimi gerçekleşmiştir.

Anaerobik siyanür giderimi ve inhibasyon-aklimasyon süreci



Şekil 3.1. Anaerobik çamur örtü reaktörü siyanür inhibasyon-aklimasyon süreci

1 mg/L siyanür yüklemesinden sonra siyanür konsantrasyonu 5 mg/L'ye çıkarılmıştır. Bu konsantrasyonda da inhibasyon olmasına rağmen, hem KOİ giderimi açısından hem de metan üretimi açısından inhibasyon şiddeti daha az olmuştur. 5 mg/L siyanür ilavesinde KOİ giderimi %45 e gerilerken ilk inhibasyonda tamamen duran metan üretimi bu aşamada 0,15 L CH₄/gün olmuştur. Metan üretimi inhibasyonun ilk üç gününde oldukça düşük seviyede kalmasına rağmen 3. günden sonra hızla düzelerek yaklaşık 20 günlük bir süre içerisinde kontrol reaktörü seviyesine yaklaşmıştır. KOİ giderimi ve metan üretimi inhibasyonun başlamasından yaklaşık 20 gün sonra maksimum seviyeye ulaşmıştır. Bu aşamada inhibasyondan kurtulma süresinin ilk inhibasyona oranla daha kısa olduğu gözlenmiştir. 5 mg/L siyanür adaptasyonundan sonra reaktörün KOİ giderimi % 92-93 seviyelerinde gerçekleşmiştir. Aynı siyanür yükleme oranında, Gijzen ve ark. (2), %95, Siller ve Winter (17), % 90-95 KOİ giderimi bildirmişlerdir.

Bundan sonraki aşamada reaktöre 10, 20, 30 mg/L siyanür konsantrasyonları yüklenmiştir. Bu konsantrasyonlarda reaktörde herhangi bir inhibasyon olmamıştır. 10 mg/L siyanür yüklemesinde KOİ giderimi %91 e gerilemesine rağmen 20 mg/L siyanür konsantrasyonunda %94 e yükselmiştir. KOİ giderimindeki kısmi azalma ve sonraki artış ihmali edilebilir seviyedendir. 10, 20 ve 30 mg/L siyanür yüklemelerinde çıkış suyu siyanür konsantrasyonları 2 mg/L'nin üzerine çıkmamıştır.

50 mg/L siyanür yüklemesinde reaktör de herhangi bir inhibasyon meydana gelmediği halde 70 mg/l siyanür yüklemesinde metan üretiminin tamamen durmasına neden olacak ölçüde inhibasyon meydana gelmiştir. Bu inhibasyonda KOİ giderimi % 10 civarına düşmüştür. 1 mg/L siyanür yüklemesinde meydana gelen inhibasyondan hem daha ciddi olmuş ve hem de inhibasyondan kurtulma süresi daha uzun zaman almıştır. Bu aşamada inhibasyonun başlamasından 27 gün sonra 70 mg/L siyanüre adaptasyon gerçekleşmiş ve % 93 oranında KOİ giderimine ulaşmıştır. Gijzen ve ark. (2), yukarı aaklı anarobik çamur örtü reaktörünün siyanür aklimasyonunda siyanür konsantrasyonunu 100 mg/L den 125 mg/L ye artırdıklarında meydana gelen inhibasyonda 2 hafta süreyle herhangi bir iyileşme olmadığını ve siyanür konsantrasyonunu 60 mg/L ye düşürdükten sonra reaktörün 3 hafta sonra %80 civarında KOİ giderimine ulaştığını bildirmişlerdir.

Bu inhibasyon sürecinde siyanür giderimi de hemen hemen durmuştur. İhibasyonun 10. gününden itibaren tekrar azalmaya başlayan çıkış suyu siyanür konsantrasyonu KOİ giderimi ve metan üretiminin iyileşmesiyle aynı sürede düzelerek 5 mg/L nin altına inmiştir. Bu aşamaya kadar olan süreçte siyanür giderimi ile KOİ giderimi ve özellikle metan üretimi arasında sıkı bir ilişki olduğu gözlenmiştir. Fedorak ve Hrudey (9)'in bildirdiğine göre inhibasyondan sonra çıkış suyu siyanür konsantrasyonu 5 mg/L nin altına düşene kadar tekrar metan üretimi başlamamaktadır. Fallon ve ark (10), inhibasyondan sonra reaktör içinde 8-14 mg/L arasında Fedorak ve Hrudey (9)'e göre, daha yüksek siyanür konsantrasyonunda metanojenik aktivitenin başladığını bildirmişlerdir. Diğer yandan, Gijzen ve ark. (2), siyanür inhibasyona uğramış anaerobik çamurla yaptıkları metanojenik aktivite testleri sonucu, siyanür konsantrasyonu 30 mg/L'nin altına düşünce metan üretiminin tekrar başladığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada ise 70 mg/L'de meydana gelen inhibasyonda çıkış suyu siyanür konsantrasyonu 20 mg/L'ye düşüğünde metan üretimine başlamıştır. Bununla

birlikte, reaktörün metan üretimi açısından tam performansa ulaşması, siyanür konsantrasyonu 5 mg/L nin altına düşüktken sonra gerçekleşmiştir.

90 ve 110 mg/L siyanür yüklemelerinin başlangıcında KOİ gideriminde ve metan üretimin de %2-5 arasında kısa süreli (1-2 gün) bir azalma olmuştur. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi 90 ve 110 mg/L siyanür yüklemesinde, reaktörün KOİ giderimini, metan üretimi ve siyanür giderme performansı kısa süreli (3-5 gün) bir azalma göstermiştir. Litaratürde siyanüre adapte olmuş anaerobik reaktörlerin siyanür giderimleriyle ilgili bazı çelişkili sonuçlar verilmektedir. Siller ve Winter (17), sabit yataklı metanojenik reaktör de sentetik olarak hazırladıkları kasava nişastası atıksuyu ile birlikte, 50-70 mg/L.gün siyanür yüklemesinde % 90 KOİ giderimi ve 0,5 mg/L'den daha az çıkış suyu siyanür konsantrasyonu bildirmişlerdir. Siller ve Winter (11) yaptıkları diğer bir çalışmada hidrolyik bekletme süresine bağlı olarak siyanür gideriminin değiştiğini ve HRT' nin 2,8 gün den 0,5 güne düşürülmüşle siyanür gideriminin %98 den %72 ye azaldığını bildirmiştir. Diğer taraftan Gijzen ve ark. (2), 0,5 gün bekletme süresi ve 250 mg/L.gün siyanür yüklemesinde %91-93 arasında siyanür giderimi gerçekleştigini bildirmiştirlerdir.

130 mg/L siyanür konsantrasyonunda reaktör çok şiddetli inhibasyona uğramıştır. Bu inhibasyonda Şekil 2.1'de görüldüğü gibi KOİ giderimi %5'e kadar düşerken metan üretimi tamamen durmuştur. Ayrıca bu inhibasyon sırasında, 50 mg/L siyanür yüklemesinde başlayan çamur yükselmesi ve dolayısıyla çamur yakanmasından dolayı, bu fazda çıkış suyunda AKM konsantrasyonu 250 mg/L ye kadar yükselerek reaktörü olumsuz yönde etkilediği gözlenmiştir.

Cıktı suyunda siyanür konsantrasyonu da Şekil 3.1'de görüldüğü gibi inhibasyonun ikinci gününden itibaren yükselmiştir. Bu aşamadan sonra giriş suyunda siyanür konsantrasyonu 120 mg/L'ye düşürülmüş ve 1 hafta süreyle bu konsantrasyonda da iyileşme olmayınca giriş suyunda siyanür konsantrasyonu 110 mg/L'ye azaltılmıştır. Bu siyanür konsantrasyonunda da 11.güne kadar metan üretimi başlamamıştır. 11.günden sonra çıkış suyu siyanür konsantrasyonu 18 mg/L'ye azaldıktan sonra reaktör tekrar metan üretimine başlamıştır. Bu aşamada dikkat çekici nokta çıkış suyunda siyanür konsantrasyonu 18 mg/L ye düşüğünde metan üretimi başlamıştır. Halbuki, Fedorak ve Hrudey (9) reaktör içinde siyanür konsantrasyonu 5 mg/L'nin altına düşmeden metanojenik aktivitenin başladığını, Fallon ve ark. (6), ise metanojenik aktivitenin tekrar başlaması için reaktör içinde ki siyanür konsantrasyonunu 8-14 mg/L arasında olması gerektiğini bildirmiştirlerdir. Ayrıca siyanürün anaerobik parçalanması sırasında uygulanan bekletme süreleri açısından farklılıklarda dikkat çekmektedir. İlk yapılan çalışmalarla, siyanür giderimi için çok yüksek bekletme süreleri önerilmiştir. Örneğin, Federok ve Hrudey (9), yarı sürekli işletilen anaerobik kültürün 5-30 mg/L arasında siyanür detoksifikasiyonu için 25.günlük HRT gerektiğini ileri sürerken, Fallon ve ark. (10), yatak malzemesi olarak aktif karbon kullanılan, sabit yataklı anaerobik reaktörde 41 saat hidrolyik bekletme süresi uygulayarak 100 mg/L gibi yüksek konsantrasyonunun detoksifiye edildiğini bildirmiştir. Hatta yakın zamanda yapılan çalışmalarla da birbiriyile çelişen noktalar bulunmaktadır. Siller ve Winter (11,17) sürekli akımlı anaerobik reaktörlerde, siyanür parçalanması için 1,8 günden daha düşük bekletme süresinin yetersiz olduğunu ileri sürerken, Gijzen ve ark. (2) ; Olga ve ark. (12) 0,5 günlük bekletme süresinde işletilen sürekli akımlı anaerobik reaktör için %91-

93 siyanür giderimi bildirmişlerdir. Bu çalışmada 24 saatlik bekletme süresi uygulanmıştır ve en yüksek siyanür yüklemesi olan 110 mg/L de%94 siyanür giderimi gerçekleşmiştir. Çıkış suyunda 7-8 mg/L siyanür bulunmasından dolayı reaktörün çıkış suyu deşarj uygun değildir. Siyanür içeren atıksuların deşarj edilebilmesi için 0,5 mg/L den az siyanür içermesi gerekmektedir. Daha uzun bekletme süreleri uygulanarak belki deşarj kriteri sağlanabilir. Ancak anaerobik siyanür parçalanmasının son ürünlerinden biri amonyumdur ve siyanür giderimi arttıkça çıkış suyunda amonyum konsantrasyonu artmaktadır Fallon (6). Bu nedenle anaerobik siyanür arıtımından sonra amonyum giderimi için nitrifikasiyon denitrifikasiyon prosesi gerekecektir. Bundan dolayı, anaerobik arıtmadan sonra 5-10 mg/L kalıntı siyanürün, nitrifikasiyon ünitesinde arıtılması anaerobik arıtmadada bekletme süresinin 3-4 kat artırılmasından daha iyi bir alternatif olabilir.

3.3. Anaerobik Siyanür Gideriminde Organik Karbon Gereksinimi

Siyanürün aerobik ve anaerobik biyolojik arıtımında mikroorganizmalar tek azot kaynağı olarak siyanürü kullanabilmelerine rağmen tek karbon kaynağı olarak siyanürü kullanamamaktadır (18,6,19,20,3). Siyanürün anaerobik parçalanması sırasında çamurun adaptasyonundan sonra siyanürün muhtemel inhibasyon etkisine karşı mikroorganizmaların yeterli derecede aktif olabilmesi ve herhangi bir siyanür inhibasyonuyla başa çıkabilmesi için atıksuya karbon ilavesi gereklidir (11). Ancak yapılan literatür çalışmalarında anaerobik sistemlerde, siyanür arıtımı sırasında karbon ihtiyacının miktarıyla ilgili mevcut bilgiye ulaşlamamıştır. Konuya ilgili yapılan çalışmalar daha çok siyanür toksisitesi ve anaerobik siyanür parçalanmasının mekanizmasına yoğunlaşmıştır (6,17,11,12,2).

Kasava bitkisi dünya nişasta üretiminde önemli kaynaklardan biridir. Kasava nişastası proses suları 15000-20000 mg/L yüksek KOİ içeriğinin yanı sıra 150-200 mg/L siyanür içermektedir (2,11). Bundan dolayı çalışmaların bir kısmı da siyanürün olumsuz etkilerini azaltarak kasava nişastası atıksularının anaerobik sistemlerde optimum arıtımına yoğunlaşmıştır.

Bu çalışmada reaktörün 3000 mg/L sabit KOİ konsantrasyonunda, 1 mg/L den 130 mg/L ye artan konsantrasyonlarda siyanüre aklimasyonu sağlandıktan sonra KOİ konsantrasyonu 1500, 500 ve 250 mg/L ye düşürülerek KOİ miktarının, reaktörün performansı üzerine etkisi araştırılmıştır. KOİ konsantrasyonunun 1500 ve 500 mg/L ye azaltılması reaktörü olumsuz yönde etkilenmemiştir. 250 mg/L KOİ konsantrasyonunda, reaktör içinde siyanür konsantrasyonu yükselmeye başlamıştır ve siyanür konsantrasyonu 30 mg/L ye yükseldiğinde metan üretmi tamamen durmuştur. Buna paralel olarak KOİ giderimi 10 gün sonra % 54 e düşmüştür.

4. SONUÇ

Yukarı akışlı anaerobik çamur örtü reaktörü 110 mg/L siyanür konsantrasyonuna adapte olmuştur. Adaptasyon sürecinde, 1, 70 ve 130 mg/l siyanür konsantrasyonunda metan üretiminin tamamen durmasına neden olacak şiddette inhibasyon meydana gelmiştir.

Siyanür adaptasyonu gerçekleştikten sonra reaktörde %92-93 KOİ giderimi ve %94-99 oranında siyanür giderimi sağlanmıştır ve reaktör içinde siyanür konsantrasyonu 20 mg/L nin altına düştükten sonra metan üretimi tekrar başlamıştır.

Siyanür giderimi sırasında reaktör içindeki anaerobik mikroorganizmaların, aktifliğini devam ettirebilmesi ve olası siyanür inhibasyonuyla başa çıkabilmesi için 250 mg/L nin üzerinde KOİ ye eşdeğer organik maddeye ihtiyaç göstermiştir.

Endüstriyel atıksuların miktarı ve bileşimi üretim proseslerindeki değişime bağlı olarak farklılık gösterir. Bundan dolayı siyanüre adapte olmuş anaerobik reaktörlerin, bu değişimlerden nasıl etkilendiğinin incelenmesi araştırmaya değer bir konu olarak düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Dursun,A.Y. and Aksu,Z., "Degradation of Ferrous (II) Cyanide Complex Ions By Pseudomonas Fluorescens" *Process Biochemistry*, 34: 901-908, 1999.
2. Gijzen,H.J., Bernal,E. and Ferrer,H., "Cyanide Toxicity and Cyanide Degradation in Anaerobic Wastewater Treatment" *Wat.Res.* 34(9):2447-2457, 2000.
3. Patil,Y.B. and Paknikar,K.M., "Development of a Process For Biodegradation of Metal Cyanides from Wastewaters" *Process Biochemistry*, 35:1139-11, 2000.
4. Dursun,A.Y. and Aksu,Z., "Biodegradation Kinetics of Ferrous(II) Cyanide Complex Ions By Immobilized Pseudomonas Fluorescens in a Packed Bed Column Reactor" *Process Biochemistry*, 35:615-622, 2000.
5. Patil,Y.B. and Paknikar,K.M., "Removal and Recovery of Metal Cyanides Using a Combination of Biosorption and Biodegradation" *Processes.Biotechnology Letters*, 21:913-919, 1999.
6. Fallon,R.D., "Evidence of a Hydrolytic Route for Anaerobic Cyanide Degradation" *Applied and Environmental Microbiology*, 58(9): 3163-3164, 1992.
7. Yang,J., Speece.R.E., Parkin.G.F., Gossett.J. and Kocher.W., "The Response of Methane Fermentation to Cyanide and Chloroform" *Prog.Wat.Tech.* 12:977-989, 1980.
8. Yang,J. and Speece.R.E., "The Effects of Chloroform Toxicity on Methane Fermentation" *Wat.Res.* 20:1273-1279, 1986.
9. Fedorak,P.M. and Hrudey,S.E., "Cyanide Transformation in Anaerobic Phenol-Degrading Methanogenic Cultures" *Wat.Sci.Tech.* 21:67-76, 1989.
10. Fallon,R.D., Cooper,D.A., Speece,R. and Henson,M., "Anaerobic Biodegradation of Cyanide under Methanogenic Conditions" *Applied Environ Microbiol.* 57:1656-1662, 1991.
11. Siller,H. and Winter,J., "Degradation of Cyanide in Agroindustrial or Industrial Wastewater in an Acidification Reactor or in a Single-Step Methane Reactor by Bacteria Enriched from Soil and Peels of Cassava. Appl" *Microbiol Biotechnol*, 50:384-389, 1998.
12. Olga,R.C., Alazard,D., Aponte,L.R. and Hidrobo,R.L.F., "Influence of Flow Regime on The Concentration of Cyanide Producing Anaerobic Process Inhibition" *Wat.Sci.Tech.* 40(8):177-185, 1999.
13. Ahn,J.H. and Forster,C.F., "A Comparison of Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Upflow Filters" *Bioresource Technology*, 73:210-205, 2000.

14. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition" Apha-Awwa-Wef, Washington D.C, 1998.
15. Lin,K.C. and Yung,Z., "Technical Review on The UASB Process" Intern.J.Enviromental Studies, 39:203-222, 1991.
16. Lettinga,G., "Use off Upflow Sludge Blannket (USB) Reactorconcept for Biologycal Wastewatertreatment, Especially for Anaerobik Treatment" Biothecnol Bioeng. 22: 69, 1980.
17. Siler,H. and Winter.J., "Treatment of Cyanide-Containing Wastewater from The Food Industry in a Laboratory-Scale Fixed-Bed Methanogenic Reactor" Appl.Microbiol Biotechnol. 49:215-220, 1997.
18. Kunz,A.D., Nagappan,O., Avalos,S.J. and Delong,T.G., "Utilization of Cyanide As a Nitrogenous Substrate By Pseudomonas Fluorescences Ncimb 11764:Evidence For Multiple Pathways of Metabolic Conversion" Applied and Environmental Microbiology, 58(6):2022-2029, 1992.
19. Dumestre,A., Chone,T., Portal,J.M., Gerard,M. and Bertehelin,J., "Cyanide Degradation under Alkaline Conditions By a Strain of Fusarium Solani Isolated from Contaminated Soils" Applied and Environmental Microbiology, 63(7):2729-2734, 1997.
20. Adjei,M.D. and Ohta,Y., "Isolation and Characterization of a Cyanide-Utilizing Burkholderia Cepacia Strain" World Journal of Microbiology and Biotechnology, 15:699-704, 1999.

DERİN DENİZ DEŞARJINDA KİRLİLİK DAĞILIMININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ İNCELENMESİ

Zeyrek Alper KOCAMİŞ ve Galip SEÇKİN
Ç.Ü., Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

ÖZET : Bu çalışmada, U.S. EPA (*Environmental Protection Agency*) tarafından geliştirilmiş olan *Visual Plumes* (VP) paket programı şu anda faaliyette olan Kadıköy Derin Deniz Deşarj Sistemine uygulanarak, seyrelme, konsantrasyon ve dağılım bulutu analizleri yapılmıştır. Proje verileri ile *Visual Plumes* (VP) kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. *Visual Plumes* kullanılarak elde edilen sonuçlar, Kadıköy Derin Deniz Deşarj Sisteminin doğru projelendirildiğini ve seyrelme kriterlerini sağladığını doğrulamıştır. Çalışmada ayrıca, mevcut tesisin dizayn kriterleri değişik senaryolar için analiz edilmiştir.

INVESTIGATION OF POLLUTION DISPERSION OF DEEP SEA DISCHARGE BY SUPPORTED WITH COMPUTER MODELING

ABSTRACT : In this study, *Visual Plumes* package modeling programme (VP) which has been developed by U.S. EPA (*Environmental Protection Agency*) is applied to Kadıköy Deep Sea Discharge System that is processing currently for analysing of dilution, concentration and plumes. Project data and *Visual Plumes* output results are compared. *Visual Plumes* model prediction results confirmed that the Kadıköy Deep Sea Discharge System was projected as correctly and it supplies criteria of dilution. In addition to this, design criteria of current facility is analyzed for alternative scenarios.

1. GİRİŞ

Deniz ve iç sularımız yanlış yapışma, endüstriyel, evsel, komşu ülke akarsuların taşındıkları atıklarla ve yaşanan kazalarla sürekli kirlenmektedir. Günümüzde şehirleşme, sanayileşme ve deniz taşımacılığının hızla artması nedeni ile deniz kirliliği boyutları zaman zaman denizlerimizin taşıyamayacağı sınırlara ulaşmaktadır ve denizlerin kirlenmesi %90 oranında kara kökenli kirlenmelerden oluşmaktadır. Şehirlerden kaynaklı evsel atıksuların arıtmadan veya arıtma işlemine tabi tutulduktan sonra deniz yada nehir ekosistemine deşarjı sonucunda su kaynaklarında kirliliğe neden olmaktadır (1). Bu kirlilik alıcı su ortamının yapısını olumsuz yönde değiştirmektedir. Bu değişimin önüne geçilmek amacıyla geliştirilen derin deniz deşarjı çalışmaları gün geçikçe önem kazanmaktadır. Derin deniz deşarjı için bir takım kurumların geliştirmiş olduğu su kalitesi modelleri kullanılmaktadır. Bu modeller deşarj edilen atıksuyun alıcı ortamda seyrelmesini, konsansantasyonunu ve alıcı ortamın arıtılabilirlik çalışmalarını içermektedir.

Deniz deşarj sistemlerinde, doğal çevreye doğrudan atık, dolayısıyla kirletici, verdiginden dolayı, kurulması planlanan sistemlerin yer seçiminde son derece titiz davranılması ve alıcı ortamın ekolojik sağlığının azami derecede korunması temel esastır (2). Bu nedenle, sistemin dizaynı öncesinde

- Deniz deşarj sistemi alternatiflerin, mevcut ve gelecekteki muhtemel atık su toplama ve arıtma sistemleri ile ne şekilde çalışacak?
- Kaç adet deşarj sistemi olmalı?
- Deşarj bölgedeki körfez, deltaya mı yoksa derin denize mi yapılmalı?
- Kıyıdan ne kadar uzakta ve derinde deşarj yapılmalı?
- Difüzör gerekli mi? Gerekli ise, nerede ve ne ölçüde olmalı?

• Dağılım bulutu yüzey altında mı kalacak? Eğer yüzey altında olacaksa, bu iyi mi, kötü mü? sorularına cevap verilmelidir. Bu sorularдан alınan cevaplarla, dizayn aşaması yönlenecek ve optimum planlama yapılabilecektir. Bu durumlar göz önüne alınarak; Kadıköy'den denize verilecek olan atık suyun çalışmaları ve modellemeleri yapılmış ve atıksuyun bir ön arıtma tesisinden geçtikten sonra derin deniz deşarjıyla arıtım yapılmasına karar verilmiştir. Tesis ileride kurulabilecek biyolojik arıtma için yer bırakılarak tamamlanmıştır.

Deşarj edilecek atıksu, deşarj hattı üzerindeki tek noktadan (single-port) veya birkaç noktadan (multi-port) difüzörlerle yapılır. Difüzörlerden çıkan atıksu 3 farklı şekilde kaynaktan uzaklaşarak seyrelmeye uğrar. Bunlar; Atık su huzmesinin difüzör deliği ile atık su tarlasının teşekkül ettiği seviye arasındaki hareketi esnasında uğradığı birinci seyrelme, İlk seyrelme sonrasında atık hacminin çevre akıntılarla beraber hareket etmeye başladığı ikinci seyrelme ve Atık seyrelmesinde üçüncü ve son önemli faktör ise, kirleticinin doğası gereği çürümesi, yok olması sonucu uğradığı üçüncü seyrelmedir. Mikroorganizma çürümesi durumunda bu yok olma, bakterilerin ölümü, floklaşma ve çökelmesi sonucu meydana gelmektedir (3).

Deniz deşarjında kullanılan matematiksel modeller arasında en popüler ve sık kullanılanlar; VISUAL PLUMES ve CORMIX modelleridir. Bu iki modelinde yine birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları vardır (4).

Visual Plumes; sıcaklık oranlarına göre yüzey suyu jetleri ve dağılım bulutları, derinlik, yüzen deşarjlar ve su ortamındaki hız şartları v.b. kriterler için analiz

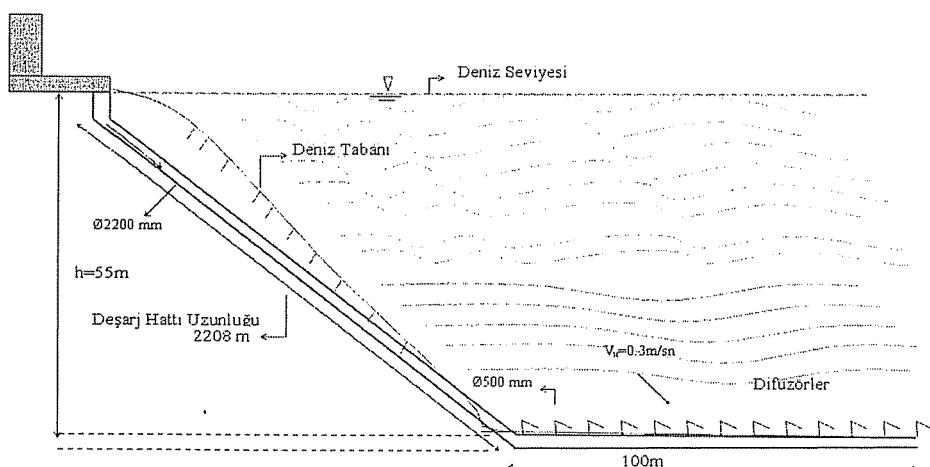
yapabilmektedir. VP modelleme programı en çok okyanus, deniz ve tatlı su deşarj uygulamaları için idealdir. Tek bir borudan deşarj dizayının potansiyel özelliklerinin belirlenmesinde, analizlerinin oluşturulmasında ve çeşitli difüzör konfigürasyonlarının belirlenmesinde kolaylıkla uygulanmaktadır. VP, model sonuçlarının tutarlığını diğer metotların sonuçlarını da kendi içinde gösteren kendine has bir metotla çalışır ve beş ana alt modelden oluşmaktadır. Bunlar ; uygulanabilir 3 boyutlu Lagrangian sürüklendirme modeli olan UM3 modeli, akış oluşumu bölgelerinde, komşu dağılım bulutları karmaşma bölgelerinin derecelendirilmesinde daha detaylı hesap değerlerini veren DKHW modeli, yüzey deşarjlarını hesaplayan PDSW modeli, Atık tarlasının sonunda, plume karakteristiğinin model çıktıları; seyrelme, yükseklik artışı ve atık tarlasının kalınlığı temeline dayanan, yakın ve uzak tarla karışım bölgesi tahminleri yapan RSB modeli ve Visual Plumes'un ilk versiyonu olan DOS Plumes modelidir (4-7).

Kadıköy Ön Aritma (Izgara + Havalandırmalı Kum Tutucu) ve Derin Deniz Deşarjı Sistemi şu anda faaliyet halindedir. Kadıköy Derin Deniz Deşarjı Sisteminin seyrelme, konsantrasyon ve dağılım bulutu analizleri, Danimarka Hidrolik Enstitüsü tarafından geliştirilen System3 isimli bir modelleme programı kullanılarak yapılmıştır (8). Bu çalışmada, Visual Plumes paket programı kullanılarak aynı analizler yapılmakta ve SYSTEM 3 ile yapılan analizlerle karşılaştırılmaktadır. Daha önce benzer çalışmalar, Roberts ve William, Erkabay, Goblick, Roberts ve Tian, tarafından da farklı bölgeler için yapılmıştır (9-12).

2. KADIKÖY DERİN DENİZ DEŞARJı SİSTEMİ PROJE VERİLERİNİN TEMİNİ

Deşarj ve ortam verileri İstanbul Büyükşehir Belediyesinin İSKİ'ye yaptırılmış olduğu projeden ve Kadıköy Atıksu Ön Aritma ve Deniz Deşarjı Tesisinin işletmesini yapan Kuzu İnşaat firmasından elde edilmiştir (8). Kadıköy atıksu ön arıtma tesisi ve deniz deşarjı sistemi 2003 yılında işletmeye alınmıştır. Kuzey yönünde İstanbul Boğazı'nın alt tabakasına verilen Kadıköy deniz deşarjı atıksuları buradan Karadeniz'in anoksik alt sularına karışmaktadır ve seyrelmektedir. Şekil 1'de görüldüğü gibi Kadıköy deniz deşarjı sistemi 100 m difüzör boru boyu dahil toplam 2308 m uzunluğundadır. Toplam 13 adet port deniz yüzeyine paralel olan 100 m lik difüzör kolu üzerinde 8.33'er m aralıklarla döşenmiştir. Portlar "L" şeklinde olup yükseklikleri 1 m ve çıkış ağırları 500 mm'dir. Kum tutucu ve havalandırıcı sisteminden çıkan atıksu bu sistem içerisinde arıtılmaktadır. Tesisin uzaydan çekilmiş üç boyutlu resmi Şekil 2'deki gibidir.

Terfi Merkezi



Şekil 1. Kadıköy Derin Deşarj Sisteminin Şematik Görünümü



Şekil 2. Kadıköy Ön Arıtma Tesisleri ve Derin Deşarj Sisteminin Uzaydan Çekilmiş Üç Boyutlu Görünümü

3. VISUAL PLUMES PAKET PROGRAMININ KADIKÖY DERİN DENİZ DEŞARJİ SİSTEMİNDE UYGULANMASI

Bu çalışmada, İSKİ'den elde edilen Kadıköy Ön Arıtma ve Derin Deniz Deşarjı Sistemi proje verileri ve şu anda faaliyette olan tesisin ölçüm ve rapor verileri, Visual Plumes (VP) paket modelleme programı içerisinde kullanılmıştır. Mevcut proje dosyası

yapım aşamasındayken kullanılan System3 modelleme programı, dizayn edilecek tesisin port çapını 300 mm ve port sayısını 34 adet olarak almıştır. Şu andaki faal tesisin port çapı: 500 mm ve port sayısı: 13 adettir. Modellemede kullanılan, 2010 yılına ait olarak girilen ortalama debi 7.197 l/s'dir. Visual Plumes modelleme programıyla derin deniz deşarjı modelleme çalışmasında BOİ5 konsantrasyonu, 2003 yılından itibaren işletmede olan Kadıköy arıtma tesisindeki yapılan aylık atıksu analizleri ölçüm raporlarının ortalaması alınarak 220 mg/l olarak hesaplanmıştır. Modelleme yapıılırken 2005 ve 2006 yılı son dönem atıksu ölçüm raporlarına dayanarak Yaz ve Kış olarak iki ayrı konsantrasyon senaryosu incelenmiştir. Yaz ayları konsantrasyon ortalaması raporda 250 mg/l olurken, kış ayları için 200 mg/l olarak hesaplanmıştır. Bu bilgiler ışığında; port sayısı, çapı için 2 senaryo, yaz ve kış dönenlerinin verileri farklı olacağından 2 senaryo çalışılmış ve bu toplam 4 ayrı senaryonun tüm girdileri UM3 modelinde hesaplatılmıştır. Bu bilgiler, Vplumes programının difüzör ve ortam verileri tabına Çizelge 1'deki gibi girilmiştir.

Çizelge 1. Modele Girilen Difüzör ve Ortam Verileri

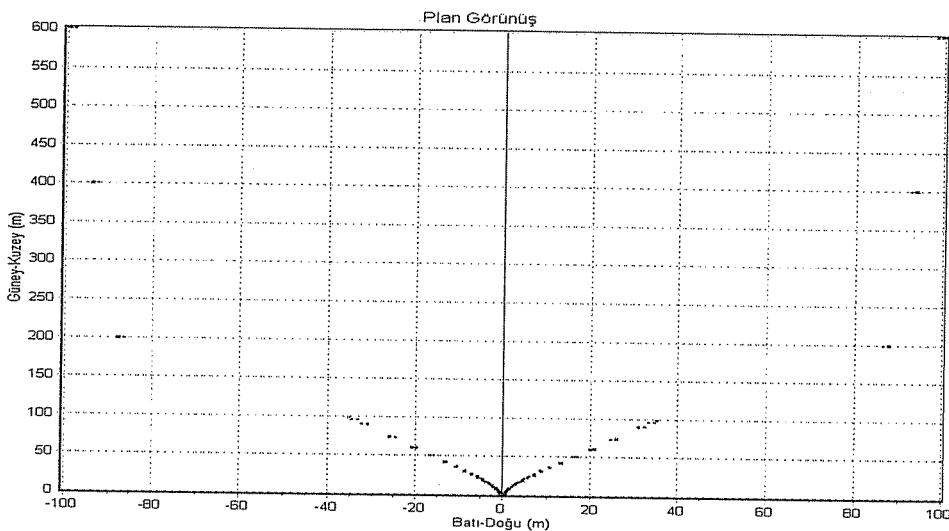
Difüzör Verileri		Ortam Verileri	
Port çapı	0.5 ve 0.3 m	Portla yüzey arası mesafe	54 m
Port yüksekliği	1 m	Akım hızı	0.3 m/s
Dikey açı	0°	Akım yönü	90°
Yatay açı	90°	Deniz tuzluluğu	33.9698 psu
Port sayısı	13 ve 34	Deniz sıcaklığı	20 -18.5 C°
Portlar arası mesafe	8.33 ve 3 m	Geri (iz) kirlenme	0 ppm
Akut karışım bölgesi	50 m	Kirleticinin çürümeye hızı	2 ve 2.5 saat (T90hr)
Kronik karışım bölgesi	500 m	Uzak tarla difüzyon katsayısı	0.0003-0.67m/s ²
Port derinliği	54 m	Brooks uzakalan hesaplamaları için	
Atıksu debisi	7.197 l/sn	Uzak tarla akım hızı	0.3 m/s
Atıksu tuzluluğu	1.5492 psu	Uzak tarla akım yönü	90°
Atıksu sıcaklığı	18-16.5 C°		
Atıksu konsantrasyonu	250 - 200mg/l		

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

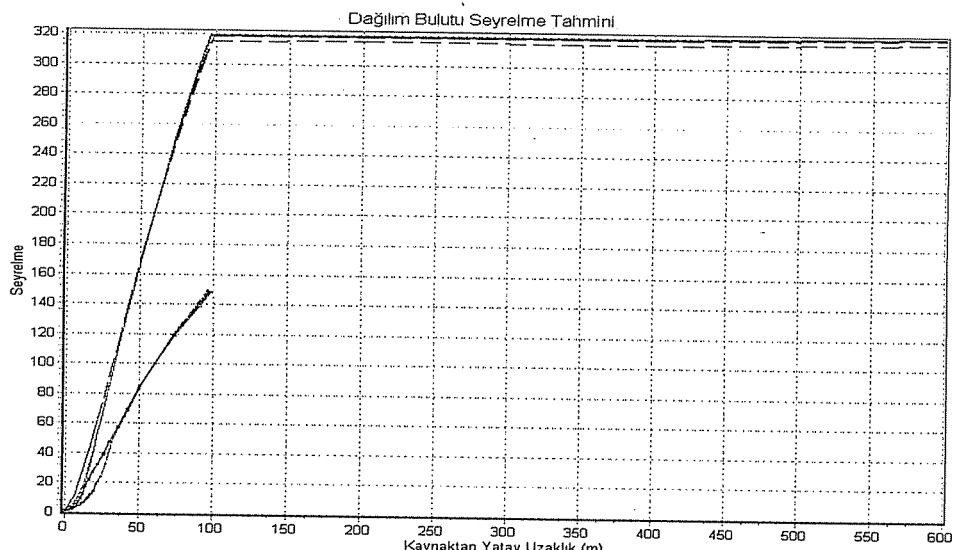
VP programı içerisinde yer alan 5 ayrı alt modelden en uygun olan UM3 ve DKHW modellerinin simülasyonları yapılmıştır. Diğer 3 model daha çok yüzey deşarjları, nehir ve kapalı havza deşarjları v.b. simülasyonlarda etkin oldukları ve kullanıldıkları için dikkate alınmamıştır.

Bu veriler girildikten sonra UM3 modeli bütün senaryoları birlikte görebilmek amacıyla 4 senaryo için çalıştırılmıştır. Senaryo 1 ve 2 mevcut tesis değerlerini, Senaryo 3 ve 4 ise projedeki verileri temsil etmektedir. Yazım çıktı tabında hesaplanan değerlerin grafiklere dökülgümüzde; Karadeniz'e doğru Kuzey yönde akışı olan atıksuların, kaynaktan çıktıktan sonrası x ve y pozisyonlarında oluşturdukları dağılım

bulutunun uzak alan plan görünüsü Şekil 3, Uzak alan dağılım bulutu seyrelme grafiğide Şekil 4'deki gibidir.



Şekil 3. Dağılım Bulutunun İki Boyutlu Yakın Alan Plan Görünüş Grafiği



Şekil 4. Kaynaktan Uzaklaştıkça Uzak Alan Dağılım Bulutu Seyrelme Tahmini Grafiği.

Şekil 3'de, Brooks uzak alan yöntermine dayanan iki boyutlu dağılım bulutunun plan görünüsü verilmektedir. 100 m lik Kuzey yönünde atıksu maksimum yüzey seviyesine

geldiği için bu noktadan sonra 600 m boyunca dağılım bulutu model tarafından hesaplanmış ve maksimum ulaşılacak atıksu tarası Batı ve Doğu yönünde toplam 166 m olarak tahmin edilmiştir. 4 ayrı senaryo için plan görünüşleri nerdeyse birbirleriyle aynı konumdadır. Şekil 4 atıksu kaynaktan yatay yönde (y pozisyonu boyunca) uzaklaştıkça meydana gelen seyrelme ve merkez hattı seyrelmelerini ifade etmektedir. Yaklaşık 100 m sonra maksimum seyrelme 320 civarlarındadır. 100m'den 600m'ye gelindiğinde seyrelme 322 seviyesine gelmiş ve bu noktalarda sabit kalmıştır. Bu değerdenki seyrelme Su Kirliliği Kontrolu Yönetmeliği'ndeki (SKKYT) derin deniz deşarjları standartlarına uygun bir seyrelmedir.

4.1. UM3 Modeli ile Farklı Port Sayısı ve Port Çapı Girildiğinde Oluşturulan Senaryoların Değerlendirilmesi

Şu anda faaliyette olan tesisin, derin deniz deşarjı sisteminde bulunan deşarj hattının sonunda yer alan, 100 m'lik difüzör borusu üzerindeki port sayıları ve portların çapları değiştirilerek alternatif senaryolar çalışılmıştır. Senaryo 2, 5, 10 ve 20 port üzerine kurulmuştur. 10 portlu, Ø 500 mm çaplı senaryoda bulunan değerler, 13 portlu dizayn edilmiş mevcut tesis model tahmin sonuçlarıyla yaklaşık % 80 örtüyü gözlemlenmiştir. Bu senaryo ile mevcut faal tesise göre seyrelmesi daha az, ancak konsantrasyon ve akış hızı yönünden sonuçlar örtüşmektedir. VP modelleme programından elde edilen bu tahminlere göre tesis dizayn edilseydi, daha ekonomik ve işletme kolaylığı bakımından daha uygun olabilirdi. Ancak ilerideki yıllarda ortam ve çevre şartları değişiklikleri ve pik debide gelebilecek atıksu miktarı v.b. senaryolar göz önüne alındığında şu anda işletmede olan tesisin dizaynı daha uygun bulunmuştur.

4.2. UM3 Modeli ile Ters Akıntı Durumunda Oluşturulan Senaryonun Değerlendirilmesi

İstanbul Boğazı deniz alt tabakası her zaman kuzey yönüne doğru hareket ederek Karadeniz sularına karışırken zaman zaman üst tabaka akıntıları güneye doğru Marmara Denizi'ne doğru akabilmektedir. UM3 modelinde yüzey akıntı yönü Marmara Denizi (Güney) yönüne doğru seçildiğinde, Visual Plumes ilk karışım bölgesinin 9 m sonra olduğunu hesaplamıştır. Daha sonra, atıksu bulutunun akıntıya ters yönde -27 m ilerlediği ve yanal olarak ta yaklaşık 60 m genişleyerek yüzeye ulaştığı hesaplanmıştır. Marmara Denizi'ne doğru -27 m mesafede seyrelme yaklaşık 170 seviyelerine gelmiş ve konsantrasyon yaklaşık 1.36 mg/l'ye kadar düşmüştür. Bu veriler ışığında, Visual Plumes, yaz aylarında yüklü miktarlarda gelebilecek atıksuyun bir kısmının Marmara Denizi'ne üst akımla ulaştığını tahmin etmiştir.

4.3. DKHW Modeli ile UM3 Modelinin Karşılaştırılması

DKHW modeli UM3 modeline göre daha fazla adım çalıştırılmış, maksimum ve merkez hattı seyrelmeleri değerlerini birbirine daha yakın bulmuştur. DKHW atıksu dağılım bulutunun kaynaktan (portlardan) yaklaşık 24 m sonra karışmaya başladığını hesaplamıştır. Kaynaktan yaklaşık 160 m sonra ise maksimum seyrelmeyi 306 olarak hesaplamıştır. Bu da DKHW ve UM3 modellerinin yaklaşık aynı seyrelme değerini hesapladığı göstermektedir. Ancak maksimum seyrelmenin olduğu mesafeyi ve ilk karışım bölgesi mesafesini farklı hesaplamıştır. DKHW atıksu tarası boyutlarını

162x160x20 m ve seyrelmeyi 306 seviyesinden sonra sınırlandırmamış ve hesaplamamıştır. Bu sonuç DKHW modelinin daha çok yakın tarla bölgesi model çalışmalarında, özellikle bakteri konsantrasyonlarının daha hassas adımlarla incelenmesi aşamasında kullanılan bir model olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mevcut kadıköy derin deşarj sisteminden alınan sonuçlarla modelden elde edilen veriler birbiri ile benzeşim göstermiştir. Mevcut tesisle, İSKİ'den temin edilen proje verileri arasında port sayısı ve çiftleri bakımından farklılık olmasına rağmen, oluşturulan 4 ayrı senaryodan elde edilen model tahminleri sonuçları birbirine çok yakın çıkmıştır. Ayrıca oluşturulan diğer alternatif senaryolarda, mevcut tesisin işletme kolaylığı bakımından ve ekonomik açıdan daha uygun olduğu kanaatine varılmıştır.

Modelleme sonrası yapılan hesaplar neticesinde deşarj edilen evsel atıksuyun Karadeniz sularına karışarak, kaynaktan uzaklaşıkça seyrelmenin giderek arttığı tespit edilmiştir. Modelleme sonrası tahmin edilen seyrelme, konsantrasyon değerleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ndeki izin verilen alıcı ortam deşarj standartlarını karşılamamıştır.

Ters akıntı durumları için daha önce projede System3 modeli ile yapılan mevcut çalışmaya paralel olarak, VP modelleme programın UM3 alt modeli kullanılarak oluşturulan Boğaz üst tabakasındaki ters akıntı durum senaryosunda, atıksuyun bir kısmının üst akım ve rüzgarın etkisiyle Marmara Denizi'ne geri dönebileceği tespit edilmiştir.

Modelleme sonrası bulunan sonuçlar neticesinde, mevcut ön arıtma ve derin deniz deşarjı tesisinin bugünkü kirliliği istenilen deşarj standartları ölçüsünde arıtıldığı ve biyolojik arıtma ihtiyacı duyulmadığını göstermektedir. Ancak, projede de öngörülen; 2010 ve sonraki yıllar için artan nüfus ve hızla gelişen teknoloji sonrası diğer kirletici kaynak ve tesislerden kaynaklanan atıksuların artması biyolojik arıtma tesisi yapılması zorunlu kılabilir.

VP modeliyle yapılan bu çalışma neticesinde mevcut tesis için çalışılan sonuçlara çok yakın değerler bulunmuş ve ileride değiştirebilcek çevre ve ortam şartları için alternatif fikirler oluşturulmuştur. Bu çalışma, bundan sonra kurulacak olan deniz deşarjı sistemlerinde, U.S. EPA tarafından desteklenen Visual Plumes (VP) modelleme programının kullanılması durumunda örnek teşkil edecektir. Ancak kurulacak tesis tipi, dizaynı, atıktan çevrenin ne kadar etkileneceği ve uygun yer seçimleri için; atık, alıcı ortam ve çevre ekosistemi ile ilgili en sağlıklı veriler elde edildikten sonra, bir çok senaryo çalışılsımalı ve olası tüm durumlar değerlendirilmelidir.

6. KAYNAKLAR

1. Samsunlu,A., Akça,L., Uslu,O., "Problems Related to an Existing Marine Outfall Marmaris-an Example", Wat.Sci.Tech. pp: 225-231 Pergamon Press, Newyork, 1995.
2. Öztürk,İ., "Atıksu Ön Arıtma ve Deniz Deşarjı Sistemleri", İTÜ İnşaat Fakültesi. 2.Basım, Sayfa 12,13,14, 2002.
3. Metcalf ve Eddy, "Wastewater Engineering, Treatment Disposal Reuse", McGraw-Hill International Editions, 1991.

4. Baumgartner,D.J., Frick,W.E., Roberts,P.J.W., "Dilution Models for Effluent Discharges, Standards and Applied Science Division Office Wetlands", *Oceans and Technology*, 1994.
5. Muellenhoff,W.P., Soldate,Jr.A.M., Baumgartner,D.J., Schuldt,M.D., Davis,L.R. and Frick,W.E., "Initial mixing characteristics of municipal ocean outfall discharges: Volume 1. Procedures and Applications", *EPA/600/3-85/073a*., 1985.
6. Davis,L.R., "Fundamentals of Environmental Discharge Modeling. CRC Press, Boca Raton", FL, 1999.
7. Roberts,P.J.W., Snyder,W.H., Baumgartner,D.J., "Ocean outfalls III: effect of diffuser design on submerged wastefield". *ASCE Journal of the Hydraulic Engineering*, 115. No. 1. pp 49-70., 1999.
8. İski, "Kadıköy Atıksu Ön Arıtma Tesisi ve Derin Deniz Deşarjı Sistemi Projesi", Atıksu ve Kanalizasyon Dairesi Başkanlığı, 1999.
9. Roberts,P.J.W., Snyder,W.H., "Hydraulic Model Study for Boston Outfall. I: Riser Configuration", *J.Hydr.Engg.*, Volume 119, Issue 9, pp. 970-987, 1993.
10. Erkabiy,Ş., "Derin Deniz Deşarjı ile Boşaltılan Atıkların Yayılım ve Etkilerinin İzlenmesi ve Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2002.
11. Goblick,G., "Assessment of Analytical Model VPLUMES for Sizing Prohibitive Shellfish Closure Zones—A Technical Guidance Manual", *Rhode Island Department of Environmental Management, Providence, Rhode Island*, 1995.
12. Roberts,P.J.W., "Xiaodong Tian, New experimental techniques for validation of marine discharge models", *School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, USA Received 11 March 2002; received in revised form 24 May 2002; accepted 8 August 2003 Pres, New York*, 2002.



**BAZI TEKSTİL BOYALARININ SULU ÇÖZELTİDEN GİDERİLMESİİNDE SU
BITKİSİ (*POTAMOGETON NATANS*)'IN ADSORBENT OLARAK
KULLANILMASI**

Olcayto KESKINKAN ve Ahmet YÜCEER
Ç.Ü., Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Bu çalışmada sulu çözeltiden bazı tekstil boyarmaddelerinin giderilmesi için su bitkilerinden *Potamogeton natans* kullanılmıştır. Boyarmaddeler (*Lanacron Red* and *Lanacron Brown*) in kurutulmuş *P. natans* biyokütlesi kullanarak giderilmesi başarılı bir şekilde yürütülmüştür. Temas zamanını tespit etme deneyleri 200, 400 ve 800 mg/L lik boyalı çözeltileri ile yapılmıştır. Bu deneyler süresince *P. natans* biyoması için giderilen boyalı madde miktarları *Lanacron Red* ve *Lanacron Brown* için sırasıyla 20,8, 114,2, 223,7 mg/g ve 14,9, 101,3, 240,8 mg/g olarak bulunmuştur. Ayrıca, adsorpsiyon miktarının uygulanan boyalı madde miktarı arttıkça arttığı görülmüştür. Bulgular adsorpsiyon izotermlerini ortaya koymak için kullanılmış ise de ne Langmuir ne de Freundlich izotermlerine uymadığı görülmüştür. Ancak elde edilen bulguların partikül içi difüzyon modeline uyduğu ve boyarmaddelerin bu yolla giderildiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Atık su arıtımı, adsorpsiyon, kuru biyokütle, *Potamogeton natans*, adsorpsiyon izotermleri, boyalı giderimi.

**THE USE OF AQUATIC PLANT (*POTAMOGETON NATANS*) AS AN
ADSORBENT FOR THE REMOVAL OF SOME TEXTILE DYES FROM
AQUEOUS SOLUTIONS**

ABSTRACT : This study deals with aquatic plant *Potamogeton natans* for some textile dye removal from aqueous solutions. Removal of textile dyes (*Lanacron Red* and *Lanacron Brown*) from aqueous solutions by dried *P. natans* biomass has been carried out successfully. Contact time experiments were performed at 200, 400 and 800 mg/L dye solutions. During the contact time experiments, the amounts of dyes removed for *Lanacron Red* and *Lanacron Brown* dyes were 20,8, 114,2, 223,7 mg/g and 14,9, 101,3, 240,8 mg/g respectively. In addition, the extent of adsorption increased with the increasing initial concentration of the dye in solutions. Although the data used to derive the adsorption isotherm constants the data does not fit either Langmuir or Freundlich isotherms. However, the results showed that removal of dyes followed by the intra-particle diffusion model.

Key words: Wastewater treatment, adsorption, dried biomass, *Potamogeton natans*, adsorption isotherms, dye removal.

1. GİRİŞ

Endüstriyel bölgelerde çeşitli endüstrilerden çıkan ve renk içeren atık sular yaygın olarak bulunmakta ve bunlar alıcı ortamları kirletmektedir. Böyle suların özellikle sucul alıcı ortamlara deşaj edilmesi sadece estetik açıdan görüntüyü bozmakla kalmamakta aynı zamanda ortamın ışık geçirgenliğini azaltarak fotosentetik faaliyetleri engellemektedir (1). Boyarmadde veya renk içeren atık suları arıtmak için kullanılan geleneksel arıtma yöntemleri koagülasyon, flokülasyon (2), ters osmoz (3) ve aktif karbon adsorpsiyonu (4) dur.

Adsorpsiyon bir denge reaksiyonuna benzer. Çözeltide kalan çözünen konsantrasyonu ile adsorbent yüzeyine tutunan çözünen derişimi arasında dinamik bir dengeye ulaşıcaya kadar sürer. Adsorpsiyon dengesini belirtmek için sabit sıcaklıkta dengede çözeltide kalan çözünen madde konsantrasyonuna karşı katı adsorbentin birim ağırlığında adsorbe edilen çözünen madde miktarı grafiğe geçirilir. Genellikle bu eğriler doğrusal değildir ve bunlara adsorbsiyon izotermi denir.

Adsorpsiyon izotermelerini matematiksel olarak ifade eden modellerden Langmuir modeli (5) eşitlik 1 de verilmiştir.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L} + \left(\frac{a_L}{K_L} \right) C_e \quad (1)$$

Bu eşitlikteki C_e dengede çözeltide kalan çözünen konsantrasyon (mg/L), q_e dengede birim sorbent ağırlığı başına adsorblanan çözünen miktar (mg/g), K_L ve a_L sırasıyla adsorbsiyonun kapasite ve enerjisi ile ilgili sabitlerdir.

Adsorpsiyon izotermelerini matematiksel olarak ifade eden modellerden Freundlich modeli (6) eşitlik 2 de verilmiştir.

$$q_e = k_f C_e^{1/n} \quad (2)$$

Bu eşitlikteki q_e dengede birim sorbent ağırlığı başına adsorblanan çözünen miktar (mg/g), C_e dengede çözeltide kalan çözünen konsantrasyon (mg/L), k_f ve n sabitlerdir ve sırasıyla adsorbsiyonun kapasite ve enerjisi ile ilgili sabitlerdir.

Denklemin doğrusal şekli;

$$\ln(q_e) = \ln k_f + (1/n) \ln C_e \quad (3)$$

$\ln q_e$ ye karşı $\ln C_e$ grafiğinin eğimi $1/n$ 'i ordinatı kesim noktası da $\ln k_f$ 'yi verir.

Diğer yandan, adsorpsiyon kinetikleri söz konusu olduğunda hızlı karıştırmalı bir kesikli reaktör içerisinde adsorblanan iyonlarının çözeltiden adsorbentin gözeneklerine taşınması göz önünde tutulması gereklili olan bir konudur ve hız belirleyici bir adım olabilir (7).

Partikül içi difüzyonun olup olmadığını araştırmak için gereklili olan eşitlik Weber and Morris (8) tarafından verilmiştir;

$$q_t = k_{id} t^{1/2} \quad (4)$$

Bu eşitlikte q_t , t (dk) zamanda adsorbe edilen boyaya miktarı (mg/g), k_{id} ise partikül içi difüzyon sabiti ($\text{mg/g.dk}^{0.5}$) dir. Burada k_{id} değeri q_t ye karşı çizilen $t^{1/2}$ grafiğindeki ilgili eğrinin lineer kısmından hesaplanabilir.

Atık su aritimında adsorpsiyon, atık sularda çözünmüş olarak bazı organik ve inorganik kimyasal kırleticilerin uygun bir katı yüzey üzerinde tutulması olarak tanımlanmaktadır (9).

Adsorsiyon yüksek debili atık suların arıtılmasında ortaya zararlı bir atık çıkarmayan ve yüksek kalitede çıkış suyu elde edilmesinde kullanılan etkili bir yoldur (10). Bir çok endüstride aktif karbon kolonları toksik, biyolojik olarak parçalanamayan atıkların arıtılmasında ayrıca biyolojik oksidasyon proseslerinin arkasından son aritim aşaması olarak kullanılmaktadır (4). Adsorbent olarak aktif karbon boyarmadde gideriminde yaygın bir şekilde kullanılan etkili bir adsorbentdir ve adsorpsiyon hala en önde gelen aritim şeklidir. Fakat aktif karbon kullanımında bazı problemler ortaya çıkmaktadır. Aktif karbon pahalı bir üründür ve kalitesi arttıkça fiyatı da artmaktadır. Bu açıdan bakıldığına boyarmadde giderimi için ucuz ve kolay elde edilebilir bir adsorbente karşı olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır (11). Ucuz ve kolay elde edilebilir bir adsorbentin bulunması için çeşitli çalışmalar yapan bir çok araştırmacı bulunmaktadır. Bu araştırmalar arasında kuru ve yaş olmak üzere üzerinde araştırma yapılmış bir çok biyolojik materyale rastlamak mümkündür. Bunlar arasında mikroorganizmalar (12), algler (13-15), ağaç kabukları (16), linyit (17), neem (odunsu bir bitki=*Azadirachta indica*) talaşı (18), elma posası ve saman (19), ve su bitkilerinden *Spirodela polyrrhiza* (11), *Potamogeton natans*, *Hydrilla verticillata*, *Potamogeton lucens*, *Salvinia herzogii*, *Eichhornia crassipes*, *Myriophyllum brasiliensis*, *Myriophyllum spicatum*, *Cabomba* sp., *Ceratophyllum demersum* (20-23) da bulunmaktadır.

Bazı su bitkileri akarsular, göllerin littoral zonları, drenaj kanalları ve sulak alanlar gibi sucul ortamlarda bol miktarda bulunurlar. Çukurova'da zirai alanlar geniş yer tutar ve bunların sulama kanalları ile drenaj kanallarında su bitkilerine sıkça rastlanmaktadır. *P. natans* bu gibi sucul ortamlarda görülmekte ve su bulunduğu sürece bitkiler de yaşamlarını sürdürmektedir.

Bu çalışmada temel amaç su bitkisi türlerinden *P. natans*'ın boyarmadde giderilmesinde adsorbent olarak kullanılma olanaklarının araştırılmasıdır. Bu amaçla bitkinin kullanılan boyarmaddelere göre bazı adsorpsiyon kinetikleri ve adsorpsiyon kapasitesi araştırılmıştır.

2. MATERİYAL VE METOT

Bu çalışmada boyarmadde giderilmesinde kullanılan *P. natans* türü su bitkilerinin su kanallarında aşırı çoğalmaları onun seçiminde önemli rol oynamıştır. *Potamogeton* cinsi üyeleri toprakaltı gövdeleri bulunan yada bulunmayan suda yaşayan bitkilerdir. Gövdeleri silindirik ve bazen yanal olarak yassılaşmıştır. Bir çok türünde yaprakların gövde ile birleşme noktalarında, iki adet boğumsal salgı bezî bulunur. Yaprakları su altı veya yüzen tipte olabilir. Yapraklarının şekli dilsî yada bir kulaklıçık şeklindedir (24).

P. natans Adana'daki DSİ sulama kanallarından elle toplanmıştır. Laboratuar getirildikten sonra önce bol çeşme suyuyla yıkanmış daha sonra distile su ile yıkanmıştır. Yıkama işleminden sonra 90°C de 24 saat kurutulmuş ve kurutulduğandan

sonra blender ile iyice öğütüllererek parçalara ayrılmıştır. Parçalara ayrılan kurutulmuş bitkiler elekten geçirilmiş ve çalışmada 0,42-2,0 mm lik parçalar kullanılmıştır. *P. natans* parçaları bu şekilde elde edildikten sonra tam olarak 3,0 gr kuru *P. natans* 250 mL lik erlenmayerlere konmuş ve bunlarda orbital çalkalayıcılara yerleştirilmiştir. Boyalar Lanacron red (Asit boyası C.I.No:107) ve Lanacron Brown (Asit boyası C.I.No:283) Adana'daki Güney Tekstil fabrikasından temin edilmiş olup ikisi de asit boyadır. Boya çözeltileri distile suda 80°C de hazırlanmıştır. Boyarmaddeler 150 şer mL lik hacimlerde 200, 400 ve 800 mg/L lik konsantrasyonlarda hazırlanmış olup 160 dakika temas süresi uygulanmıştır.

Temas süresi bitince süpernatantı elde etmek için örnekler 1000 rpm lik santrifüjde 10 dk süre ile santrifüj edilmiştir. Lanacron red and Lanacron brown süpernatantları daha sonra örnekteki boyarmadde miktarlarını tespit etmek için Baush-Lomb (spectronic 21) ışık spektrofotometresinde 227 ve 318 nm dalga boyları kullanılarak analiz edilmiştir. Erlenmayerlerin cidarına boyarmadde tutulma durumunu izlemek için kontrol deneyleri kurutulmuş bitki konmadan yapılmış ve erlenmayerlerde boyarmadde kalıntısı olmadığı anlaşılmıştır. Boyarmadde analiz sonuçları kuru bitki parçacıklarının spesifik adsorpsiyon miktarını (adsorbe edilmiş mg boyası/g kuru bitki) hesaplamada kullanılmıştır. Hesaplamada aşağıdaki eşitlik esas alınmıştır.

$$q = (C_0 - C) V / A_k \quad (5)$$

Burada C_0 ve C başlangıç ve dengedeyken süpernatantdaki boyarmadde konsantrasyonlarını, V kullanılan sıvının hacmini ve A_k ise *P. natans*'ın kuru ağırlığını ifade etmektedir.

Tüm deneyler iki kez tekrarlanmış ve sonuçlar ortalama olarak verilmiştir. İstatistiksel olarak sonuçlar arasındaki varyasyon % 5 ten küçük çıkmıştır ($p < 0,05$). pH ölçümleri pH metre ile yapılmıştır (Hanna instrument pH 211 microprocessor pH meter).

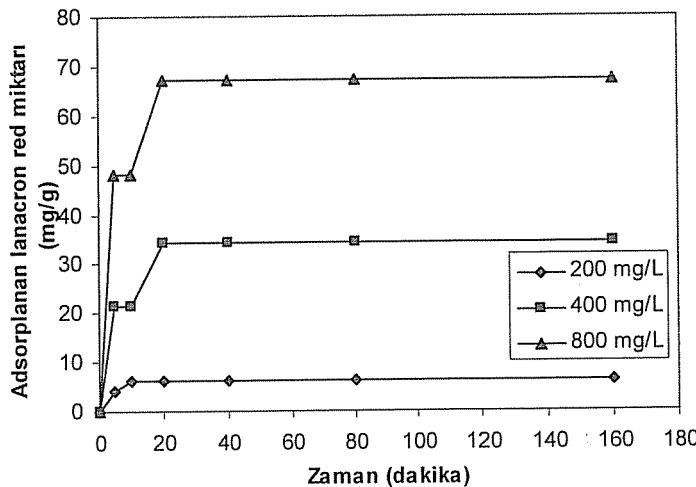
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Temas süresi ve izoterm sabitleri

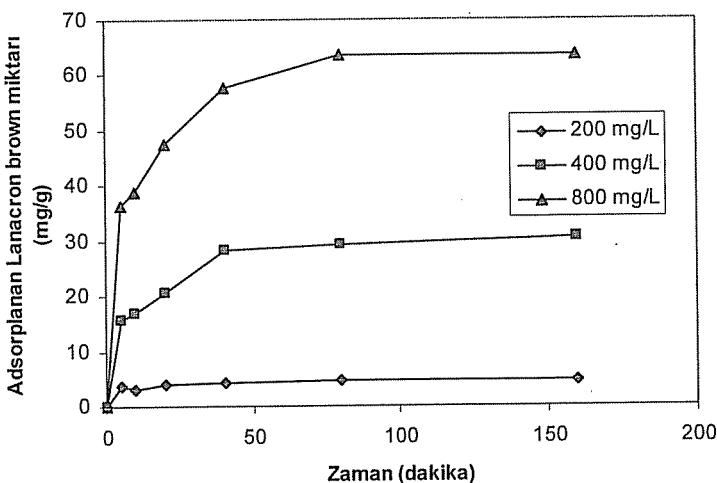
Araştırma süresince elde edilen bulgular, *P. natans*'ın kullanılan boyaların her ikisini de sentetik çözeltiden giderdiğini göstermektedir. Optimum temas süreleri Lanacron red için 20 dakika, Lanacron Brown için 40 dakika olarak tespit edilmiştir (Şekil 1 ve 2). pH değerlerinin deney başlangıcı ve sonunda 4,7 ile 5,4 arasında değiştiği görülmüştür.

Şekil 1 e bakıldığından Lanacron red için giderilen madde miktarlarının uygulanan 200, 400 ve 800 mg/L boyarmadde konsantrasyonları için sırasıyla Şekil 1'e bakıldığından lanacron red için 20,8, 114,2 ve 223,7 mg/g olduğu, Şekil 2'e bakıldığından lanacron brown için 14,9, 101,3 ve 240,8 mg/g olduğu görülmektedir.

*BAZI TEKSTİL BOYALARININ SULU ÇÖZELTİDEN GİDERİLMESİNE SU BİTKİSİ
(POTAMOGETON NATANS)'İN ADSORBENT OLARAK KULLANILMASI*



Sekil 1. Lanacron red giderilmesinde en uygun temas süresinin gösterilmesi



Sekil 2. Lanacron brown giderilmesinde en uygun temas süresinin gösterilmesi

Bulgular adsorpsiyon izotermelerini ortaya koymak için kullanılmış ise de ne Langmuir ne de Freundlich izotermelerine uymadığı görülmüştür (Çizelge 1).

Çizelge 1. Langmuir ve Freundlich izoterm sabitleri

Adsorbent	Boyalar	Langmuir sabitleri			Freundlich sabitleri			
		q_{maks} (mg/g)	a_L (l/mg)	K_L (l/g)	R^2	K_f (l/g)	n	R^2
Kurutulmuş <i>P. natans</i>	Lanacron red	-0.486	-0.037	0.018	0.1004	0.022	0.835	0.4582
	Lanacron brown	-0.060	-0.149	0.009	0.2849	2.744	-0.188	0.7891

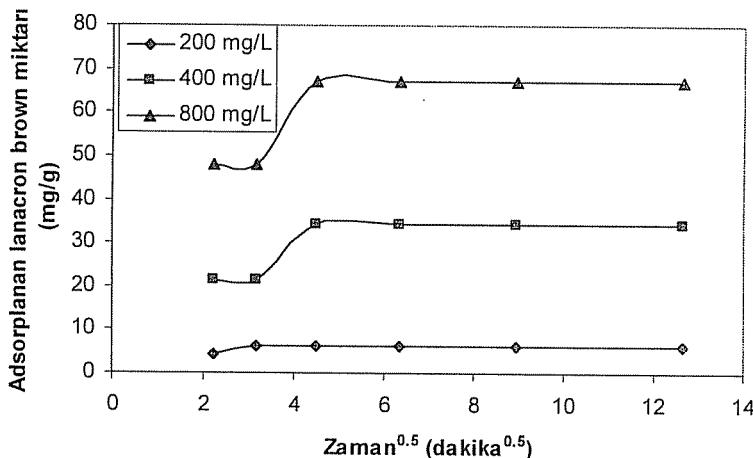
Çizelge 1 de görüldüğü gibi Langmuir sabitleri olan a_L sabiti ile Freundlich sabitlerinden n 'nin negatif olması elde edilen deneysel sonuçların modellere uymadığını göstermektedir. Bilindiği gibi K_L/a_L maksimum adsorpsiyon kapasitesini (q_{maks}) vermektedir ve $-(q_{maks})$ değerleri modele uygunsuzluğu göstermektedir. R^2 değerlerinin düşüklüğü de deneysel sonuçların modellere uymadığının bir başka göstergesidir.

3.2. Adsorpsiyon kinetikleri

Hızlı karıştırımalı bir kesikli reaktörde göz önüne alınması gereken noktalardan birisi de çözeltiden adsorbatın adsorbentin gözeneklerine doğru taşınmasının giderme hızını control edici faktörlerden birisi olabileceğidir (7). Buna partikül içi difüzyon da denmektedir.

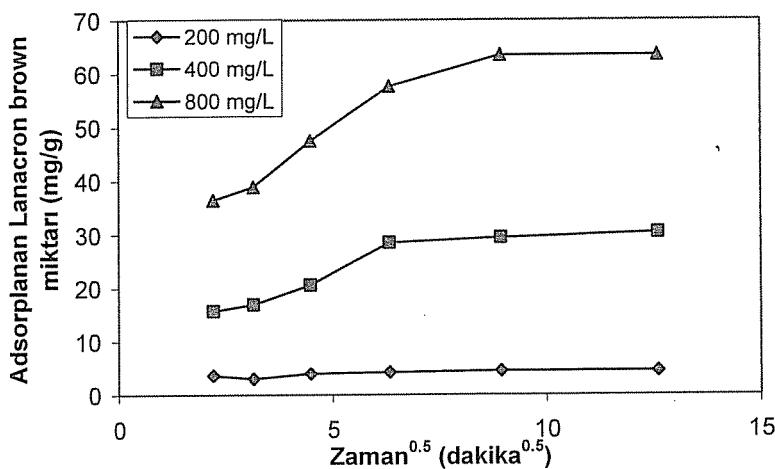
Intrapartikül difüzyonu çalışmak için gerekli olan eşitlik Weber ve Morris (8) tarafından verilen eşitlige göre elde edilen analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

Boya giderim bulgularına göre Şekil 5 ve 6 çizilmiş olup bu grafiklerde görülen linear kısımlara ait grafikler de çizilmiş ve partikül içi difüzyon hızları hesaplanmıştır (Şekil 7-8 ve Çizelge 2-3).

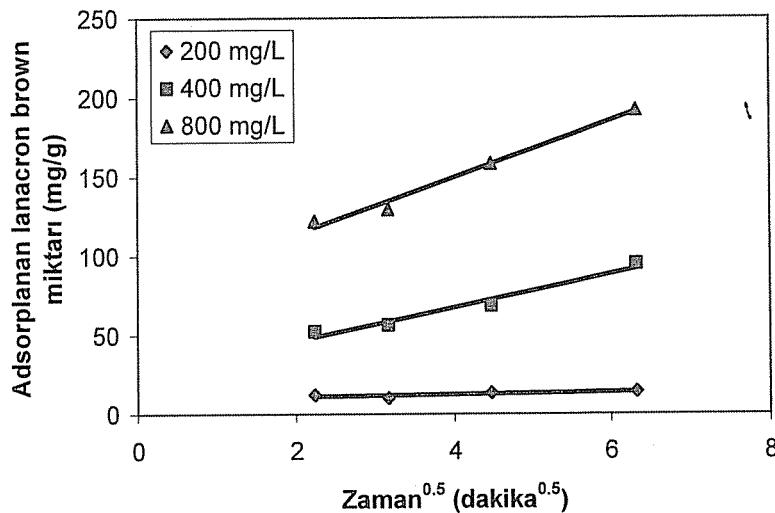


Şekil 5. Farklı lanacron red konsantrasyonlarında partikül içi difüzyon gösterimi için çizilen grafik

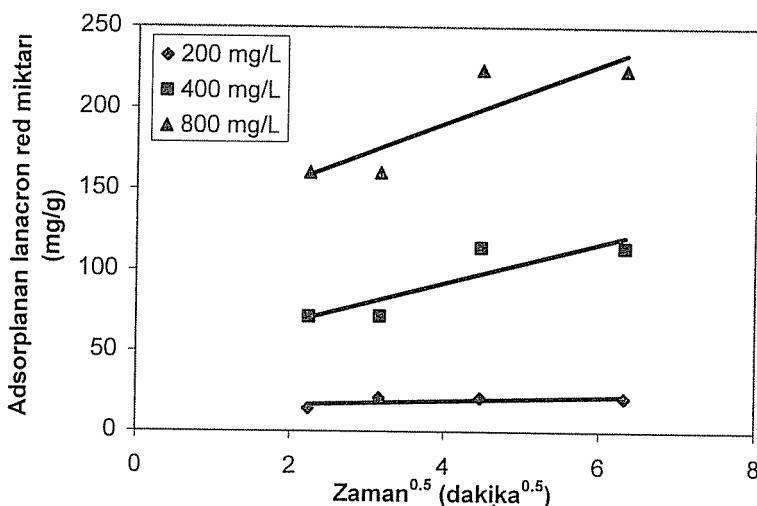
*BAZI TEKSTİL BOYALARININ SULU ÇÖZELTİDEN GİDERİLMESİNE SU BITKİSİ
(POTAMOGETON NATANS)'IN ADSORBENT OLARAK KULLANILMASI*



Şekil 6. Temas süresinin *P. natans* tarafından lanacron brown giderimindeki etkisi



Şekil 7. Farklı lanacron red konsantrasyonlarında partikül içi adsorpsiyonda lineer kısmın grafiği



Şekil 8. Farklı lanacron brown konsantrasyonlarında partikül içi adsorpsiyonda lineer kısmın grafiği

Çizelge 2. Lanacron Red'in adsorpsiyonunda Partikül içi difüzyon hız sabitleri

Boya konsantrasyonları (mg/L)	Partikül içi difüzyon hız sabiti, k_{id} (mg/g dak ^{0.5})	Regresyon katsayısı (R^2)
200	2.079	0.7326
400	14.226	0.9473
800	29.076	0.9006

Çizelge 3. Lanacron Brown'un adsorpsiyonunda Partikül içi difüzyon hız sabitleri

Dye Concentrations (mg/L)	Partikül içi difüzyon hız sabiti, k_{id} (mg/g dak ^{0.5})	Regresyon katsayısı (R^2)
200	3.289	0.7446
400	18.473	0.8813
800	35.183	0.8329

Bir başlangıç hız parametresi ve eşitlikteki kırılma noktası olan j yi çıkarmak ve bu sayede partikül içi difüzyonun hız belirleyici aşama olup olmadığını belirlemek mümkündür (25). Bu amaçla j gibi ilgili terimlerle de hızlar ifade edilebilirler. Difüzyon için yazılan teorik eşitliklere göre partikül içi difüzyon hız belirleyici tek adım olduğunda hız parametresi başlangıç uygulanan konsantrasyonların karekökü ile direkt bağlantılıdır (25) ve bu aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$j = (C_0)^N \quad (6)$$

burada $N = 0.5$ tir.

N değerleri hesaplanmış Çizelge 3-4 te verilmiştir. Lanacron Red ve Brown'un partikül içi difüzyonunun gösterilmesinde, N değerlerinin 0,5'e neredeyse eşit veya yakın değerler olduğu görülmektedir. Çizelge 4 ve 5 teki N değerlerine bakarak adsorpsiyon kinetигinde partikül içi difüzyonun hız belirleyici proses olduğu söylenebilir.

Çizelge 4. Lanacron Red için çeşitli konsantrasyonlarda J hız sabitleri

Konsantrasyon (mg/L)	Hız sabiti, j mg/g dak ^{0,5}	N
200	20,85	0,57
400	71,25	0,71
800	160,15	0,75

Çizelge 5. Lanacron Brown için çeşitli konsantrasyonlarda J hız sabitleri

Konsantrasyon (mg/L)	Hız sabiti, j mg/g dak ^{0,5}	N
200	13,25	0,48
400	56,45	0,67
800	129,65	0,72

4. SONUÇLAR

Bulgulardan yola çıkarak üç değişik konsantrasyon göz önüne alındığında temas süresine göre ilk 20 dakikada adsorpsiyonun bittiği görülmektedir. Bulgular adsorpsiyon izotermelerini ortaya koymak için kullanılmış fakat ne Langmuir ne de Freundlich izotermelerine uymadığı görülmüştür. Langmuir ve Freundlich sabitleri ile her iki modelin R^2 değerleri modele uygunluğunu göstermektedir.

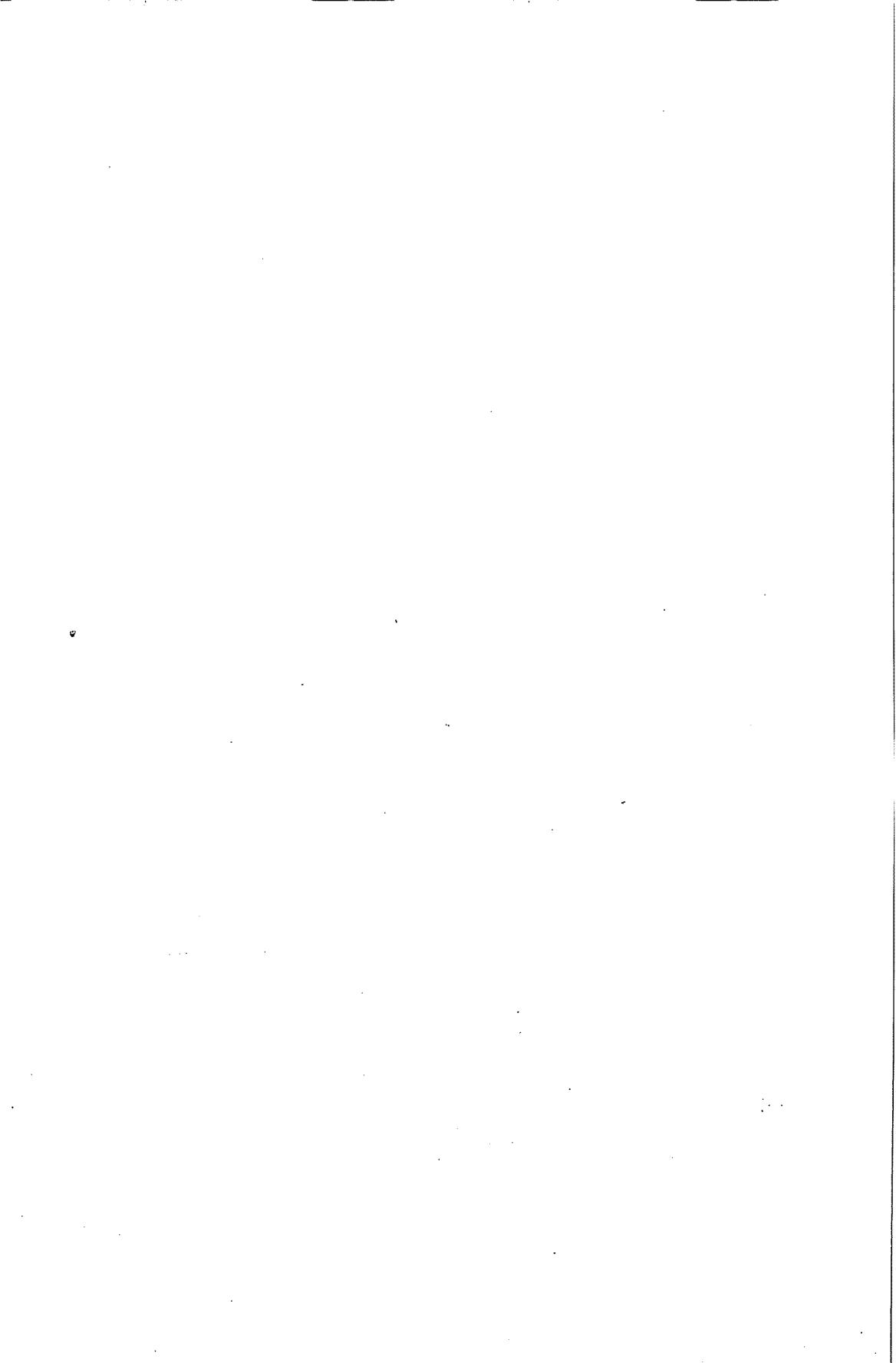
Adsorplanan madde miktarlarının zamanın kareköküne karşı çizilen grafiklere göre bulgular partikül içi difüzyon modeline uymakta, dolayısıyla boyarmaddenin kuru bitkinin parçacıkları arasına difüze olduğu, partikül içi difüzyonun hız belirleyici proses olduğu ve bu yolla giderim olduğu görülmektedir. Temas süresince elde edilen "denge" zamanında elde edilen giderim miktarlarına baktığımızda konsantrasyon artışıyla birlikte giderilen boyarmadde miktarının da arttığı ve 1 gram kuru bitkinin en fazla 200-230 mg civarında boyarmaddeyi giderebildiği görülmüştür. Her ne kadar kullanılan boyar madde konsantrasyonlarına göre giderim oranları düşük görünse de, birim adsorbent ağırlığı başına önemli miktarda boyarmadde giderildiği görülmektedir. Deneylerin daha düşük konsantrasyonlar altında ve pH değişimine göre yapılması kullanılan bitkinin verimi hakkında daha ayrıntılı bilgiler edinilmesini sağlayacaktır.

Bu çalışmada kullanılan *P. natans*'ın maksimum giderebildiği boyarmadde miktarlarına bakarak boyarmadde bakımından kirli suların kurutulmuş *P. natans* parçacıkları yardımıyla boyarmadde giderilebileceği sonucuna varılmıştır. Başka boyarmaddeler de denenip bitkinin etkinliğinin tam olarak ortaya konması bu çalışmada önerilmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. *Namasivayam,C., Radhika,R., and Suba,S.*, "Uptake of dyes by a promising locally available agricultural solid waste: coir pith", *Waste Management*, 21, 381-387, 2001.
2. *American Society of Civil Engineers and American Water Works Association*, "Water treatment plant design", 2nd Ed. In: *Harold B. Crawford, Gretlyn C, editors*. New york: McGraw-Hill, 1990.
3. *Cohen,H.*, "The use of ultrafiltration membranes in treatment of textile dye house waste", *American Institution of Chemical Engineering and United States Environmental Protection Agency, Washington DC*, 1978.
4. *Eckenfelder,W.W.*, "Industrial water pollution control", *McGraw-Hill international editions*, New York, 1989.
5. *Langmuir,I.*, "The adsorption of gass, mica and platinum", *J. Am. Chem. Soc.*, 40, 1361, 1918.
6. *Freundlich,H.*, "Colloid and capillary chemistry", p883, London: Methuen, 1926.
7. *Poots,V.J.P., McKay,G., and Healy,J.J.*, "The removal of acid dye from effluent using natural adsorbents: peat", *Water Res.*, 10 (12), 1061-1066, 1978.
8. *Weber,W.J., and Morris,J.C.*, "Kinetics of adsorption on carbon from solutions", *J.Sanit. Eng. Div. Am. Soc. Siv. Eng.* 89, 31-60,.1963.
9. *Metcalf and Eddy*, "Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse", McGraw-Hill Inc., Fourth Edition. 1819p. 2003.
10. *Wong,Y.C., Szeto,Y.S., Cheung,W.H., and McKay,G.*, "Adsorption of acid dyes on chitosan equilibrium isotherm analyses", *Process Biochemistry*, 39/6, 695-704, 2004.
11. *Waranusantigul,P., Pokethitiyook,P., Kruatrachue,M., and Upatham,E.S.*, "Kinetics of basic dye (methylene blue) biosorption by giant duckweed (*Spirodela polyrrhiza*)", *Environmental Pollution*, 125/3, 385-392, 2003.
12. *Aksu,Z., Sag,Y., and Kutsal,T.* "The biosorption of copper(II) by *C. vulgaris* and *Z. ramigera*", *Environmental Technology*, 13, 579-58, 1992.
13. *Mohan,S.V., Rao,N.C., Prasad,K.K., and Karthikeyan,J.*, "Treatment of simulated reactive yellow 22 (Azo) dye effluents using *Spirogyra* species", *Waste Management*, 22, 575-582, 2002.
14. *Aksu,Z., and Kutsal,T.*, "A bioseparation process for removing lead (II) ions from waste water by using *C. vulgaris*", *J.Chem. Tech. Biotech.*, 52, 109-118, 1991
15. *Ting,Y.P., Lawson,F., and Prince,I.G.*, "Uptake of cadmium and zinc by the Alga *Chlorella vulgaris*: Part 1. Individual Ion species", *Biotechnology and Bioengineering*, 34, 990-999, 1989.
16. *Aoyama,M., and Tsuda,M.*, "Removal of Cr(VI) from aqueous solutions by larch bark", *Wood Science and Technology*, 35, 425-434, 2001.
17. *Allen,S.J., and Brown,P.A.*, "Isotherm analysis for single component and multi component metal sorption onto lignite", *J.Chem. Tech. Biotech.*, 62, 17-24, 1995.
18. *Khattri,S.D., and Singh,M.K.*, "Colour removal from synthetic dye wastewater using a bioadsorbent", *Water Air Soil Pollution*, 120, 283-294, 2000.

- 19.** Robinson,T., Chandran,B., and Nigam P., "Removal of dyes from synthetic textile dye effluent by biosorption on apple pomace and wheat straw", *Water Res.*, 36 (11), 2824-2830, 2002.
- 20.** Wang,T.C., Weissman,J.C., Ramesh,G., Varadarajan,R., and Benemann,J.R., "Parameters for removal of toxic heavy metals by Water Milfoil (*Myriophyllum spicatum*)", *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 57, 779-786, 1996.
- 21.** Schneider,I.A.H., and Rubio,J., "Sorption of heavy metal ions by the non-living biomass of freshwater macrophytes", *Environ. Sci. Technol.*, 33, 2213-2217, 1999.
- 22.** Lacher,C., and Smith,R.W., Ross,W., "Sorption of Hg(II) by Potamogeton natans dead biomass", *Minerals Engineering*, 15, 187-191, 2002.
- 23.** Low,K.S., Lee,C.K., and Heng,L.L., "Sorption of basic dyes by *Hydrilla verticillata*", *Environmental Technology*, 14, 115-124, 1993.
- 24.** Altinyar,G., "Su yabanciotları", Bayındırılık ve İskan Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı Ankara. 239sayfa. 1988.
- 25.** Ho,Y.S., Wase,D.A.S., and Forster,C.F., "Kinetic studies of competitive heavy metal adsorption by Sphagnum moss peat", *Environ. Technol.*, 17, 71-77, 1996.



PERSONEL EĞİTİM İHTİYAÇ DEĞERLENDİRMEŞİ İÇİN BİR KARAR DESTEK YAZILIMI UYGULAMASI

Esra GÜNDÜZ ve Oya H.YÜREGİR
Ç.Ü., Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

ÖZET : *Günümüzde çevre şartlarındaki değişme, teknolojideki sürekli gelişme, uluslararası rekabet dolayısı ile insan kaynaklarının daha etkili ve verimli kullanılması işletmeler için zorunlu hale gelmiştir. Rekabette başarılı olabilmenin yolunun doğru kişiyi istihdam etmenin yanında işgücü için sürekliliği sağlanan kaliteli bir eğitim sisteminden geçtiği anlaşılmaktadır. Kaliteli eğitimim ilk adımı ise eğitim ihtiyaç değerlendirmenin doğru şekilde yapılmasıdır.*

Bu çalışmada eğitim ihtiyacını doğru, hızlı, sistematik bir şekilde saptamak ve bölüm yöneticilerine karar desteği sağlamak için eğitim ihtiyaç değerlendirme sürecini bilgisayar destekli bir program ile yürütmek amaçlanmıştır. Geliştirilen MS Access programı Adana'da üç farklı şirkette geçerlilik için test edilip değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Eğitim ihtiyaç değerlendirme, eğitim ihtiyaç analizi, insan kaynakları, karar destek.*

A DECISION SUPPORT SOFTWARE APPLICATION FOR PERSONNEL TRAINING NEEDS ASSESSMENT

ABSTRACT : *Nowadays, changes in environment, technological advancements and international competition have forced companies to manage their human resources more effectively and efficiently. A continuous high-quality training system for personnel is needed to succeed in competition besides recruiting right person. The first step of high-quality training system is to assess true training needs.*

In this paper, training needs assessment process is computerized by using MS-Access in order to analyze the training needs in a right, fast and systematic way. Developed MS Access program was tested for validity and evaluated by three firms in Adana.

Key Words: *Training needs assessment, training needs analysis, human resources, decision support.*

* Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından MMF 2006 YL3 no'lu proje altında desteklenmiştir.

1. GİRİŞ

Küreselleşme sürecinin neden olduğu hızlı gelişme ve değişimlerle karşı karşıya kalan ve yoğun rekabet koşulları içerisinde olan işletmelerin varlıklarını sürdürmeleri ve gelişme gösterebilmeleri, rekabet güçlerini artırmalarına bağlıdır.

Teknolojideki hızlı değişiklikler, yoğun rekabet koşulları, büyuyen örgütlerin ortaya çıkardığı karmaşık işlemler ve sorunlar karşısında yetenekli, bilgili ve kapasiteli bir işgücünü hazırlamak ve geliştirmek zorunludur. Rekabette başarılı olabilmek işgücü için süreklilığı sağlanan kaliteli bir eğitim ile mümkündür. Kaliteli eğitimin ilk adımı ise eğitim ihtiyaç değerlendirmenin doğru şekilde yapılmasıdır (1).

Eğitim, çalışanların şirkete bağlılık unsurunu güçlü tutan konular arasında da bulunmaktadır. Ücretler ve diğer haklar, şirketin kurumsallığı (dolayısıyla keyfi yönetilmemesi), yapılan işten alınan zevk, başarı duygusunun tatmini, olumlu katkıların zamanında takdir edilmesi gibi etkenlerin yanı sıra, çalışanların bilgi ve beceri düzeyinin yüksek tutulması için düzenlenen eğitimler, katılımcılara "şirket beni önemsiyor, kişisel gelişimime katkıda bulunuyor ve bana yatırım yapıyor" hissini vermektedir. Bazı kişiler için, sözü geçen bu uygulamaların, çalışanı şirkete bağlayan diğer etkenlerin önüne dahi gecebildiği görülmüştür (2). Yapılan araştırmalar neticesinde bir çalışanın eğitim gördükten sonra ortalama % 5 – 20 düzeyinde üretkenliğinin arttığı tespit edilmiştir (3).

American Society for Training and Development tarafından 540 organizasyonun katılımıyla yapılan bir araştırmancı bulgularına göre, eğitilen çalışanların toplam çalışanlara oranı ve çalışan başına düşen eğitim harcamaları daha yüksek olan şirketler; çalışanların memnuniyeti ve bağlılığı, ürün ve hizmet kalitesi, müşteri memnuniyeti gibi kurumsal performans göstergelerinde daha başarılı sonuçlar elde etmektedirler (4).

Günümüzde büyük işletmelerin ve holdinglerin personel eğitimine ve gelişimine verdikleri büyük önem sayesinde etkili ve verimli eğitim süreçleri yürütülmektedir. Bu süreçlerin ilk basamağı eğitim ihtiyacının birey, görev (iş) ve organizasyon düzeyinde doğru tespit edilmesidir. Kaliteli bir sistem kurmak isterken ilk adımı yanlış ve/veya eksik atmak kalitenin elde edilememesine davetiye çıkarır.

Bu çalışmada kaliteli eğitim sistemi oluşturanın ilk adımı yolunda, beklenen personel etkililiği ve verimliliğinin elde edilemeye durumunu azaltmaya yönelik yardımcı olmak ve eğitim ihtiyacını doğru, hızlı, sistematik hale getirmek için eğitim ihtiyaç değerlendirme sürecini bilgisayar destekli bir program ile yürütmek konusu incelenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

McGehee ve Thayer, eğitim ihtiyaç değerlendirmesi (analizi) fikrini ilk ortaya atanlar ve yaklaşımını geliştirenlerdir (5). Organizasyonun eğitim ihtiyaçları hakkında düşündüren bu yaklaşım üç seviyeden oluşur: Organizasyonel analiz, operasyonel analiz ve bireysel analiz.

Gilbert çalışmásında (6) insan performansının altı faktörden etkilendiğinden ve eğitim ihtiyaçlarını belirlerken bunları gözden geçirmek gerektiğinden bahseder.

Rossett çalışmásında (7) ihtiyaç değerlendirmeyi yürütmek için altı aşamalı bir modelden bahseder. Rossett, ihtiyacın sebebi olan performans farklılığının "optimal ve gerçek durum arasındaki farktan" doğduğunu söyler.

Nowack çalışmasında (8) eğitim ihtiyacı ile eğitim isteği arasındaki farkı tanımlar ve eğitim ihtiyaç analizi için geliştirilen 9 adımlı bir süreçten bahseder. Ona göre eğitim ihtiyacı, spesifik iş görevleri veya davranışları önemli olursa ve çalışanların bunlardaki becerisi düşükse oluşur.

Mager, eğitim ihtiyacının kaynağı olan performans problemlerini analiz etmek için 30 yıldan fazla katkı sağlayarak “Performans Analiz Modelini” (9) tasarlamıştır. Mager’ın modelinin temel öngörüsü, performans problemlerini ve çözümlerini birtakım sistematik araştırma soruları sorarak ortaya çıkartılabilceğidir.

Gupta çalışmasında (10) ihtiyaç değerlendirme için dört yaklaşım sunmaktadır: Stratejik ihtiyaç değerlendirme, yetkinlik bazlı değerlendirme, iş ve görev analizi ve eğitim ihtiyaç analizi.

Chiu ve arkadaşlarının çalışmalarında (11) dört ilişkili soru üzerinden kavramsal olarak çeşitli yaklaşımları organize etmek amacıyla eğitim ihtiyaç analizi literatürü gözden geçirmekte ve iki türlü yaklaşımından bahsedilmektedir: Arz etkili eğitim ihtiyaç analizi yaklaşımı ve talep etkili eğitim ihtiyaç analizi yaklaşımı.

Holton III ve arkadaşları çalışmalarında (12) performans geliştirme eğitim ihtiyaçlarını tanımlamak için tasarlanan olağan – dışı bir ihtiyaç değerlendirme projesini ele alır. Bu proje ABD’de Louisana eyaletindeki devlet çalışanlarının uzun dönemli performanslarına göre eğitim ihtiyaçlarını belirlemek için geliştirilmiştir.

Swart ve arkadaşları çalışmalarında (13) eğitim ihtiyacını veya eğitim – dışı ihtiyacı doğurabilecek iş performansını etkileyen faktörlerden söz etmektedir.

3. EĞİTİM İHTİYAÇ DEĞERLENDİRME SÜRECİ

Eğitim ihtiyaç değerlendirme (analizi), organizasyondaki bireylerin ve grupların kendi amaçlarını ve organizasyonel amaçlarını başarımada daha etkin hale gelebilmesi için eğitimden yararlanacağı alanları tanımlama sürecidir (14). Eğitim ihtiyaç değerlendirme, farklıları tanımlamaya ve problemin eğitimle çözülüp çözülemeyeceğini araştırmaya yardım eder (15).

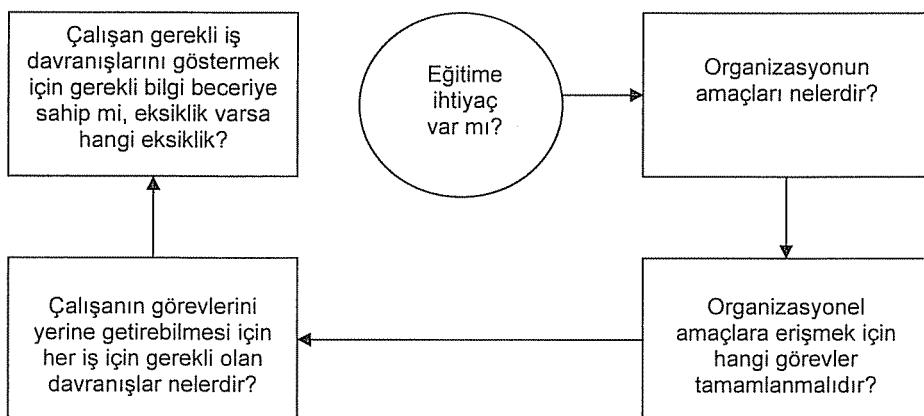
1989 yılında TC Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğü'nün yaptırdığı "endüstriyel üretim sektörlerinin eğitim ihtiyaç analizi raporuna göre endüstriyel üretim yapan sektörlerin % 29,9'u eğitim ihtiyaç analizine ihtiyaç duyarken, % 63,1'i ihtiyaç duymamaktadır, % 7'si de fikri olmadığını belirtmiştir (16).

Eğitim ihtiyaç değerlendirme bir çalışanın yeterliliklerini maksimum hale getirmede gerekli olan ilk adımdır. İhtiyaçları tanımlamak kadar önceliklendirmek de önemlidir. İhtiyaçları önceliklendirmek, organizasyonun hedefleri, öncelikleri ve stratejisile ilgiliidir (17). Önceliklendirilen ihtiyaçlar için şunu dikkate almak gereklidir; ihtiyaçlardan bazıları göreceli olarak daha az öneme sahipse enerjinin daha fazla değere ve etkiye sahip olan insanı performans problemlerine harcanması daha iyi olur (18). Eğitim ihtiyaçlarını saptama ile ilgili süreç şematik olarak Şekil 1'deki gibi gösterilir.

Eğitim ihtiyaç değerlendirme (analizi) beş adımda yürütülebilir (20):

1. Organizasyonun Amaçlarını Tanımlama: Döngünün ilk adımı, organizasyonun açık, odaklanmış iş amaçlarına sahip olduğundan emin olmaktır. Bunun için bir misyon ifadesine ve bir dizi stratejik amaç gereklidir. Bu amaçlar herkese organizasyonun neyi önemli gördüğünü ve insanların işlerinde neye odaklanması

gerektiğini anlatmalıdır. Bu amaçlara bakarak bütün iş planı üzerinde hangi alanı değerlendirmenin şu anda önemli olduğu ve hangi alanın diğer alanlarla ilişkide olduğunu belirlemek olasıdır.



Şekil 1. Eğitim İhtiyacının Belirlenmesi Döngüsü (19)

2. Bir Eğitim Koordinatörü Atama: Eğitim ihtiyaçları birinin işinin bir parçası olmalıdır. Bu kişi de eğitim koordinatördür. Eğitim koordinatörü eğitimi organize etmede üst yönetimin katılımını görünürlük ve gerçekçi kılmalıdır. Eğitim için gerekli olan zaman ve paranın uygun olmasını üst yönetim tarafından anlaşılır olmasını sağlamalıdır. Yani eğitim ihtiyacını saptamadan eğitimi değerlendirme tekniği/teknikleri içinde aktif ve etkili bir rol oynayan bir eğitim koordinatörü ataması yapılmalıdır.

3. Şimdi İhtiyaç Duyulan ve Gelecekte İhtiyaç Duyulacak Bireysel Beceriler ve Yeterlilikler Hakkında Bilgi Toplama: Ne yapılması gerektiği, ne yapılıyor olduğu ve insanların bunu nasıl iyi yapmaları gerekiği hakkında bilgi toplamak lazımdır. Bu aşamada organizasyona uygun bir eğitim ihtiyaç değerlendirme tekniki/teknikleri kullanılarak bilgi toplanır. İhtiyaç duyulan bilgi üç alanda incelenebilir:

- Amacın kazanılması için insanlar neyi yapmaya ihtiyaç duyarlar?
- İnsanlar hangi bilgi ve beceriye zaten sahipler?
- Gelecek amaçları başarmaya devam etmek için gelecekte hangi bilgi ve beceriye ihtiyaç duyulacak?

4. Bilgiyi Analiz Etme: Analizin bu adımı hem uyarıcı hem de zorlayıcıdır. Analitik becerilere ihtiyaç duyulur. Etkili bir eğitim sürecinden faydalananırmak için eğitim ihtiyaç değerlendirme tam ve düzgün bir şekilde yürütülmeli gerekir. Analiz şu temel sorulara cevap vermelidir:

- Organizasyondaki mevcut personelin bilgi ve becerileri işlerini şu anda yerine getirmelerinde hangi farkları oluşturur?
- Organizasyondaki mevcut personelin bilgi ve becerileri işlerini gelecekte yerine getirmelerinde hangi farkları oluşturur?

Bu aşamada organizasyona uygun bir eğitim ihtiyaç değerlendirme tekniki/teknikleri kullanılarak elde edilen bilgiden analiz sonuçları elde edilir.

5. Şimdiki Durum İle Gereken/Gelecekteki Durum Arasındaki Farkları Tanımlama: Bu aşamada analiz sonuçları irdelenerek personelin bilgi ve beceri konularındaki eksiklikleri, yetersizlikleri veya farkları ortaya çıkarılır. Ortaya çıkarılan farklar arasında da önemli olan, yani önceliği bulunan farklar ele alınmalıdır. Bu farklara göre kimin eğitime ihtiyaç duyduğu, hangi eğitime ihtiyaç duyduğu ve eğitim önceliği sonuçları elde edilir.

4. MATERİYAL ve METOT

4.1. Materyal

MS Access programını oluşturmak için öncelikle *Eğitim İhtiyaç Değerlendirme Sistemi* ile ilgili çeşitli akademik dokümanlar, makaleler ve kitaplar incelenip internette araştırma yapılarak literatür taraması yapılmış ve bu konuda uzman bir kişilerle görüşülmüştür. Literatür taramasından sonra Personel Eğitim İhtiyaç Değerlendirme Karar Destek Programı için genel bazda sistem analizi yapılarak bilgisayar destekli analiz için gerekli kavramsal model yapısı oluşturulmuştur.

Bu çalışma için geliştirilen MS-Access 2000 programını, firmalara test ettirip değerlendirmek için yani *programın geçerlilik testi* için de bir *geri bildirim anketi* düzenlenmiştir. Bu ankette programın amacına ne düzeyde ulaştığı, bireysel ve organizasyonel verimliliğe katkısı, işleyişi ve kullanımını, *Eğitim İhtiyaç Değerlendirme Süreci* ile ilgili işletmenin eksik veya hatalı yanları, programın olumlu, eksik veya hatalı yanları ile ilgili konularda değerlendirme bilgileri yer almaktadır.

4.2. Metot

Bu çalışma için izlenen metodoloji şöyledir:

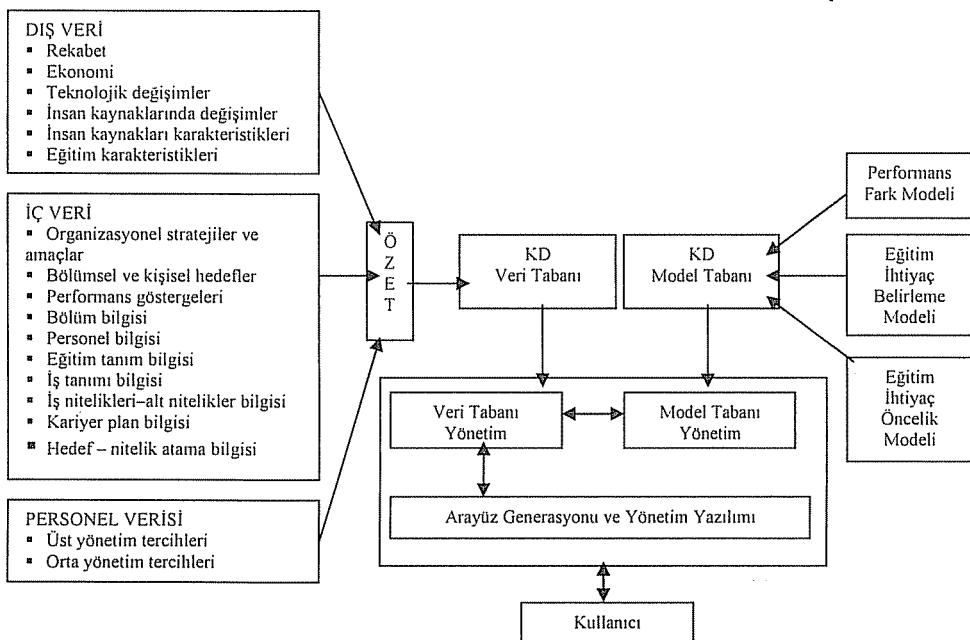
1. Çalışma ile ilgili literatürün araştırılması ve incelenmesi
2. Karar destek programının nasıl geliştirileceği üzerine araştırmalar yapılması
3. Araştırmalar neticesinde kavramsal modelin oluşturulması
4. Veritabanı ile ilgili varlık ilişki modelinin ve karar tablolarının oluşturulması
5. MS Access ile veritabanının hazırlanması ve ilişkilerin oluşturulması
6. Karar tablolarının ve sorguların MS Access programına Visual Basic programlama dili ve SQL sorgulama dili yardımıyla uygulanması
7. Geliştirilen MS Access programının hazırlayan kişi tarafından test edilmesi ve yanlışların/eksikliklerin giderilmesi
8. MS Access programının konuya ilgili üç insan kaynakları yetkilisi tarafından test edilmesi ve değerlendirilmesi.

4.2.1. Kavramsal Model

Kavramsal model bütün işletmeler için genel bazda geliştirilmek istenmiştir. Yani sadece bir sektörde ve/veya bir işletmeye özel bir model geliştirilmemiştir. Eğitim ihtiyaç değerlendirme için kullanılan iki yaklaşımından biri olan “*proaktif yaklaşım*” esas alınarak model geliştirilmiştir. Bunun için de mevcut ve potansiyel ihtiyaçlar ve bekleniler ele alınmıştır. Proaktif yaklaşımın farkı, stratejik plan amaçları karşılandığında hangi performans beklenileri üzerine odaklılaşacağıdır. Modelde *eğitim ihtiyaç değerlendirme süreci* ile *hedeflerle yönetim süreci* ilişkilendirilmiş ve bütünlendirilmiştir. Ayrıca modelde eğitim ihtiyaç değerlendirmede bireysel veri

toplama yöntemi olan *performans değerlendirme* yöntemi kullanılmıştır. Şekil 2'de geliştirilen kavramsal model gösterilmektedir.

Kavramsal modele göre (Şekil 2) iç veri, dış veri ve personel verisi olarak üç türlü verinin girilip işlenmesi söz konusudur. *İç veri*, karar destek veri tabanında önceden tanımlanmış olması gereken verileri içermektedir; organizasyonel stratejiler ve amaçlar, bölgümsel hedefler, kişisel hedefler, performans göstergeleri, bölüm bilgisi, personel bilgisi, eğitim tanım bilgisi, iş tanımı bilgisi, iş nitelikleri – alt nitelikler bilgisi, kariyer plan bilgisi ve hedef – nitelik atama bilgisi. *Dış veri*, eğitim ihtiyaç değerlendirme sürecini etkileyen dışsal etmenleri göstermektedir; rekabet, ekonomi, teknolojik değişimler, insan kaynaklarında değişimler, insan kaynakları karakteristikleri ve eğitim karakteristikleri. *Personel verisi* ise, üst yönetimin organizasyonel amaçlar ve hedefler üzerindeki kararlarını ve tercihlerini, bölüm yöneticilerinin de operasyonel ve bireysel hedefler ve nitelikler ile ilgili kararlarını ve tercihlerini yansıtmaktadır.



Şekil 2. Eğitim İhtiyaç Değerlendirme Karar Destek Modeli

Karar destek modelinin model alt yapısına bakıldığından üç türlü model görülmektedir: performans fark modeli, eğitim ihtiyaç belirleme modeli ve eğitim ihtiyaç önceliklendirme modeli. *Performans fark modeli*, bireysel hedefleri gerçekleştirmek için veya iş gerekliliğini sağlamak için veya gelecek ihtiyaçların şimdiden durumunu görmek için atanmış iş nitelikleri – alt niteliklerinin verilen önem puanlarına göre ne düzeyde karşılandığını ve oluşan farkları gösteren modeldir. *Eğitim ihtiyaç belirleme modeli*, bireysel hedefler veya iş gerekliliği için atanmış nitelikler – alt niteliklerin karşılanması sırasında oluşan farkların sebeplerini ortaya koyan ve bu sebeplerin

**PERSONEL EĞİTİM İHTİYAÇ DEĞERLENDİRMEŞİ İÇİN
BİR KARAR DESTEK YAZILIMI UYGULAMASI**

doğurduğu ihtiyacı (eğitim/eğitim – dışı) ortaya koyan modeldir. *Eğitim ihtiyacı önceliklendirme modeli* ise, bireysel hedefler veya iş gerekliliği için atanın nitelikler – alt niteliklerin karşılanmasıında oluşan farklardan kaynaklanan eğitim ihtiyaçlarının hangi öncelikte giderilmesi gerektiğini ortaya koyan modeldir.

5. BULGULAR

5.1. Kavramsal Model İş Mantığı Açıklaması

Karar destek modelinin iş mantığı açıklaması hususunda *model tabanı* ve *arayüz generasyonu* geliştirilmiştir. Karar destek modelinin model tabanını, karar tabloları ve arayüz generasyonunu da, ekran hiyerarşî diyagramı teşkil etmektedir.

5.1.1. Karar Tabloları

Kişisel hedeflere atanın nitelikler veya iş gerekliliği için atanın nitelikler veya kariyer gelişimi için atanın niteliklere göre kararlar çıkarabilmek için karar tabloları hazırlanmıştır.

Karar tablosu – 1 (Tablo 1) ile kişisel hedeflere atanın nitelikler konusunda farkları ortaya koyan, kariyer gelişim durumunu ortaya koyan, eğitim ihtiyacı varsa eğitimin önceliğini ortaya koyan bir kararlar dizisi yer almaktadır. Bu kararlar dizisine göre ulaşılan sonuçlar; eğitim ihtiyacı ve bu eğitim ihtiyacıının önceliği (önem düzeyi). Eğitim ihtiyaç öncelik seviyeleri daha önce Çizelge 5.5'te belirtildiği gibidir. Buna göre ilk giderilmesi gereken eğitim ihtiyacı, *acil öncelik seviyesine* sahip olandır. Daha sonra sırasıyla giderilmesi gereken eğitim ihtiyacı, *öncelikli ve normal öncelik seviyesine* sahip olandır.

Tablo 1. Kişisel Hedeflere Atanan Nitelikler için Karar Tablosu – 1^{*}

KOŞULLAR	KHÖ = 3									KHÖ = 2									KHÖ = 1												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
1. SÖP=3 ve YP=3	E	H	H	H	H	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	H	H	H				
2. SÖP=3 ve YP=2	H	E	H	H	H	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	H	H	H				
3. SÖP=3 ve YP=1	H	H	E	H	H	H	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	H	H				
4. SÖP=2 ve YP=3	H	H	H	E	H	H	H	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	H				
5. SÖP=2 ve YP=2	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	H				
6. SÖP=2 ve YP=1	H	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H				
7. SÖP=1 ve YP=3	H	H	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	E	H				
8. SÖP=1 ve YP=2	H	H	H	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	H	E				
9. SÖP=1 ve YP=1	H	H	H	H	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	H	E				
EYLEMLER																															
1. İhtiyaç Yok	X		X	X		X	X		X			X	X		X	X		X			X	X	X	X	X	X	X	X			
2. Kariyer Gelişim Planına Yansıt				X			X							X																	
3. Acil Eğitim	X	X			X					X	X																				
4. Öncelikli Eğitim								X							X		X		X	X											
5. Normal Eğitim																								X		X					

* KHÖ: Kişisel Hedef Önem Puanı SÖP: Şimdiki Önem Puanı YP: Yeterlilik Puanı

Karar tablosu – 2 (Tablo 2) ile iş gerekliliği için atanan nitelikler konusunda farkları ortaya koyan, eğitim ihtiyacı varsa eğitimin önceliğini ortaya koyan bir kararlar dizisi ile kariyer gelişimi için atanan nitelikler konusunda kariyer gelişim (kapasite) durumunu ortaya koyan bir kararlar dizisi yer almaktadır. Bu kararlar dizisine göre ulaşılan sonuçlar; eğitim ihtiyacı, bu eğitim ihtiyacının önceliği (önem düzeyi) ve kapasite durumu. İş gerekliliğinden kaynaklanan eğitim ihtiyacı, iki önem seviyesine sahiptir: *öncelikli ve normal öncelik seviyesi*. Kariyer gelişimi için atanan niteliklerin de personel tarafından sahip olunma kapasitelerinin değerlendirilme sonuçları ortaya koyulur. Bu sonuçlara göre kapasite durumunun *yüksek, normal ve zayıf* olarak nitelendirilmesi durumu ortaya çıkar.

Tablo 2. İş Gereği ve Kariyer Gelişimi için Atanan Nitelikler için Karar Tablosu-2***

KOŞULLAR	KH No = 1000001*									KH No = 1000002**		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3
1. ŞÖP=3 ve YP=3	E	H	H	H	H	H	H	H	H	E'	H	H
2. ŞÖP=3 ve YP=2	H	E	H	H	H	H	H	H	H	H	E'	H
3. ŞÖP=3 ve YP=1	H	H	E	H	H	H	H	H	H	H	H	E'
4. ŞÖP=2 ve YP=3	H	H	H	E	H	H	H	H	H	E'	H	H
5. ŞÖP=2 ve YP=2	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	E'	H
6. ŞÖP=2 ve YP=1	H	H	H	H	H	E	H	H	H	H	H	E'
7. ŞÖP=1 ve YP=3	H	H	H	H	H	H	E	H	H	E'	H	H
8. ŞÖP=1 ve YP=2	H	H	H	H	H	H	H	E	H	H	E'	H
9. ŞÖP=1 ve YP=1	H	H	H	H	H	H	H	E	H	H	H	E'
EYLEMLER	İş Gerekliliği									Kariyer Gelişimi		
1. İhtiyaç Yok	X			X	X		X	X	X			
2. Kariyer Gelişim Planına Yansıt												
3. Acil Eğitim												
4. Öncelikli Eğitim			X									
5. Normal Eğitim		X				X						
6. Kapasitesi Yüksek										X		
7. Kapasitesi Normal											X	
8. Kapasitesi Zayıf												X

5.1.2. Ekran Hiyerarşi Diyagramı

Program için hazırlanan ekran hiyerarşi diyagramı Şekil 3'te yer almaktadır. Hiyerarşi iki kullanıcı üzerinden gelişmektedir: bölüm müdürüleri ve insan kaynakları yetkili personeli.

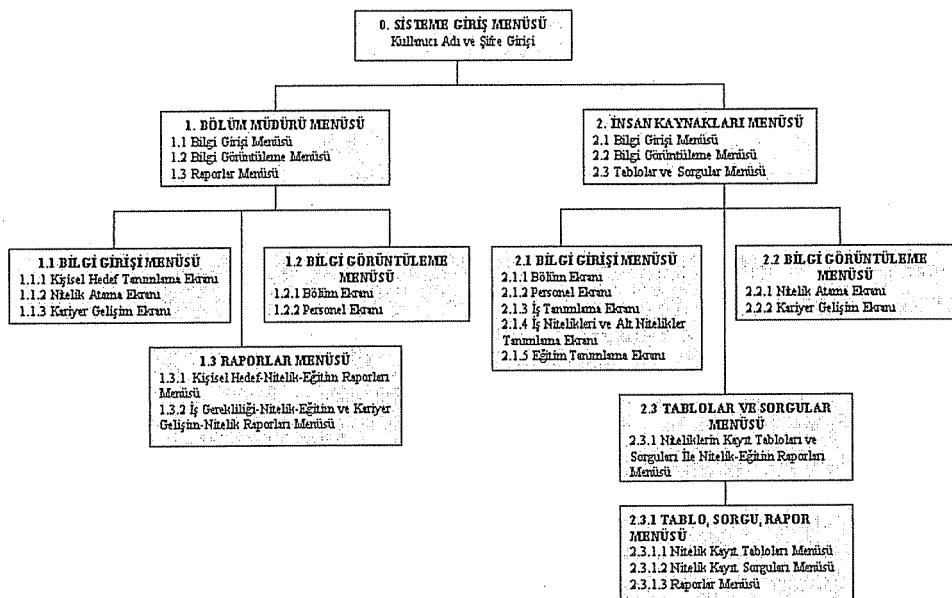
* KH No = 1000001 iş gerekliliği için atanan niteliklerdir.

** KH No = 1000002 geleceğe yönelik (kariyer gelişimi için) atanan niteliklerdir. Burada ŞÖP'ler GÖP olacaktır. YP'ler de KP olacaktır.

*** KH No: Kişisel Hedef No ŞÖP: Simdiki Önem Puanı GÖP: Gelecekteki Önem Puanı YP: Yeterlilik Puanı KP: Kapasite Puanı

¹İlgili sütundaki hücrelerin ait olduğu koşullardan yalnızca birisi gerçekleştiğinde eylem gerçekleşecektir.

PERSONEL EĞİTİM İHTİYAÇ DEĞERLENDİRME İÇİN BİR KARAR DESTEK YAZILIMI UYGULAMASI



Şekil 3. Ekran Hiyerarşisi Diyagramı

5.2. Eğitim İhtiyaç Değerlendirme Karar Destek Yazılımı Uygulaması

Oluşturulan kavramsal modelin fiziksel hale getirilmesinde Visual Basic ve SQL yardımıyla MS Access veritabanı kullanılmıştır. Geliştirilen bu uygulama MS Access üzerinde çalışmakta olup formlar aracılığıyla bilgi girişinin yapıldığı, bilginin görüntülendiği, raporların görüntülendiği bir uygulama olmuştur. Bu yazılım uygulaması, bireysel bazda eğitim ihtiyacının önceliğini ortaya koymak bölüm müdürlerinin kimin hangi eğitime, hangi öncelikte gitmesi gerektiği kararına yardımcı olmak için geliştirilmiştir. Program için hazırlanan ekran hiyerarşisi diyagramı Şekil 3'te gösterilmektedir.

Personel eğitim ihtiyaç değerlendirme karar destek programının iki tür kullanıcısı olacaktır: Bölüm müdürleri ve insan kaynakları (İK) bölümünde eğitimle ilgili yetkili personel.

Bölüm müdürleri, *eğitim ihtiyaç değerlendirme sistemi* ile ilgili yetkisi dahilindeki bilgi girişini yapacak, bazı bilgileri sadece görüntüleyecek ve hedef – nitelik, iş gerekliliği – nitelik, kariyer gelişim – nitelik atamaları dahilindeki eğitim ihtiyaç ve öncelik raporlarının erişecektir.

Eğitim konusunda yetkili İK personeli de, *eğitim ihtiyaç değerlendirme sistemi* ile ilgili yetkisi dahilindeki bilgi girişini yapacak, bazı bilgileri sadece görüntüleyecek ve hedef – nitelik, iş gerekliliği – nitelik, kariyer gelişim – nitelik atamaları dahilindeki eğitim ihtiyaç ve öncelik raporlarının hazırlanması için sorgular ve tablolar ilgili gerekli işlemleri yapacak ve süreci takip ve kontrol edecektir.

5.3. Eğitim İhtiyaç Değerlendirme Karar Destek Programı Geçerlilik Testi ve Geri Bildirim Anketi Sonuçları

Geliştirilen program üç işletmenin ilgili insan kaynakları yetkilileri tarafından test edilmiş ve değerlendirilip programın amaca uygunluğu, işletmedeki eğitim sisteme katkısı, bireysel ve organizasyonel verimliliğe etkisi, işleyiş ve kullanım durumu ve varsa eksik/yanlış yanları hakkında geri bildirim alınmıştır. Eğitim ihtiyaç değerlendirme karar destek programı geçerlilik testini yapan ve program hakkında geri bildirimde bulunan üç şirket yetkilisi, Adana'da faaliyet gösteren üç firmada çalışmaktadır. Bu şirketlerden ikisi tekstil, biri gıda sektöründe yer almaktadır: Süvari Giyim, Özmaya ve Bossa – 2.

Eğitim ihtiyaç değerlendirme karar destek programını test eden üç işletmenin ilgili yetkililerinin yaptığı test ve değerlendirme sonuçları Tablo 3'te gösterilmektedir. Programla ilgili genel değerlendirme yorumları da şöyledir:

Süvari Giyim; "Son katıldığım eğitim toplantılarında firmaların özellikle bu alanda sıkıntı yaşadığına dair gözlemlerde bulunuyorum. Dolayısıyla bu alanda bir çalışma yapılması oldukça akılçılardır ve vizyonel bir yaklaşım olacaktır". Özmaya; "Eğitim ihtiyacının belirlenmesinde objektif karar alınmasına yardımcı olacağım, olumlu yanıdır. Sistem için "olmama da olur" bilgilerin çıkarılması sistemi daha sade ve kullanımı hale getirebilir". Bossa – 2; "Ölçükçe detaylı bir çalışma olmuş. Özellikle hedeflerle yönetim ile ilintili olmasını çok başarılı buluyorum. Niteliklere işaret etmesi ölçülebilir olumlu bir yönü. Eğitim ihtiyaç saptama sürecinin tüm detayları düşünülmüş. İK deneyimi olmayan bir öğrenciden beklenmeyecek şekilde başarılı buluyorum".

6. SONUÇLAR

Rekabetçi avantaj kazanmak isteyen her işletme personelini eğitmeli ve geliştirmelidir. Bu yüzden kaliteli bir eğitim sistemi geliştirmesi ve uygulamaya geçirmesi şarttır. Kaliteli bir eğitim sistemine sahip olmak için işletmeler ilk adım olarak eğitim ihtiyaçlarını doğru saptamak zorundadır. Çünkü yanlış veya eksik saptanan eğitim ihtiyaçlarının giderilmesi hem bireysel hem organizasyonel olarak para, zaman ve emek kaybına neden olacaktır.

Yapılan bu çalışma ile ulaşılan sonuçlar şöyledir: Eğitim ihtiyaçlarını değerlendirmek için geliştirilmiş olan "*eğitim ihtiyaç değerlendirme karar destek programı*" ile hedefler bazında, iş gerekliliği bazında eğitim ihtiyaçları ve öncelikleri objektif, doğru, hızlı ve sistematik şekilde, karar verici konumundaki bölüm müdürlерine raporlar halinde sunulacak durumdadır. Program sayesinde bir ek katkı olarak personelin bir üst pozisyonuna terfi edebilmesi için taşeması gereken üst nitelikler konusunda kapasitesinin ne düzeyde olduğunu gösteren raporlar da bölüm müdürlерine sunulacak durumdadır.

Programı test etmiş işletmelerin, program ile elde edilmek istenen amaçları programın karşıladığı ifade ettikleri sonucu ortaya çıkabilir: Program, eğitim ihtiyaçlarını doğru saptamaya katkıda bulunmuştur. Program eğitim sisteminin kalitesine olumlu yönde etki edebilecektir. Programın verdiği karar desteğiyle saptanan eğitimlerin ve eğitim önceliklerinin bireysel ve organizasyonel bazda verimliliği artırmaya katkısı olacağına inanılmaktadır. Program anlaşıılır ve kullanımı olarak ifade

**PERSONEL EĞİTİM İHTİYAÇ DEĞERLENDİRMEŞİ İÇİN
BİR KARAR DESTEK YAZILIMI UYGULAMASI**

edilebilir. Program “eğitim ihtiyaç saptama” konusunda eksikleri veya hataları görmek konusunda az da olsa etkili veya yardımcı bulunmuştur.

Tablo 3. Karar Destek Programı Test ve Değerlendirme Anket Sonuçları ,

1. Programın eğitim ihtiyaçlarını doğru saptamada yardımcı olma düzeyi			
	Hiç yardımcı olmadı	Kısmen yardımcı oldu	Bütünleyle yardımcı oldu
SÜVARİ			X
ÖZMAYA		X	
BOSSA-2		X	
2. Programın eğitim sisteminin kalitesine olumlu yönde etki etmesi			
	Hiç Düşünmüyorum	Kısmen Düşünüyorum	Düşünüyorum
SÜVARİ			X
ÖZMAYA		X	
BOSSA-2			X
3. Programın verdiği karar desteğiyle saptanan eğitimlerin ve eğitim önceliklerinin bireysel bazda verimliliği arttturmaya katkısı			
	Hiç İnanmıyorum	Kısmen İnanıyorum	İnanıyorum
SÜVARİ			X
ÖZMAYA			X
BOSSA-2			X
4. Programın verdiği karar desteğiyle saptanan eğitimlerin ve eğitim önceliklerinin organizayonel bazda verimliliği arttturmaya katkısı			
	Hiç İnanmıyorum	Kısmen İnanıyorum	İnanıyorum
SÜVARİ			X
ÖZMAYA			X
BOSSA-2			X
5. Programın işleyisi ve kullanımı			
	Karışık ve Kullanışsız	Biraz Anlaşıılır ve Kullanışlı	Yeterince Anlaşıılır ve Kullanışlı
SÜVARİ			X
ÖZMAYA		X	
BOSSA-2			X
6. Programın “eğitim ihtiyaç saptama” konusunda eksikleri veya hataları görmeye ne düzeyde etkili veya yardımcı olması			
	Hiç Etkili ve Yardımcı Olmadı	Etki ve Yardım Düzeyi Az Oldu	Etki ve Yardım Düzeyi Çok Oldu
SÜVARİ			X
ÖZMAYA		X	
BOSSA-2		X	

Sonuç olarak, bilişim teknolojisinin işletmelerin diğer fonksiyonlarında olduğu gibi İK bölümünde de etkililiği, güncelliliği ve verimliliği arttturmada önemli bir rol oynamakta olduğu anlaşılmıştır.

7. KAYNAKLAR

1. Bingöl,D., "İnsan Kaynakları Yönetimi", Beta Yayınları, İstanbul, 1998.
2. Gel,O.C., "Bir Bağlılık Unsuru Olarak Eğitim ve Kişisel Gelişim", HR İnsan Kaynakları ve Yönetim Dergisi, Sayı:Ocak, 2003.
3. Pells,S., Stell,D. et.al., "Industry Training And Productivity – A Literature Review, Report to the Industry Training Federation", Nzier, New Zealand, 2004.
4. Subaşlar,B., "Eğitimle Değer Yaratmanın İlk Adımı: Eğitim İhtiyaç Analizi", <http://www.makalem.com>, 2002.
5. Mcgehee,W., Thayer,P.W., "Training In Business And Industry", John Wiley & Sons, Inc., 285s., USA, 1961.
6. Gilbert,T., "Human Competence: Engineering Worthy Performance", McGraw – Hill, Inc., USA, 1978.
7. Rossett,A., "Training Needs Assessment", Educational Technology Publications, USA, 1987.
8. Nowack,K.M., "A True Training Needs Analysis", Training & Development Journal, April, pp. 69 – 73, 1991.
9. Mager,R., Pipe,P., "Analying Performance Problems", Center For Effective Performance, Atlanta, GA, 1997.
10. Gupta,K., "A Practical Guide To Needs Assessment", John Wiley & Sons, Inc., 210s., USA, 1999.
11. Chiu,W., Thompson,D., et.al., "Re – Thinking Training Needs Analysis A Proposed Framework For Literature Review", Personnel Review, Vol. 28 No. 1/2, pp.77 – 90, 1999.
12. Holton III,E.F., Bates,R.A., et.al., "Large – Scale Performance – Driven Training Needs Assessment A Case Study", Public Personnel Management, Vol. 29 No.2, pp.249 – 267, 2000.
13. Swart,J., Mann,C., et.al., "Human Resource Development Strategy And Tactics", Elsevier Butterworth – Heinemann, 392s., GB, 2005.
14. Grace,M., "Training Needs Analysis", British Dental Journal, Vol. 190 No.10, pp.524 – 526, 2001.
15. Swist,J., "Conducting A Training Needs Assessment", Society For Human Resource Management (SHRM) White Paper, 2001.
16. Karasar,N., "Training Needs Assessment Of The Industrial Manufacturing Sector", TC Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Sinai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğü, Ankara, 1989.
17. Dolliver,S.K., "To Train Or Not To Train? ... An Essential Question", Supervision, Vol. 54 No.10, pp.12 – 15, 1993.
18. Rouda,R.H., Kusy,M.E., "Needs Assessment The First Step", Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 1995.
19. Decenzo,D.A., Robbins,S.P., "Human Resource Management", John Wiley & Sons, Inc., USA, 1999.
20. Grace, M., 2001.

ÇAMLIYAYLA (TARSUS KUZEYİ) GÜNEY KESİMINİN STRATİGRAFİSİ**Mehmet GÖK**

TCDD 6. Bölge Müdürlüğü, Adana/Türkiye

Cavit DEMİRKOL ve Ulaş İnan SEVİMLİ

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

ÖZET : Bu çalışmada İçel ili, Tarsus ilçesi kuzeyinde ve Kozan N33 d2 ve d3 pastaları içerisinde bulunan, Çamliyayla ve Atdağı yerleşim alanlarının içerisinde yer aldığı yaklaşık 72 km² lik alanda yüzeylenen kayaçların tektoniği incelenerek, belirtilen alanın 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası yapılmıştır.

Yapılan incelemeler sonucunda; çalışma alanında 7 adet kaya stratigrafi birimi ayırtlanarak haritalanmıştır. Bu birimler sırasıyla, bölgede temeli oluşturan sıg denizel ve platform tipi karbonatlardan oluşan, Üst Triyas-Kretase yaşılı Demirkazık; Üst Kretase yaşılı Mersin ofiyolit melanjı; sıg denizel nitelikli Paleosen-Eosen yaşılı tabanda çakıltaşlarıyla başlayıp çakılı kumtaşları ve en üstte kireçtaşları bulunan Kaleboynu; karasal nitelikli, Oligosen-Alt Miyosen yaşılı Gildirli; resif gerisi fasıyesindeki Alt-Orta Miyosen yaşılı Kaplankaya formasyonu ve resifal nitelikli Burdigaliyen-Langiyen yaşılı Karaisali formasyonudur. İnceleme alanındaki en genç çökelmanı ise Kuvaterner yaşılı alüvyonlar temsil etmekte olup, diğer tüm birimleri açısal uyumsuzlukla tüberlemektedir. Üst Triyas-Jura-Kretase yaşılı olan ve bölgede temeli oluşturan Demirkazık formasyonunun üzerine Üst Kretase yaşılı Mersin ofiyolitli melanjı tektonik dokanakla gelmektedir. Bu iki birimin üzerine Paleosen-Eosen yaşılı Kaleboynu formasyonu açısal uyumsuz olarak bulunmaktadır. Gildirli, Kaplankaya ve Karaisali formasyonlarından oluşan istifin inceleme alanında bu birimin üstüne açısal uyumsuzlukla geldiği ve inceleme alanında en genç çökelmanı temsil eden Kuvaterner yaşılı alüvyonlarının ise

üzerine geldikleri tüm birimleri açısal uyumsuzlukla örttüüğü belirlenmiştir. Kaplankaya formasyonu, Gildirli formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmekte, Karaisali formasyonu ile yanal ve düşey yönde geçiş göstermektedir.

Çalışma alanının tektonik konumu kapsamında, bölgede genel olarak Ecemış Fay sisteminde yer alan 5 adet fay tespit edilerek haritalanmıştır.

STRATIGRAPHY OF SOUTHERN ÇAMLIYAYLA (NORTH OF TARSUS)

ABSTRACT : *In this study, 1/25.000 scaled geological map have been completed at Çamlıyayla and Atdağı regions to the North of the Tarsus (İçel) which covers an area of approximately 72 square km within the Kozan N33 d2-d3 topographical sheets.*

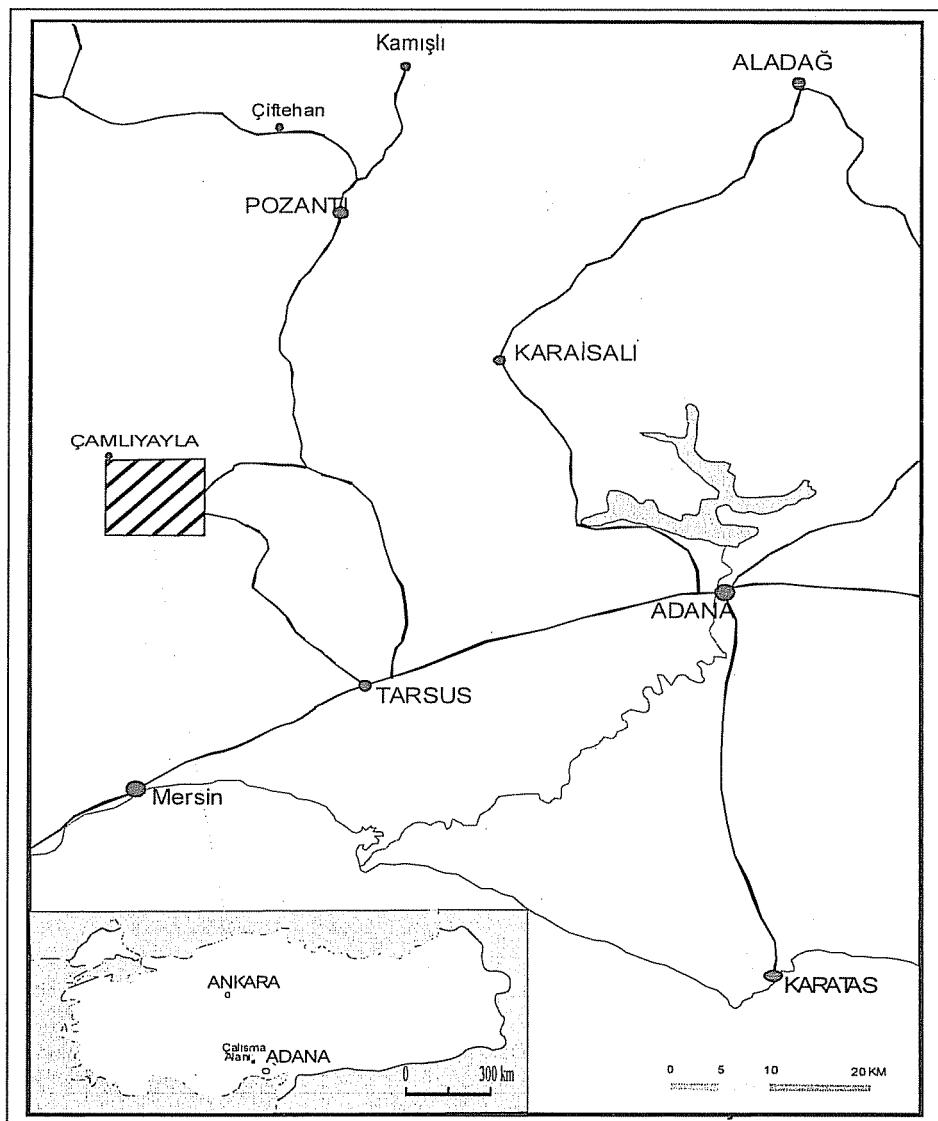
Seven stratigraphical units have been distinguished and mapped in this study. These units, from bottom to the top, are Upper Triassic-Cretaceous age Demirkazık formation; which form the base of all unit and mainly comprises shallow marine and platform carbonates, Upper Cretaceous age Mersin ophiolithes melange; Paleocene-Eocene age Kaleboynu formation which comprises shallow marine units, from bottom to the top, conglomerate sonda conglomerate and limestone; Oligocene-Lower Miocene Gildirli formation which have terrestrial origin, Lower-Middle Miocene Kaplankaya formation which is characterized by back reef sediments and finally Burdigalyen-Langhian aged Karaisali limestone characterized by reef limestone. The youngest unit of the study area is Quaternary alluviums. Tertiary sediments, including conglomerate-sandstone-limestone, Gildirli, Kaplankaya formation and Karaisali limestone cover the upper Cretaceous rock units with angular unconformity and the youngest sediments Quaternary alluviums overlie all units with angular unconformity. While the Kaplankaya formation has transitional contact with Karaisali formation, it conformably rests on the Gildirli formation.

In tectonic location of studying area, five faults have been distinguished and mapped in this area.

1. GİRİŞ

İnceleme alanı Mersin ili, Tarsus ilçesinin yaklaşık 45 km kuzeyindeki Çamlıyayla ilçesi ve güneyinde bulunan Atdağı köyü civarını kapsamaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı 1/25.000 ölçekli Kozan N33 d2, d3 topografik paftaları içerisinde yer almaktır ve yaklaşık 72 km².lik bir alanı kapsamaktadır. Çalışma alanı içerisinde yer alan başlıca yerleşim yerleri; Çamlıyayla (A1-2), Belçinar Köyü (D3), Fakılar Köyü (D1), Atdağı Mahallesi (E3), Çığrın (G5), Karain (B8-9), Sarıkavak Köyü (F9)'dır.

Çalışmada Mesozoyik ve Senozoyik yaşı kaya birimleri litostratigrafi ve kronostratigrafi esaslarına göre ayırtlanmış olup, bölgenin 1/25.000 ölçekte ayrıntılı Jeoloji haritası hazırlanmıştır. Çalışma alanında Adana ve Mut-Silifke basenleri Tersiyer istifine benzeyen bir istif gözlenmektedir. Bölgede temeli Üst Triyas-Kretase yaşı Demirkazık formasyonu oluşturmaktır, üzerine sırasıyla; Paleosen-Eosen yaşı Kaleboynu formasyonu, Oligosen-Alt Miyosen yaşı Gildirli, Alt-Orta Miyosen yaşı Kaplankaya ve Karaisali formasyonları gelmektedir. Bölgedeki en genç çökelim ise Kuvaterner yaşı alüvyonlardır.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.

							AÇIKLAMALAR	
ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMATION	LİLOJİ				
MESOZOYİK	JURA	KTERASE	PALEOSEN	EOPEN	OLIGOSEN	ALT-ORTA MIYOSEN	Alüyon (Qall)	Çakıltaşı-Kumtaşısı: Kireçtaşı, ofiyolit vb. Birimlerden oluşmaktadır.
							Kardisoli (Ko)	Diskordans
							Kaplantıya (Ko)	Resifal Kireçtaşı: Ayrışma yüzeyi sarımsı bej, taze kırık yüzeyi pembeimsi sarı, masif görünümü, sert sağlam dayanıklı.
							Gildiri (Gj)	Silttaşısı: Ayrışma yüzeyi sarımsı bej, taze kırık yüzeyi bej, ince-orta tabakalı, iyi boyanmalı yuvarlak taneli
							Kaleboynu (Kbo)	Çakıltaşı-Kumtaşısı: Sarımsı kahve renkli, kireçtaşlarından türeme taneleri içermekte formasyon tabanını oluşturmaktır.
							Mersin Of. (Kmol)	Kumlu-Silttaşısı: Sarımsı kahve renkli, ince taneli, karbonat cimentolu, iyi boyanmalı, ince ve yer yer çapraz tabakalı, yuvarlak, polijenik elemanlı, yer yer silttaşısı arabantılı.
							Demirkazık (TRJKd)	Çakıltaşı: Koyu gri renkli, 3-50 cm boyutlu, kötü boyanmamalı, az yuvarlaşmış ve polijenik elemanlı, kum matriksli, orta derecede tutturulmuş ve masif görünümü
								Diskordans
								Kireçtaşı: Ayrışma yüzeyi gri, taze kırık yüzeyi krem sert sağlam dayanıklı, bol Nümlites fosili içermekte.
								Kumtaşısı: Bol miktarda Nümlites ve Assilina fosilleri içermekte. Sarımsı krem renkli, taze kırık yüzeyi krem-bej, orta tabakalı.
								Çakırtaşısı: Ofiyolit malzeme ve kireçtaşlarında oluşmaktadır. Kırmızımsı renk tonu ve yuvarlak taneler ile belirgindir.
								Uyumsuzluk
								Ofiyolit: Ayrışma yüzeyi yeşil ve kahve rengi, taze kırık yüzeyi yeşilin tonları.
								Kireçtaşı: Ayrışma yüzeyi gri, taze kırık yüzeyi koyu gri, sert sağlam dayanıklı, mikritik yapılı.
								Dolomit: Ayrışma yüzeyi grimsi beyaz, taze kırık yüzeyi koyu gri, orta-kalın tabakalı, sert sağlam dayanıklı, kırık ve çatlaklar kalsit dolgulu

Şekil 2. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti.

2. STRATİGRAFİ

Çalışma alanında Mesozoyik'te iki, Senozoyik'te beş olmak üzere toplam yedi adet litostratigrafi birimi ayırtlanmıştır. Bu birimlerin stratigrafik özellikleri ile olan konumları aşağıya çıkarılmıştır.

2.1. Demirkazık Formasyonu (TrJKd)

Ecemış Fay Kuşağı'nın D-KD'sunda geniş alanlar boyunca yayılım sunan açık-koyu gri renkli, orta kalın katmanlı, Involutina sp. ve alg dışında kit mikrofossilli, çoğulukla mikritik yapılışlı kireçtaşı istifine Demirkazık kireçtaşı adı verilmiştir (1,2). Demirkazık kireçtaşı adı daha sonra pek çok çalışmacı tarafından Demirkazık formasyonu olarak değiştirilmiştir (3).

Demirkazık Formasyonu çalışma alanında geniş alanda yüzlekler vermektedir. Yüzleklerin olduğu başlıca alanlar, Gökyar Tepe (C6), Körmenli (Karain)'in güneyi (C9), Çamlıyayla'nın güneyi (B4), Kabaardıç Tepe'nin güney ve güneydoğusu (D9) dur (Şekil 3).

Genel olarak akarsu yatakları ve benzeri aşınma alanlarında yüzlek veren birim sarp topografyası ve açıktan koyuya kadar değişen tonlardaki gri rengiyle belirgindir.

Demirkazık formasyonu genel olarak dolomit, dolomitik kireçtaşı ve mikritik kireçtaşı litolojilerini içermektedir. Çalışma alanında birimin görünür alt kesimlerini dolomit ve dolomitik kireçtaşları oluşturmaktadır. Bu tabakanın ayırtma yüzeyi grimsi beyaz, taze kırık yüzeyi gri, oldukça sert, sağlam, dayanıklı, mikritik dokulu çatlaklı ve kırıklı, çatlak ve kırıkları kalsit dolguludur.

2.2. Mersin Ofiyolitli Melanjı (Kmof)

Mersin Ofiyolitli Melanjı literatürde değişik adlarla anılmaktadır. Örneğin Tepeköy Türüsü (4). Bu çalışmada kullanılan Mersin Ofiyolitli Melanjı terimi ilk kez Şenol ve diğ. tarafından kullanılmıştır (5). Çalışma alanının güneyinde yapılmış olan çalışmada Mersin Ofiyoliti adı kullanılmıştır (6). Çalışma alanında bu birimin içerisinde yer yer sedimanter bloklar gözlendiğinden Mersin Ofiyolitli melanjı adı kullanılmıştır. Birimin daha yaşlı birimler üzerine tektonik dokanakla geldiği daha önceki araştırmalarda belirtilmiştir. Çalışma alanında Gökyar Tepenin güneyinde (C6) faylanma ile düşen blok üzerinde çok küçük bir alanda gözlenmektedir. Altta Triyas-Jura-Kretase yaşlı Demirkazık formasyonu yer almaktan haritalama alanının güney batısında ise yine Demirkazık formasyonu üzerine tektonik dokanak ile gelmektedir.

Üst dokanağı çalışma alanında görülmemektedir. Ayırtma yüzeyi yeşil, kahverengi tonlarda, taze kırık yüzeyi yeşilin tonları ve kahverengidir. Çeşitli araştırmacılar tarafından birimin yerleşim yaşı Üst Kretase olarak belirtmiştir (6). Çalışma alanından alınan numunelerden elde edilen ince kesit incelemesinde; serpentinleşmiş minerallerin bulunduğu, kayacın büyük kesiminin kırıklı çatlaklı olivinlerden meydana gelmekte ve opak mineraller içeriği gözlenmektedir. Opak mineraller ise çoğulukla krom mineralleridir. Serpentinleşmiş dünit, elek dokusu göstermektedir. Piroksenler ise %10'dan az olup altere olmuştur.

2.3. Kaleboynu Formasyonu (Tkb)

Ecemış fay kuşağıının doğu bloğunda Kaleboynu tepesinin güneybatısındaki yüzlekte boz, orta kalın katmanlı, kumlu kireçtaşı, kumtaşçı-çakıltası nöbetleşmesi şeklinde devam eden bu birime ilk defa Kaleboynu formasyonu adı verilmiştir (7). Bu çalışmada da inceleme alanında da benzer litolojik özellikler sunan birim için aynı adın kullanılması uygun görülmüştür.

Çalışma alanında Atdağı (E4), Belçınar (D4) in güney kesiminde, Kırıntı mahallesinin (E5) batı kesiminde gözlenmektedir. Bu birimler bölgede Demirkazık formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Tabanda kireçtaşlarından türemiş çakıltaları, bunun üzerine kumtaşçı, kiltaşı ve ayrılmış kumlu killi kireçtaşları gelmektedir. Çakıltalarının ayrılmış yüzeyi kırmızımsı sarı, üste doğru kumtaşları, kiltaşları ve kumlu-killi kireçtaşlarının gri, taze kırık yüzeyi krem, ince -orta tabakalı, yer yer sert sağlam ve dayanıklıdır. Çakıltaları içerisinde yer yer kumtaşı merceklenmeleri gözlenmektedir. Daha öncesinde aynı bölgede yapılmış olan paleontoloji çalışması sonucunda tanımlanan fosiller birimin sığ denizel ortamda çökeldiğini göstermektedir (8).

Aynı bölgede yapılmış olan paleontoloji çalışmasında aşağıdaki fosiller ayırtlanarak birimin yaşı Paleosen-Alt-Orta Eosen olarak belirtilmiştir (8).

Alveolina Subpyrenaica Leymerie,
Alveolina moussosulensis Hottinger,
Nummulites burdigalensis,
Lochartia huntii ovey,
Nummulites Lehneri Schaub.

2.4. Gildirli Formasyonu (Tgi)

Adana Baseni’nde gözlenen karasal nitelikli Alt Miyosen yaşı çökeller Gildirli Formasyonu olarak ayırtlanmıştır (9). Bu çalışmada da karasal ortamda oluşan kötü boyanmalı çakıltaları Gildirli Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Gildirli Formasyonu çalışma alanında Atdağı'nın kuzey (F2) ve kuzeydoğu (G2, H3) ile Sarıkavak köyünün güneyinde (F9) yüzeylenmektedir. Gildirli formasyonu genel olarak; çakıltası, kumtaşçı ve silttaşından oluşan bir litolojiye sahiptir. Birimin tabanında iri blok boyutundan çok küçük çakıla kadar değişen çakıllar kum matriksle cimentolanmıştır.

Gildirli formasyonu kötü boyanmalı, Eosen fosilleri içeren ve Demirkazık kireçtaşlarından kopan köşeli çakıllardan oluşmaktadır. Tabandaki iri çakıl taneleri, üste doğru daha küçük tanelere geçmektedir. Ayrılmış yüzeyi koyu gri taneli, taze kırık yüzeyi koyu gri taneli sert sağlam dayanıklı, orta kalın tabakalıdır. Arazide koyu kahverengi ile kolayca ayırt edilebilmektedir.

İnceleme alanında Gildirli formasyonuna yaş verebilecek herhangi bir fosil bulgusuna rastlanılamamıştır. Birim içerisinde Eosen'e ait Nümmilites'ler içeren çakıltalarına rastlanılmıştır. Bu bulgu birimin Eosen'den daha genç olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Üzerine ise Alt-Orta Miyosen yaşı, birbiriley düşey ve yanal geçişli Kaplankaya ve Karaisalı formasyonları geldiğinden bu birime Oligosen-Alt Miyosen yaşı verilmiştir (1, 2, 6, 8, 9). Kırmızımsı renk birimin hakim renk tonu olup, çapraz tabakalı, aşınmalı tabanlı dönemli, çok kötü boyanmalı ve çok kit fosil içermesi

yanında hiç denizel fosil bulunmaması gibi özellikleri Gildirli Formasyonunun akarsu ortamından çökeldiği sonucunu vermektedir.

2.5. Kaplankaya Formasyonu (Tkp)

Adana Basen'i nin kuzeyindeki Kaplankaya Tepe'de tip kesit ve yeri gözlenen ve başlıca kumlu-siltli kireçtaşı, çakılı kumtaşı ve marn litolojilerinden oluşan bu birime ilk defa Kaplankaya formasyonu adı verilmiştir (10). Bu çalışmada da inceleme alanında da benzer litolojik özellikler sunan birim için aynı adın kullanılması uygun görülmüştür.

Kaplankaya formasyonu çalışma alanında genişçe sayılabilecek bir alanda yüzlek vermekle olup, Demirkazık formasyonu ve Paleosen-Alt-Orta Eosen yaşı birimler üzerine uyumsuz olarak, Gildirli formasyonu üzerine ise uyumlu olarak gelmiştir. Birim Kıırıntı mahallesinin güneybatisında (E5), Belçınar (D3), Göpter mahallesi (B2), Atdağı (E3), Fakılar (D1), Çamlıyayla (A1) ve Sarıkavak köyü (F9) civarında yüzeylemektedir. Genellikle çakıltaşı, kumtaşı, kumlu-siltli kireçtaşı ve marn litolojileri sunan Kaplankaya formasyonu bol fosil içeriği ve yumuşak topografik görüntüsüyle karakteristiktitir.

Kaplankaya formasyonu tabanda, sarımsı kahve renkli, orta yuvarlak, tane destekli, masif görünümülü, kuvars, çört ve ofiyolit ile birlikte genelde kireçtaşlarından türeme, kötü boylanmalı çakıltaşı-kumtaşı ardalanmasından oluşan bir seviye ile başlar. Üzerine ayrışmış yüzeyi sarımsı-kahve-bej, taze kırık yüzeyi krem, ince-orta tabakalı, yuvarlak, ince-orta taneli, iyi boylanmalı, orta sertlikte kumtaşı-silttaşı birimleri gelmektedir. Birimin daha üst seviyelerinde ise, ayrışmış yüzeyi gri, taze kırık yüzeyi sarımsı-gri renkli, ince-orta tabakalı, orta dayanıklı marnlar ile ayrışmış yüzeyi açık gri, taze kırık yüzeyi krem, sarımsı-akı gri renkli, orta kalın tabakalı, orta dayanıklı, çatlak ve kırıkları kalsit dolgulu killi kumlu kireçtaşı seviyeleri yer almaktadır. Çalışma alanında yer yer orta kalın tabakalar oluşturmaktadır.

Çalışma alanının doğu ve kuzeydoğusunda bulunan arazide derlenmiş olan nokta ve seri örneklerin Prof. Dr. Niyazi Avşar tarafından incelenmesi sonucu aşağıdaki fosiller belirlenerek birime Alt Miyosen yaşı uygulanmıştır (11);

- Textularia* sp.,
- Amphistegina* sp.,
- Peneroplis* sp.,
- Operculina* sp.,
- Heterostegina* sp.,
- Borelis* sp.,
- Rotaliidae*,
- Miliolidae*.

Önceki araştırmacıların belirlemiş oldukları fosiller dikkate alınarak Kaplankaya Formasyonu'nun yaşı Alt-Orta Miyosen olarak kabul edilmiştir.

Inceleme alanında Kaplankaya formasyonu, tabandaki akarsu karekterli Gildirli formasyonu üzerine, denizel lamellibrans, gastrapod, ekinid ve çeşitli türden foraminiferler içeren çakıltaşı, silttaşısı ve çakılı-kumlu kireçtaşı ve marn gibi litolojiler sunmakta, sonuçta tabanda kıırıntılarla başlayıp yukarıya doğru kıırıntı oranı azalan, buna karşın karbonat oranı artan bir istif oluşturmaktadır. Buna göre Kaplankaya

formasyonu litolojik özellikleri, fosil içeriği ve geometrisi ile sıç deniz-plaj ortamı ve resif gerisi lagün ortamında çökelmiş olmalıdır (11).

2.6. Karaisalı Formasyonu (Tka)

İlk kez Shemidt tarafından kullanılan Karaisalı kalkerleri adı daha sonraki araştırmacılar tarafından Karaisalı kireçtaşı ve Karaisalı formasyonu olarak değiştirilmiştir. Birim adını, tip kesit ve yerinin gözlendiği ve oldukça geniş mostralalar sunduğu Adana'nın Karaisalı ilçesinden almıştır (9). Bu çalışmada da Karaisalı formasyonu isminin kullanılması uygun görülmüştür.

Çalışma alanında geniş bir yayılım gösteren Karaisalı formasyonu, genellikle çalışma alanındaki topografik yükseltileri oluşturmaktır ve sunduğu tek düzeye görünüm, litolojik özellikleri ile sahada kolayca tanımlanabilmektedir.

Karausalı formasyonu çalışma alanında Atdağı civarı (F3), Erdoğu Kale Tepe civarı (G6), Sarıkavak köyü civarı (F9), Çatalçesme'nin güneybatı-batısında (A5) ve Çamlıiyayla'nın kuzeydoğusunda (B1) yüzlekler sunmaktadır.

Çalışma alanında genellikle dik şevel sunan resifal nitelikli Karaisalı kireçtaşı, başlıca kireçtaşından oluşmaktadır. Kireçtaşı; ayrışma yüzeyi gri, taze kırık yüzeyi krem-bej, sert sağlam dayanıklı bol fosilli; yer yer killi yapı sunmaktadır.

Çalışma alanının batısında, Körlü-Tarsus çevresinde derlenen aşağıdaki fosillere göre birime Burdagaliyen yaşı verilmiştir (12);

Clypeaster cf. crassicostatus Sismonda,

Clypeaster cf. acuminatus Desor;

Archaias sp.,

Rotalia sp.,

Asterigerina sp.,

Lithothamnidae.

Çalışma alanının doğu ve kuzeydoğusunda yapılan çalışmalarda arazide derlenmiş olan nokta ve seri örneklerin Prof. Dr. Niyazi Avşar tarafından incelenmesi sonucu aşağıdaki fosiller belirlenerek birime Alt Miyosen yaşı uygulanmıştır (11). Ancak bölgede daha önce çalışma yapmış araştırmacılara dayanarak Karaisalı formasyonun yaşı Burdagaliyen-Langiyen olarak kabul edilmiştir;

Borelis melo Fichtel ve Moll,

Amphistegina sp.,

Peneroplis sp.,

Textularia sp.,

Globigerina sp.,

Miliolidae,

Rotaliidæ,

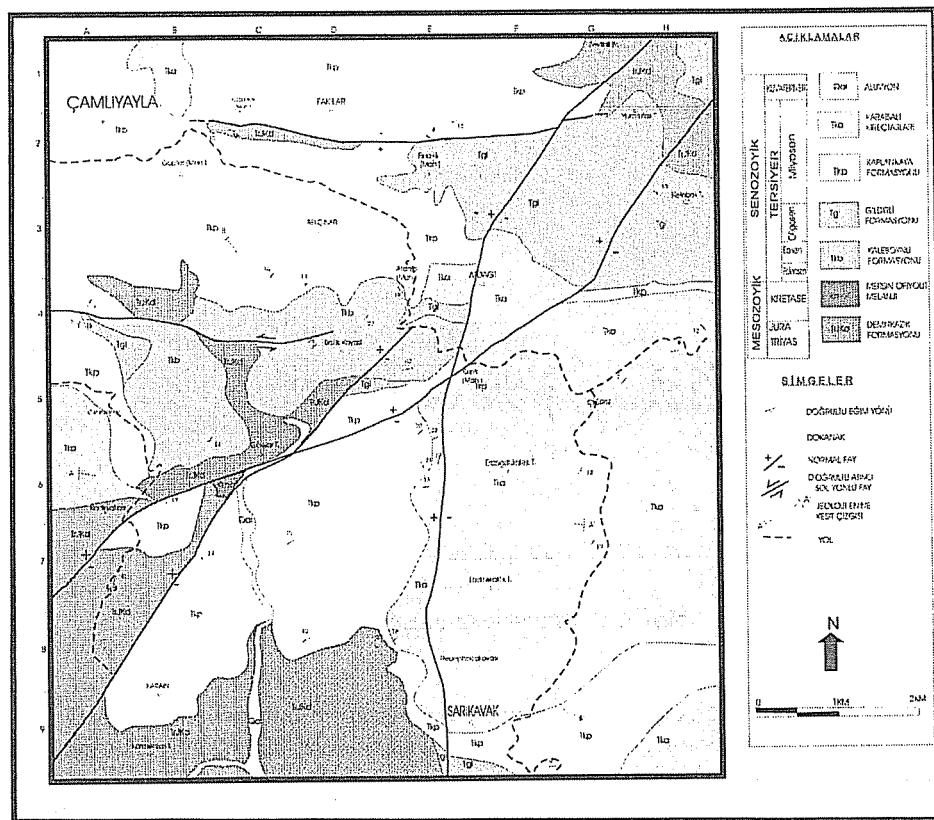
Algae,

Mercan.

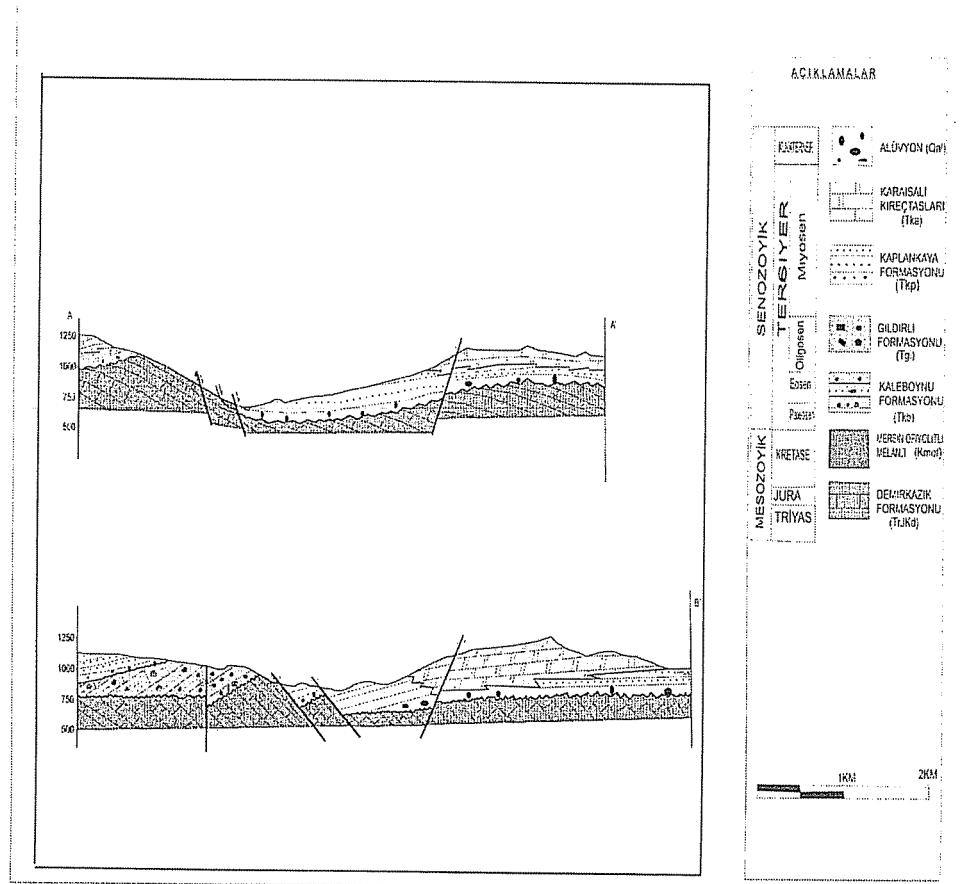
Karausalı formasyonu muhtemelen Burdagaliyen'de güneyden kuzeye dereceli olarak ilerleyen Miyosen denizinin sıç, çalkantılı ılık kesimlerinde ve daha çok Miyosen öncesi topografik yükseltilerinde resif kompleksi olarak gelişim göstermiştir (10).

2.7. Alüvyon (Qal)

Çalışma alanında gözlenen en genç çökelimi; başlıca ofiyolit, kireçtaşları, radyolarit, kuvars ve çörten türeme çakillardan oluşan ve genellikle dere yataklarında gözlenen alüvyon oluşturmaktadır. Çalışma alanında birçok küçük dere yatağı bulunmaktadır. Bunların en önemlisi Kale deredir. Kale dere kuzeyden başlayıp güneye doğru akmakta ve çalışma alanının tamamını katetmektedir. Alüvyonlar başlıca bu dere boyalarınca ince kuşaklar halinde gelişmişlerdir.



Şekil 3. Çamlıyayla (Tarsus Kuzeyi) güney kesiminin jeoloji haritası.



Şekil 4. Çalışma alanının enine kesitleri.

3. YAPISAL JEOLOJİ

Çalışma alanı, bölgesel ölçekte Ecemiş Fay Kuşağı ile birbirinden ayrılan Orta ve Doğu Toroslar'ın sınır zonunda ve bu zonun doğusunda yer almaktadır. Çalışma alanı Ecemiş Fay Kuşağı ile Doğu Toroslar üzerinde bulunmaktadır.

Toros orojenik dağ kuşağında yer alan Mesozoyik yaşılı kıta kenarı ortamı çökellerinin Arap-Afrika kıtasına ait bir temel üzerinde yer aldığı ve Tetis Okyanusunun Arap-Afrika kıtası ile ilişkilerinin duraylı kıta kenarı koşullarını yansıttiği bilinen bir görüsüstür (13). Tetis'in Doğu Akdeniz kesiminde deniz tabanı yayılması koşullarına en genç Üst Triyas'ta ulaştığı değişik araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur (14-16). Buna göre Tetis'in Doğu Akdeniz bölümünde Üst Triyas-Alt Kretase zaman aralığında Tetis okyanusu ile Afrika kıtası arasında duraylı kıta kenarı

koşullarını yansıtan ilişkiler bulunmaktadır. Mestirihtiyen'de ise bölgede kita şelfine ait karbonat platformunun faylanması ve bölgein ofiyolit yerleşimine sahne olması durayla kita kenarı koşullarının değiştiğini yansitmaktadır (10).

İnceleme alanı ve civarında eldeki tektonik verilere göre; Paleozoyik evresinin hemen sonrasında kuzeydoğu-güneybatı; Mesozoyik evresinde ise yaklaşık doğu-batı yönlü bir sıkışma rejimi etkisi altında kaldığı belirtilmiştir (17). Kahramanmaraş ve civarında yapılan çalışmalarla Kahramanmaraş kuzeyinin tektonik rejiminin Doğu Anadolu ve Ölü Deniz faylarının denetiminde özel koşullar altında gelişliğini ve daha sonraki evrelerde Doğu Anadolu ve Kuzey Anadolu faylarının gelişmesi ile kuzey-güney yönlü sıkışma kuvvetlerinin kısmen karşılaşması ile Miyosen yaşlı çökellerde doğu-batı uzanımlı kıvrımlar oluştuğunu belirtmişlerdir (18,19).

3.1. Faylor

İnceleme alanında genelde KD-GB ve D-B yönlü faylor gözlenmektedir. Bu fayların tamamı arazide normal fay olarak izlenmektedir. Çizilen fayların tamamı düşey veya düşeye yakın konumlu olacak şekilde yatay düzlemle geniş açı yapmakta ve arazide ancak düşey veya eğim atım gözlenemektedir. Faylar üzerinde sadece düşey ve eğim atım gözlenmesi ve yeterince detay yapmaya izin verecek fay düzlemi gözlenmemesi nedeniyle bu faylardan dört tanesi haritada normal fay, bir tanesi ise tabaka dokanak ilişkileri gözlenerek sol yönlü doğrultu atımlı fay olarak işaretlenmiştir.

Çalışma alanındaki en genç fay; Gökyar tepeninin güneyinde fay düzlemi çok net bir şekilde gözlenebilen faydır. Çalışma alanını yaklaşık olarak KD-GB uzanımda boydan boyaa kesmektedir. Bu fay, yatay düzlemle dik veya dike yakın bir açı yapmakta olup, haritada normal fay olarak işaretlenmiştir.

Çalışma alanında gözlenen bir diğer önemli fay ise Erdoğukalesi tepede çok net gözlenen ve Kırıntı mahallesi içerisinde geçen K-G yönlü faydır. Yatay düzlemle dik veya dike yakın bir açı yapmakta olan bu fay haritada normal fay olarak işaretlenmiştir.

Çalışma alanındaki en yaşlı fay olan Karain köyünün kuzeydoğusundan geçen fay; çalışma alanında güneybatı kuzeydoğu yönünde uzamakta olup Atdağı mahallesinin güneyinden itibaren gözlenmemektedir. Fakılar köyünün güneyinde geçen fay ise doğu-batı yönlü gözlenmektedir. Her iki fay da eğim atımlı normal fay olarak haritaya işlenmiştir.

Çalışma alanında tek doğrultu atımlı sol yönlü fay Ballık kayasının kuzeybatisından başlayıp batıya doğru yönelim göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Mersin iline bağlı Çamlıyayla ilçesinin ve güneyinin yaklaşık 72 km^2 . lik bir alanda yüzeylenen kayaçlar stratigrafik ve petrografik açıdan incelenmiştir. Kozan N33 d2 ve d3 paftaları içerisinde kalan bu alanda ayrıca bölgein yapısal konumu ve özellikle Ecemiş Fay kuşağının bölgedeki devamı incelemeye çalışılmıştır. Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan bu çalışmada başlica aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- ✓ 1. Çalışma alanında yüzeylenen birimlerin dağılımlarının, litolojik özelliklerinin, stratigrafik konumlarının ve birbirleri ile olan ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla Kozan N33 d2 ve d3 paftaları kullanılarak çalışma alanının 1/25.000 ölçekli detay jeoloji ve

yapı haritası, genelleştirilmiş stratigrafik kesiti, genelleştirilmiş korelasyon çizelgesi ve jeoloji enine kesitleri hazırlanmıştır.

2. Çalışma alanında 7 adet kaya stratigrafi birimi ayırtlanarak haritalanmıştır. Bu birimler sırasıyla; bölgede temeli oluşturan sıç denizel ve platform tipi karbonatlardan oluşan, Üst Triyas-Jura-Kretase yaşı Demirkazık formasyonu, üzerine tektonik dokanakla gelen Üst Kretase yaşı Mersin Ofiyolit Melanjı, Paleosen-Eosen yaşı Kaleboynu formasyonu, karasal nitelikli, Oligosen-Alt Miyosen yaşı Gildirli formasyonu, resif gerisi fasiyesindeki Alt-Orta Miyosen yaşı Kaplankaya formasyonu ve resifal nitelikli Burdagaliyen-Langhiyen yaşı Karaisalı formasyonudur. İnceleme alanındaki en genç çökelmanı ise Kuvaterner yaşı alüvyon temsil etmektedir.

3. Tabanda bulunan Demirkazık formasyonu'nun üzerine Mersin Ofiyolit Melanjı tektonik dokanakla gelmektedir. Paleosen-Eosen yaşı Kaleboynu formasyonu Demirkazık Formasyonu üzerine, Oligosen-Alt Miyosen yaşı Gildirli formasyonu ile üzerine uyumlu olarak gelen resif gerisi fasiyesindeki Alt-Orta Miyosen yaşı Kaplankaya formasyonu ve resifal nitelikli Burdagaliyen-Langhiyen yaşı Karaisalı formasyonlarıyla devam eden istif kendisinden daha yaşı olan birimler üzerine açısal uyumsuzlukla gelmektedir. İnceleme alanındaki en genç çökelmanı temsil eden Kuvaterner yaşı alüvyon ise, üzerine geldikleri birimleri açısal uyumsuzlukla örttügü belirlenmiştir.

4. Çalışma alanının tektonik konumu kapsamında, bölgede yer alan 5 adet fay haritalanmıştır. Bu faylardan 4 tanesi normal fay, 1 tanesi ise doğrultu atımlı sol yönlü fay olarak tanımlanmıştır.

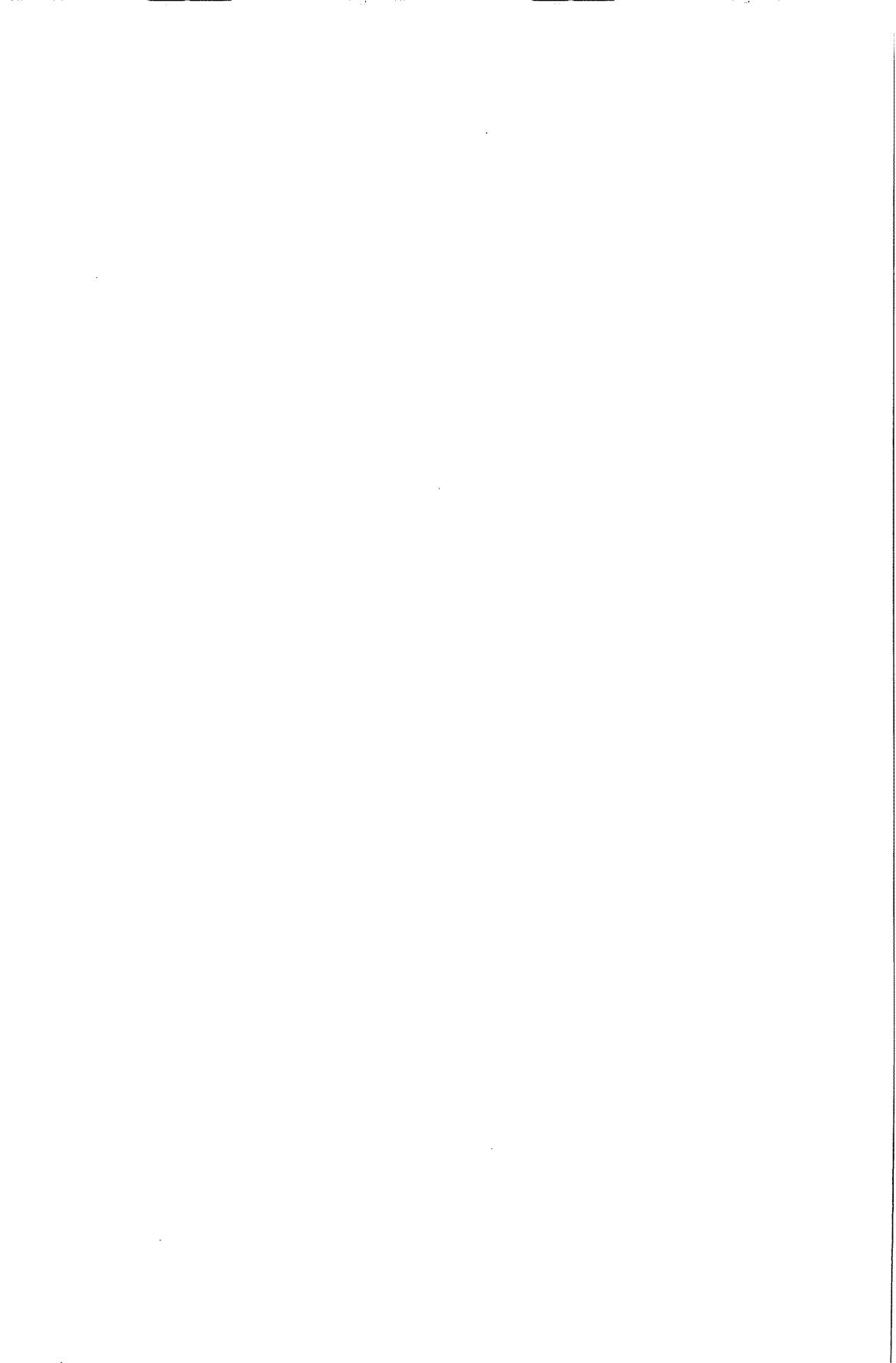
5. KATKI BELİRTME

Bu çalışma Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Genel Jeoloji Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezinin bir bölümü olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma için gerekli desteği sağlayan Ç.Ü. Jeoloji Bölüm Başkanlığına teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Yetiş,C., "Çamardı (Niğde) Yakın ve uzak dolayının jeoloji incelemesi ve Ecemış Yarılım Kuşağının Maden-Boğaz-Kamışlı arasındaki özellikleri", İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi Doktora Tezi, 164 s., İstanbul, 1978 a.
2. _____, "Geology of the Çamardı (Niğde) Region and the Characteristics of the Ecemış Fault Zone Between Maden Boğazı and Kamışlı", Revue de la Faculte des Sciences, Serie B, Tome 43, 41-61, İstanbul, 1978 b.
3. _____, "Reorganization of the Tertiary Stratigraphy in the Adana Basin, Southern Turkey", News. Stratigr., 20(1), 43-58, Berlin-Stuttgart, Germany, 1988.
4. Yaman,S., "Mersin Ofiyolitinin Jeolojisi ve Metallojenisi", Ahmet Acar Jeoloji Sempozyumu Bildirileri, s. 225-267, 1991.
5. Şenol,M., Şenol,Ş., Duman,T.Y., "Adana-Mersin Dolayının Jeoloji Etüd Raporu (Mersin O33 Paftası), 45 s, (Yayınlanmamış), MTA Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü, Adana, 1995.
6. Açılan,M., "Namrun güneydoğusu (Mersin) yöreninin jeolojik ve petrografik incelenmesi", Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 88 s., Adana., 1995.

7. Yetiş,C. ve Demirkol,C., "Ecemiş fay kuşağının jeo-tektonik evrimi", Hacettepe Üniversitesi Yer bilimleri araştırma merkezi bülteni, 1-12, Ankara, 1984.
8. Avşar,N., "Namrun (İçel) Yöresi Paleojen Bentik Foraminifer Faunası", MTA Dergisi, 114, 127-144. Ankara, 1992.
9. Schmidt,G.C., "Stratigraphic Nomenclature for the Adana Region Petroleum District 7", Petroleum Administration Bull. 6, 47-63 p., Ankara, 1961.
10. Yetiş,C. ve Demirkol,C., "Adana baseninin batı kesiminin detay jeolojisi etüdü", M.T.A. rapor no: 8037, Ankara, 1986.
11. Aydoğdu,E., "Bogazpinar-Sandal (İçel) Dolayının Stratigrafisi", Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 61 s., Adana, 2002.
12. Tanar,Ü., (1985), "Körlü (Tarsus-Mersin) bölgesi Karaisalı, Kuzgun, Memişli formasyonlarının Mollusca faunası", Jeoloji Mühendisliği dergisi, 24, 17-31, Ankara.
13. Ricou,L.E., Argyriadis,L., et Marcoux,O., "L2Axe Calcaire du Tarsus un Alignement de Fenetres Arabo-Africaines Sous les Nappes Material Radiolarique, Ophiolitique", Bull. Soc. Geol. France, (7) XVIII, 1024-1044, 1975.
14. Glennie,W.K., Boeuf,A.G.M., Clarke-Hugner,W.M., Stuart Moody,M., Plaar,H.F.W. ve Reinhard,M.B., "Geology of the Omar Mountains", Verhandelingen van het Koninklijk Nederland geologisch mijnbouwkundig enootschap, 31, 423 p., 1974.
15. Stoneley,R., "On the origin of Ophiolite Complexes in the southern Tethys Region", Tectonophysics, 25, 303-322, 1975.
16. Marcoux,J., "A Sceneria for the Birth of a New Oceanic Realm; The Alpine Neotethys", 10 th Intern- Sedim. Congress, 9-14, Israel, 1978.
17. Özalp,S., "Gülek-Çamalan (Tarsus) alanının stratigrafisi", Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 100 s., Adana, 1992.
18. Gözibol,A.M., Gürpinar,O., "Kahramanmaraş ve kuzeyinin jeolojisi ve tektonik evrimi", Türkiye V. Petrol kongresi, 21-29, Ankara, 1980.
19. Pampal,S., "Doğu Toroslar'da Kadirli-Kozan-Feke (Adana) ile Çökak (K.Maraş) arasındaki bölgenin stratigrafik ve tektonik özellikleri", S.Ü. Müh-Mim.Fak. Jeoloji Müh. Bölümü, Doktora Tezi, 133 s., Konya, 1983.



FAYLARIN ZEMİNLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: KUZEY ANADOLU FAY ZONU GEREDE (BOLU) SEGMENTİ

Hasan ÇETİN, Osman GÜNEYDİN ve Mustafa FENER
Ç.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Fayların zemin üzerine etkisinin belirlenmesi için yapılan bu çalışmada inceleme alanı olarak Kuzey Anadolu Fay Sisteminin (KAFS) Bolu-Gerede segmenti seçilmiştir. KAFS dünyadaki en önemli doğrultu atımlı faylarından biridir. KAFS Gerede (Bolu) segmenti üzerinde tarihsel ve aletsel döneme ait yüksek magnitüdünlü birçok deprem meydana gelmiştir. Kaytlara geçen en büyük deprem 1 Şubat 1944'de Ms:7.4 büyüklüğünde olan Bolu-Gerede depremidir.

Bu çalışmada Kuzey Anadolu Fay Sisteminin (KAFS) Gerede (Bolu) segmenti üzerinde farklı yerlerde açılmış olan 4 hendekten örselenmemiş blok numuneler alınmıştır. Bu blok numunelerden her hendek için düşey yönde 3 adet olmak üzere toplam 12 adet konsolidasyon deneyi yapılmış ve bu deneyler yardımıyla ön konsolidasyon basınç değerleri bulunmuştur. Bulunan ön konsolidasyon basınç değerleri ile düşey efektif gerilme değerleri arasındaki ilişki faydan olan uzaklık ilişkilerine bakarak değerlendirilmiştir.

THE EFFECT OF FAULTING ON SOILS: GEREDE (BOLU) SEGMENT OF THE NORTH ANATOLIAN FAULT ZONE

ABSTRACT : In this study, in order to determine the effect of faulting on soils the Gerede (Bolu) segment of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) was chosen. NAFZ is one of the most important strike-slip faults of the world. During both historical and instrumental periods, many earthquakes with high magnitudes took place on the Gerede (Bolu) segment of NAFZ. In the study area the Ms:7,4 Gerede-Bolu earthquake on February 1, 1944 is the most destructive earthquake recorded in the region.

Undisturbed, block samples from four trenches dug at various points on the Gerede (Bolu) segment of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) were collected. For each trench 3 consolidation tests in the vertical direction, totaling 12 for four trenches were performed and preconsolidation pressure values were obtained. The relationship between preconsolidation pressure values and effective vertical overburden stress was evaluated in terms of the distance from the fault.

1. GİRİŞ

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) dünyanın en önemli doğrultu atımlı faylarından biri olup, aynı zamanda ülkemizin en aktif tektonik yapılarından birini oluşturmaktadır. Bu fay zonunda, geçen yüzyılda $M_s=7.0$ büyüklüğünde dokuz deprem olmuş ve fayın 1000 km'lik kısmı tamamen kırılmıştır. Bu depremler, dikkatlerin bu fay üzerine çekilmesine yol açmış ve birçok araştırmacının çalışmasına konu olmuştur. Bu depremlerde 75.000'den daha fazla insan ölmüş ve on milyarlarca dolar maddi kayıp olmuştur [1].

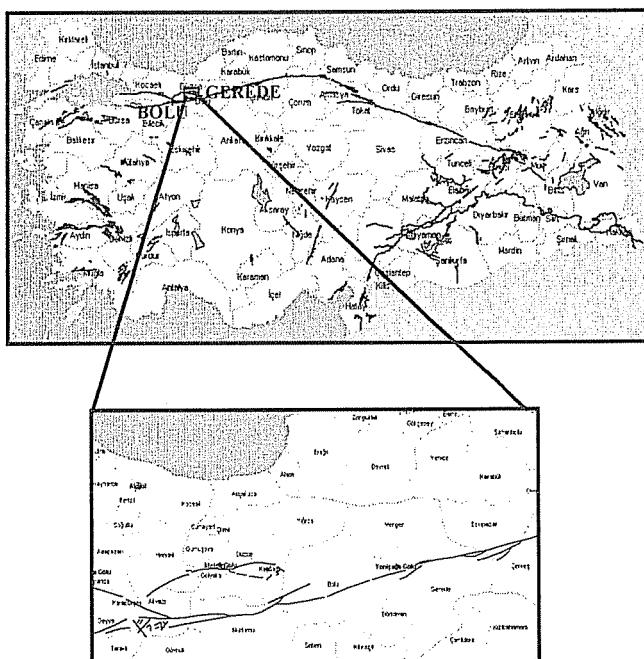
Ülke ekonomisinde önemli yer tutan bu doğal afetlerin araştırılması günümüz koşullarında zorunlu bir hal almıştır. Deprem zararlarının en aza indirilmesi için faylar üzerinde yapılan çalışmaların en önemlilerinden bir tanesi Paleosismoloji çalışmalarıdır. Paleosismolojinin amacı sismik tehlike değerlendirmelerinde yeni ve faydalı bilgiler sağlayacak jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri kullanarak geçmiş büyük depremlerin araştırılmasıdır [2]. Paleosismoloji çalışmalarıyla; segment üzerinde meydana gelmiş eski depremler ve yıllık kayma hızları, depremlerin yenilenme aralıkları, atım miktarları ve en son oluşmuş deprem hakkında bilgilerin ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır. Paleosismik çalışmalarında bu amaçla açılmış olan hendeklerden (trenchlerden) faydalanyılmaktadır. Hendekler 20-30 m uzunlukta, 3-4 m derinlikte ve birkaç metre genişlikte, aktif faylara dik ve/veya paralel açılan kazılardır.

İnceleme yeri olarak Gerede ilçesinin yakınılarında Kuvaterner yaşılı birimler seçilmiştir. 1 no'lu hendek (H-1), Bolu G 28 b4 no'lu pafta üzerinde Gerede ilçesinin 15 km doğusunda Ardıçlı'da açılmıştır. 2 no'lu hendek (H-2) Bolu G 28 b3 nolu paftada, Gerede ilçesinin 30 km kuzeydoğusunda Dorukturla Tepe'nin güneyinde açılmıştır. 3 no'lu hendek (H-3), Bolu G 28 b4 paftasında, Gerede ilçesinin 10 km doğusunda, Çayıren mahallesinin 1 km kuzeyinde, akaryakıt istasyonunun karşısında açılmıştır. Son hendek (H-4) yeri Bolu G 28 a3 paftasında, Gerede ilçesinin 3 km doğusunda Akarca Tepe'nin kuzeyinde açılmıştır (Şekil 1).

Fay üzerinde açılmış olan hendeklerden faydan belirli uzaklıklarda (0.4 m, 2 m, 5 m ve 10 m) alınmış olan örselenmemiş blok numuneler üzerinde düşey yönde konsolidasyon deneyleri yapılarak ön konsolidasyon basınç değerleri bulunmuştur.

1.1. Ön Konsolidasyon Basıncı ve Zemin Hafızası

Casagarande, her zeminin bir hafızası olduğunu söylemiş ve zeminlere uygulanan gerilmelerin birimlerin dokuları tarafından hapsedildiğini söylemiştir [3]. Bir birim, arazide daha önce etkisi altında kaldığı gerilmeden daha yüksek bir gerilme etkisi altında kalırsa, birimin dokusu bu yeni gerilme etkisinde, dokuyu oluşturan taneler, gözenekler ve diğer bileşenlerin sıkışması ile değişime uğrayarak daha sağlam hale gelir [4]. Bu olaya jeolojide kompaksiyon zemin mekaniğinde konsolidasyon denir. Zeminin veya birimin etkisi altında kaldığı maksimum efektif gerilmeye ise zemin mekaniğinde ön konsolidasyon basıncı (ÖKB) denir. Zeminlerin boşluk oranları ve permeabilite katsayıları arttıkça konsolidasyon hızları da buna bağlı olarak artmaktadır [5]. Zeminde gerilmeyi oluşturan yüklemeler zemin üzerinde uzun süreli etkili olursa toplam gerilmelerin tamamı efektif gerilme olarak zemin hafızasına kaydedilir. Zeminlerin geçmişte etkisi altında kaldıkları ön konsolidasyon basınçlarını belirleyebilmek için bir çok araştırmacı tarafından farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en çok



Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası.

kullanılanı Casagrande yöntemidir [6]. Bu yönteme göre zeminden alınan örselenmemiş numune üzerinde konsolidasyon deneyi yapılarak, log efektif gerilme-boşluk oranı eğrisi çizilerek hesaplamalar yapılır. Bu hesaplamalar daha çok binaların oturmaları ile ilgilenen zemin mekanikçiler tarafından düşey efektif gerilmelerin tayini için kullanılmıştır. Ancak, Çetin, zeminden aldığı örselenmemiş numuneler üzerinde yatay yönlerde konsolidasyon deneyleri yaparak zeminin geçmişte etkisi altında kaldığı maksimum yatay efektif gerilmeleri konsolidasyon deneyi ile Casagrande'nin metodunu kullanarak bulmuştur [7].

Zeminlerde ön konsolidasyon basıncı değerleri düşey örtü basıncı değerlerine oranlanarak zeminin konsolidasyon derecesi hakkında bilgi edinilebilir.

$$\text{Aşırı Konsolidasyon Oranı (OCR)} = \frac{\text{Ön konsolidasyon basıncı } (\sigma_{\text{ön}})}{\text{Düşey efektif gerilme } (\sigma_v)} \quad (1)$$

Buna göre;

$\text{OCR}=1$ ise normal konsolidide zemin,

$\text{OCR}>1$ ise aşırı konsolidide zemin,

$\text{OCR}<1$ ise yetersiz konsolidide zeminler olarak adlandırılırlar.

OCR değeri 1'den küçük olan zeminlere azda olsa rastlamak mümkündür. Bu tür zeminlere örnek olarak henüz yeni çökelmiş veya insan tarafından yiğilan zeminler verilebilir. Zeminlerde farklı sebeplerden dolayı aşırı konsolidasyon meydana gelebilir. Bunlar; farklı etkilerden dolayı toplam gerilmenin değişmesi (örtü yükün, eski yapılar, buzullar vb.), boşluk suyu basıncındaki değişim (yeraltı su seviyesindeki değişim, artezyen basınçları, yüzey kuruması, bitkilerin etkisi vb.), ikincil sıkışma yoluyla zemin yapısındaki değişim, pH, ısı ve tuz konsantrasyonu gibi ortamsal değişimler, bozusmadan kaynaklanan kimyasal alterasyonlar, yağış çimentolanma etmenleri, iyon değişimi ve yüklemelerdeki birim deformasyon oranının değişimi gibi etkiler sonucunda oluşabilmektedir [4].

2. METOD

4 hendekten alınan numunelerin indeks özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; elek analizi, özgül ağırlık ve Atterberg limit deneyleri yapılmıştır. H-1, H-2, H-3 ve H-4 hendeklerinden alınan numunelerin kil, silt, kum ve çakıl içerikleri ve kıvam limitleri belirlenerek Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine (USCS) göre sınıflandırılması yapılmış olup, zemin sınıfları sırasıyla CL-ML, CH, CL ve CI olarak belirlenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Hendeklerden alınan zemin numunelerinin indeks özelliklerinin karşılaştırılması.

Numune No	Özgül Ağırlık	Doğal Su İçerigi (%)	Tane Boyutu (%)	İsim	USCS	Rötre Limiti (RL) (%)	Likit Limit (LL) (%)	Plastik Limit (PL) (%)	Plastisite İndisi (PI=LL-PL)	Kıvam İndisi Ic=(LL-W)/PI
H-1	2.651	12.3	% 3.4 Çakıl % 20.6 Kum % 51.0 Silt % 25.0 Kil	Killi silt	CL-ML	11.6	27.7	21.4	6.3	2.46 (Kattı)
H-2	2.540	29.3	% 8.1 Çakıl % 21.9 Kum % 31.5 Silt % 38.5 Kil	Siltli kil	CH	15.7	60.9	25.2	35.7	0.89 (Yarı Kattı)
H-3	2.590	11.9	% 16.5 Çakıl % 24.5 Kum % 29.0 Silt % 30.0 Kil	Siltli kil	CL	13.6	31.9	17.1	14.8	1.34 (Kattı)
H-4	2.500	27	% 15.5 Çakıl % 18.0 Kum % 35.0 Silt % 31.5 Kil	Killi silt	CI	14.4	49.7	26.2	23.5	0.97 (Yarı Kattı)

Hendeklerden alınan örselenmemiş blok numuneler laboratuara taşınarak düşey yönde toplam 12 adet konsolidasyon deneyi yapılmıştır. Deneylerde kullanılan konsolidasyon aleti ASTM D 2435-96 Standartlarına göre imal edilmiş, belirli düşey yükler altında zeminde meydana gelen düşey yer değiştirmeleri ölçen, zeminin sıkışma indisi (C_c), sıkışma sayısı (a_v) ve hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) gibi parametreleri belirlemede kullanılan bir cihazdır [8]. Konsolidasyon deney aleti; 5 cm çapında, 2 cm yüksekliğinde deney halkası, üst ve alt kısımlarına konulan poroz taşlar ve konsolidasyon hücresinde oluşmaktadır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Her hendekten düşey yönde yapılan 3'er adet konsolidasyon deneyi sonucunda boşluk oranı-efektif gerilme grafikleri çizilmiş ve bu grafikler üzerinden ön konsolidasyon basınç değerleri bulunmuştur (Şekil 2). Her hendek için konsolidasyon deneyinden elde edilen ön konsolidasyon basınç değerlerinin ortalamaları alınmıştır (Çizelge 2). Faya en yakın (0.40 m) noktadan alınan ortalama ön konsolidasyon basınç değeri 2.07 kg/cm^2 olarak en yüksek değer bulunmaktadır. Faydan uzaklaştıkça (2m, 5m, 10m) sırasıyla ortalama ön konsolidasyon basınç değerleri 1.50 , 0.88 , 0.68 kg/cm^2 olarak belirlenmiştir (Şekil 3a).

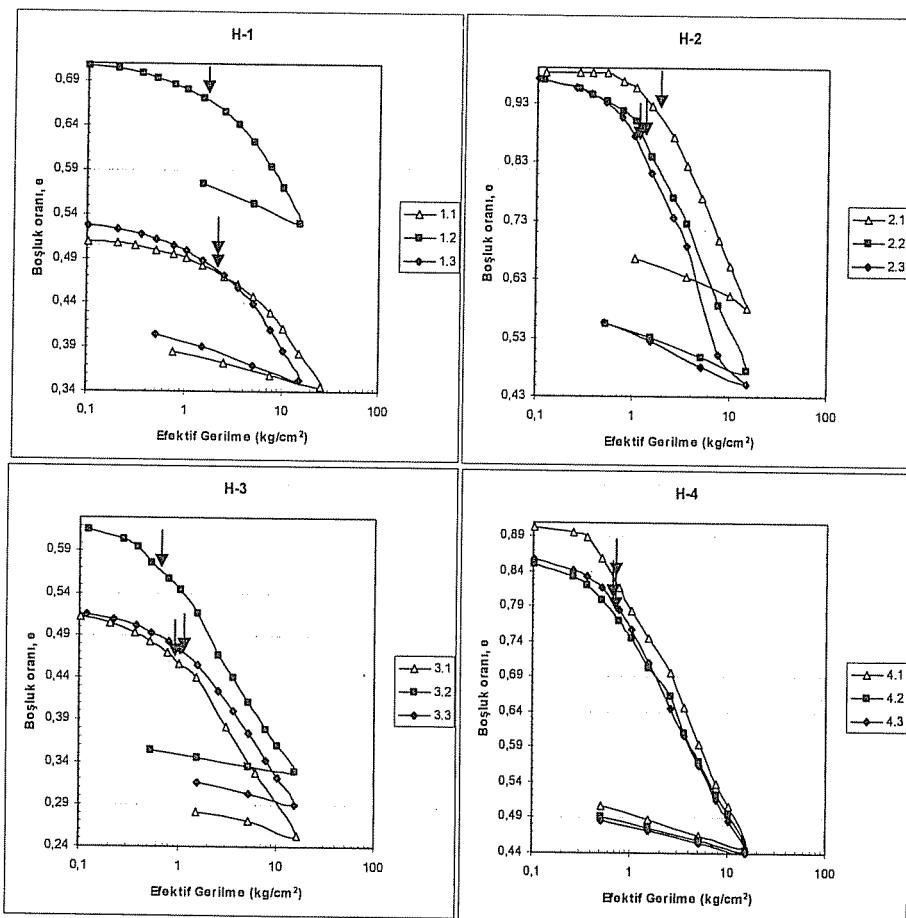
Çizelge 2. Hendeklerden alınan zemin numunelerinin ön konsolidasyon basınç değerleri.

Hendek no	Ön konsolidasyon basıncı (kg/cm^2)	Ön konsolidasyon basınç ortalama değerleri (kg/cm^2)
H-1	1.80	
	2.20	2.07
	2.20	
H-2	1.90	
	1.40	1.50
	1.20	
H-3	0.90	
	0.65	0.88
	1.10	
H-4	0.70	
	0.65	0.68
	0.70	

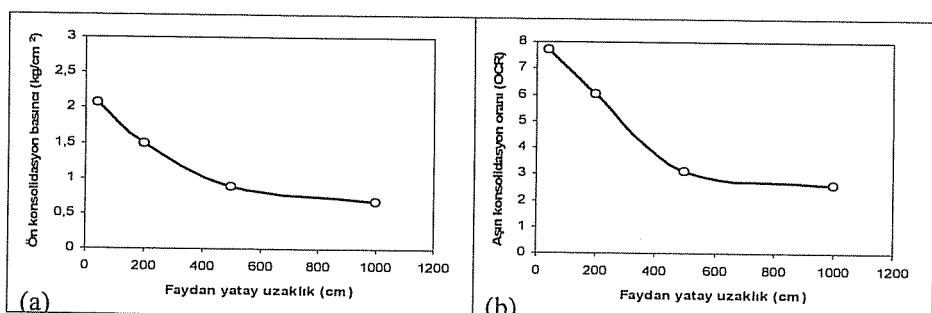
Hendeklerden alınan numunelere ait konsolidasyon deneyi sonuçları ile aşırı konsolidasyon oranları (OCR) karşılaştırıldığında H-1, H-2, H-3 ve H-4 hendekleri için OCR değerleri Çizelge 3'te verilmiştir (Şekil 3b).

Çizelge 3. Hendeklerden alınan zemin numunelerinin düşey efektif gerilme değerleri ile OCR değerleri

Faydan uzaklığı (m)	Düşey efektif gerilme (kg/cm^2)	OCR
0.4	0.270	7.68
2	0.250	6.00
5	0.285	3.09
10	0.264	2.58



Şekil 2. Hendeklerden alınan numunelerin boşluk oranı-efektif gerilme eğrileri ve ön konsolidasyon basınç değerleri (oklar ön konsolidasyon basınç değerlerini göstermektedir).



Şekil 3. Faydan olan uzaklığa göre ön konsolidasyon basıncı ve OCR'ının değişimi.

4. SONUÇLAR

Kuzey Anadolu Fay Sisteminin Gerede segmenti üzerinde Kuvaterner yaşlı birimlerde açılan hendeklerden alınan örselenmemiş blok zemin numuneleri ile yapılan deney sonuçlarında zeminlerin hafızasına kayıt edilen efektif gerilme değerlerinde farklı sonuçlar bulunmuştur. Hendeklerden alınan zemin numunelerinin farklı ön konsolidasyon basınç değeri vermesinde en büyük etken faylanma sırasındaki gerilme ortamlarından kaynaklanmaktadır. Zemin numunelerinin bulunduğu noktaların faydan olan uzaklık mesafeleri farklılıklarını aynı faylanma mekanizmasının farklı gerilmeleri etkisinde kalmışlardır. Faya en yakın noktadan alınan H-1 numunesi faya yakın olmasından dolayı yüksek gerilmeye maruz kalmış ve diğer hendeklerden alınan numunelerin faydan uzaklaşma miktarlarına bağlı olarak daha düşük gerilmelere maruz kalmışlardır.

Kuzey Anadolu Fay Sisteminin Gerede segmenti üzerinde yapılan bu çalışmada faydan farklı uzaklıklarda alınan zemin numunelerinin faylanmaları esnasındaki efektif gerilmelerin zemin hafızasına kayıt miktarları farklı bulunmuştur. Faya en yakın noktada alınan zemin numunesinin ön konsolidasyon değeri en yüksek (2.07 kg/cm^2) ve faya en uzak noktadan alınan zemin numunesinin ön konsolidasyon değeri en düşük (0.68 kg/cm^2) olarak bulunmuştur. Aynı şekilde faydan uzaklaşma miktarına bağlı olarak aşırı konsolidasyon oranında (OCR) da değişiklikler bulunmuştur. Faya en yakın noktada alınan zemin numunesinin OCR değeri 7.68 ve faya en uzak noktada alınan zemin numunesinin OCR değeri 2.58 olarak bulunmuştur.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya MMF2005D3 no'lu proje ile destek veren Çukurova Üniversitesi Bilimsel Projeler Araştırma birimine teşekkür ederiz. Ayrıca konsolidasyon deneylerinin yapımında İnşaat Mühendisliği laboratuvarını kullanmamıza izin veren inşaat mühendisliği bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Mustafa LAMAN'a teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Demirtaş,R., "Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Abant-Gerede Arasında Kalan Bölümünün Neotektonik Özellikleri ve Paleosismisositesi", Doktora Tezi, A.Ü. Fen Bilm. Enst., s.186, Ankara, 2000.
2. McCalpin,J.P., McCalpin, Editor, "Paleoseismology", Academic Press, p.588, San Diego, 1996.
3. Casagrande,A., "The structure of clay and Its Impotence in Foundation Engineering", Journal of the Borton Society of Civil Engineers, April; reprinted in Contributions to Soil Mechanics 1925-1940, BSCE, pp. 72-113, 1932.
4. Holtz,R.D. and Kovacs,W.D., "An Introduction to Geotechnical Engineering", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.
5. Çetin,H., "An Experimentan study of soil memory and Preconsolidation Adjacent to an Active Tectonic Structure: The Meers Fault, Eng. Geol., 57, pp. 169-178, Oklahoma, USA, 2000.
6. Casagrande,A., "The Determination of the Pre-Consolidation Load and its Partical Significance", Discussion D-34, Proceeding of the First International

Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Cambridge, Massachusetts, III, pp. 60-64, 1936.

7. Çetin,H., "How did the Meers fault scarp form? Paleoearthquake or aseismic creep? A soil mechanical perspective", Eng. Geol., 47, pp. 289- 310, 1997.

8. ASTM D 2435 - 96, "Standart Test Method for One-Dimentional Consolidation Properties of Soils", Annual Book of ASTM Standards; 04.08, West Conshohocken, pp. 238-247, 2003.

HANDERE KİLİNLÉ SU İÇERİĞİ VE KOMPAKSÝON ENERJÝSİNİN MUKAVEMETE ETKÝSİ

Arzu PALALI ve Ergül YAŞAR

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

Ahmet DEMİR

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

ÖZET : Bu çalışmada su içeriği ve kompaksiyon enerjisinin Adana'nın Kuzeyinde yer alan Handere kılının mukavemetine etkisini belirlemek amacıyla laboratuvar deneyleri yapılmıştır. %20, %25, %30, %35, ve %40 olarak beş farklı su içeriğinde laboratuvara hazırlanan kıl zeminler üzerinde serbest basınç deneyleri yapılmış ve bu değişimin mukavemet üzerine etkisi belirlenmiştir. Numune hazırlanırken kıl, kalıp içerisine üç tabaka halinde yerleştirilmiştir. Her tabaka 25, 40, ve 50 gibi farklı sayıda darbe uygulanarak sıkıştırılmıştır. Böylece kompaksiyonun kılın mukavemetine etkisi araştırılmıştır.

Sonuçta kompaksiyon enerjisi arttıkça kılın mukavemeti de artmış ancak, su muhtevası arttıkça mukavemet azalmıştır.

THE EFFECT OF WATER CONTENT AND COMPACTION ENERGY TO STRENGT IN HANDERE CLAY

ABSTRACT : In this study, the influence of moisture content and compaction energy on the strength of Handere clay soil from North of Adana was studied experimentally. Unconfined compression tests were conducted on clay soil obtained in the laboratory with five different water content values of 20%, 25%, 30%, 35% and 40% and strengths of Handere clay were determined in different water content. During the sample preparation, the clay was placed in the mold in three layers. Each layer was compacted by giving different blows such as 25, 40 and 50. The effect of compaction on the strength of clay was also investigated.

The results indicate that considerable improvement in the strength of clay was observed with the increase in compaction energy. It was also observed that the strength of clay was decreased with the increase in moisture content value.

1. GİRİŞ

Zeminlerle gerek yapı temelleri altında taşıyıcı tabaka olarak, gerekse birçok durumda inşaat malzemesi olarak, inşaat projelerinde karşılaşılır. Zeminler genellikle birbirinden farklı özelliklere sahip olup, mühendislik özellikleri de zeminin cinsi yanında arazi koşullarına bağlı olarak (sıklık derecesi, su muhtevası, konsolidasyon basıncı, yükleme ve drenaj koşulları gibi) değişebilmektedir. Buna bağlı olarak, inşaat sahasında karşılaşılan zeminler her zaman istenilen özelliklere sahip olmayıabilir. Çevre ve iklim koşullarından dolayı zemin özelliklerinin (örneğin kabarma-bütülmeye, don kabarması, oturma, su içeriğinde değişiklikler, vb.) değişmesi, zemin taşıma gücünde azalmalara ve ilave gerilimelere sebep olur. Bu durum bazı önlemler almayı gerektirir.

Alınacak önlemler olarak inşaat yerinin değiştirilmesi veya istenilen özelliklere sahip olmayan zeminlerin atılarak yerine elverişli zeminlerin kullanılması ise, ekonomik nedenlerle genellikle uygun çözümler olarak kabul edilmemektedir. Bu gibi durumlarda, drenaj çalışmaları yapılarak su etkisine karşı önlemler alınması, arazideki zemin tabakalarının özelliklerinin iyileştirilmesi ve/veya uygun malzeme sererek dolgu yapılması yoluna başvurulmaktadır.

Arazide bir yapı temeli veya toprak dolgu altında kalacak veya herhangi bir başka yüklemeye maruz kalacak zemin tabakalarının kayma mukavemetlerini belirlemek için gerilme-şekil değerlendirme davranışlarını belirlemek gerekmektedir. Bu amaçla, bu tabakalarдан numune alınarak laboratuvar ortamında zemin davranışlarını belirlemeye yönelik bir çok deneyel yöntem geliştirilmiştir.

Mevcut araştırmada, kullanılan deney yöntemi serbest basınç deneyidir. Bu deneyde numunenin drenaj koşulları kontrol edilemediği için, hızlı yükleme yapılarak zeminin drenajsız kayma mukavemeti elde edilmektedir. Yapılan deneyde, eksenel yüklemeden önce zemin konsolide edilememekte ve eksenel yükleme sırasında oluşan boşluk suyu basınçları ölçülememekte, bu kısıtlayıcı yönlerine karşın, serbest basınç deneyi kil zeminlerin güvenilir tarafta kalınarak drenajsız kayma mukavemetini belirlemede yaygın olarak kullanılan bir deney yöntemidir.

Bu araştırmada seçilen zemin, Adana yöresinde yeni yapışmanın devam ettiği Handere formasyonunda yer alan kil zemindir. Bölgede yapışma sonrasında zemine akan sularla beraber yoğun yağışların olması nedeniyle zemin doygun hale gelebilimekte, dolayısıyla bu durum, kil zeminlerin şişmesine, boşluk suyu basıncının artmasına ve kohezyonun azalmasına sebep olabilmektedir.

Bu çalışmada hazırlanan yapay numuneler, üç farklı kompaksiyon enerjisinde (0.304, 0.480 ve 0.608 J/cm³) ve beş farklı su içeriğinde (%20, %25, %30, %35 ve %40) hazırlanıp, serbest basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Zeminin serbest basınç mukavemetinin, kompaksiyon enerjisi ve su içeriği ile değişimini araştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde, Adana havzası üzerinde araştırma yapılan çok sayıda çalışma yer almaktadır. Schmidt (1), bölgede stratigrafik olarak detaylı çalışmaları yapan en eski araştırmacıdır. Adana havzasının büyük bölümünü çalışmış olan araştırmacı çoğu formasyonları da isimlendirip yaşlandıran kişi olmuştur.

Kapur ve ark. (2), bölgede yaygın olarak görülen kaliçi oluşumları üzerine çalışmalar yapmıştır.

Yetiş ve Demirkol (3) "Adana Baseni Batı Kesiminin Detay Jeoloji Etüdü" isimli çalışma ile Adana ili yerleşim alanının da içinde bulunduğu geniş bir bölgenin 1/25.000 ölçekli detay jeoloji haritasını hazırlamıştır. Bu çalışmaya göre, çalışma alanında yer alan birimler temel olarak Handere Formasyonu, Kalış, Taraça ve Alüvyon' dan oluşmaktadır.

Zanbak ve Arthur (4), anhidritli kalsiyum sülfat içeren zeminlerde göçme ve şişme-bütülmeye gibi ciddi yapısal hasarların oluşabileceğini, bu tip zeminlerin periyodik olarak su almasıyla hasarların daha da kötüleşeceğini belirtmişlerdir.

Ko ve ark. (5), çalışmalarında yerinde bulunan şişen kil mineralleri, kristallerindeki serbest suyu emebilme koşullarında zeminleri ağırlaştırbildiklerini, yer altı su tablası seviyesi yükselmeksiz zeminlerin şişmesine neden olabildiklerini ve yapıların konumunu değiştirebildiklerini belirtmişlerdir.

Yıldırım (6), sıkıştırılmış killi zeminlerin şişme basıncı ile emme kapasitelerini bazi zemin özelliklerinden yararlanarak belirlemeyi amaçlayan bir çalışma yapmıştır. Bu amaçla plastisite indisleri farklı olan 6 grup kil numuneleri kullanılmıştır. Ödometre deneyi ile hesaplanan şişme basıncı sonuçlarından, su muhtevası artışına karşılık şişme basıncının azaldığını, kuru birim hacim ağırlığı ve plastisite indisinin artmasıyla şişme basıncının arttığı belirlenmiştir. Çalışmada belirli bir plastisite indisine sahip kilin emme kapasitesinin artmasıyla şişme basıncının azlığı ifade edilmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmada, Handere formasyonuna ait kil zeminlerin farklı su içerikleri ile serbest basınç mukavemetlerinin kompaksiyon enerjisine bağlı olarak değişimi araştırılmıştır. Bu amaçla, %20 - %40 arasında eşit aralıklarla 5 farklı su içeriğinde hazırlanan numuneler, 36 mm çaplı ve 72 mm yükseklikteki önceden hazırlanan pvc kalıplar içerisine üç farklı kompaksiyon enerjisi uygulanarak yerleştirilip serbest basınç deneyleri yapılmıştır.

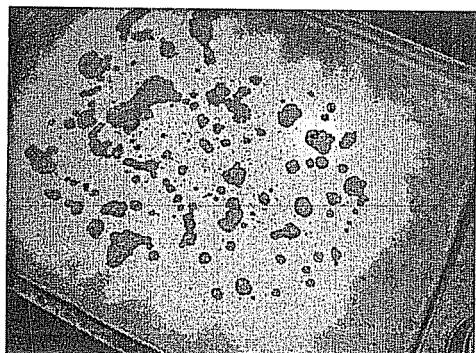
Serbest basınç deneylerinde önerilen numune yüksekliğinin numune çapının iki katı olması gerektiği dikkate alınmıştır. Çizelge 1'de Handere kili üzerinde yapılan serbest basınç deneylerinin özeti görülmektedir.

3.1. Numunelerin Hazırlanması ve Deneylerin Yapılması

Yüzüncüyl mevkisinden elde edilen Handere killeri (zemin sınıfı CH türü ve doğal halde %21-%32 su içeriği aralığında olan) ufalanıp etüvde 24 saatin üzerinde kurutulduktan sonra Maden Müh. Bölümü Kaya Mekanığı laboratuvarında numune öğreticü yardımıyla dağıtılarak ayrılmıştır. 40 no'lu elekten geçirildikten sonra planlanan su içeriklerinde ağırlıkça % ler belirlenip su ve zeminler yeterince homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır (Şekil 1).

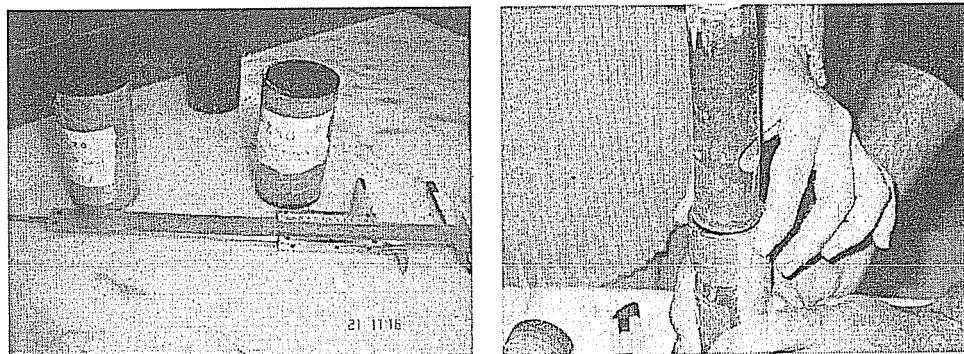
Çizelge 1. Handere kili ile hazırlanan numunelerin kompaksiyon özellikleri

Numune No	Her Tabakadaki Tokmak Düşüş Sayısı	Öngörülen Su İçeriği W(%)	Birim Numune Başına verilen Enerji(J/cm ³)
1	25	20	0.304
2	25	25	0.304
3	25	30	0.304
4	25	35	0.304
5	25	40	0.304
6	40	20	0.480
7	40	25	0.480
8	40	30	0.480
9	40	35	0.480
10	40	40	0.480
11	50	20	0.608
12	50	25	0.608
13	50	30	0.608
14	50	35	0.608
15	50	40	0.608

**Şekil 1.** Numunenin hazırlanma aşaması

Her su içeriği için hazırlanan numuneler (Numune No:1-15) suyun kil zemine homojen bir şekilde nüfuz edebilmesi için en az 24 saat süreyle küvezde tutulmuştur. Daha sonra numunenin kalıptan çıkarma işleminin kolay olması için önceden yağlanmış

olan pvc borudan imal edilen 36 mm çap ve 72 mm yükseklikteki kalıplar içeresine farklı kompaksiyon enerjileri verilerek 3 tabaka halinde sıkıştırılmıştır (Şekil 2). Her bir su içeriğinde hazırlanan numune üzerinde kalıba yerleştirilme sırasında tabakalara 25, 40 ve 50 darbe uygulanmak suretiyle 3 farklı numune elde edilmiştir. Tüm deneysel çalışmalar boyunca gereklidir kullanılmak üzere yedek numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 2. Kompaksiyon enerjisi uygulanarak zemin numunesinin pvc kalıp içeresine yerleştirilmesi

Farklı su içerikleri ve kompaksiyon enerjileri ile hazırlanan numuneler yine su içeriğinin numuneye homojen dağılması için kalıp içerisinde ve küvez ortamında 24 saat bekletilip kalıptan çıkarılmıştır. Numunelerin hazırlanması, korunması ve deney düzeneğine taşınması aşamalarında oldukça dikkatli davranışlarla elde edilen numunelerin mevcut özelliklerinin muhafaza edilmesine özen gösterilmiştir.

Kalıplardan çıkarılan numuneler, serbest basınç aletine yerleştirilmeden önce kumpas yardımıyla yeniden boyutları belirlenip alete yerleştirilip yüklemeye geçirilmiştir. Etüvde kurutulan kılın su içeriği sıfır (0) alınarak yapılan hesaplamalarla %20-%25-%30-%35 ve %40 değerlerindeki su içeriklerinin oluşmasına çalışılmıştır.

Değerlendirmeler için dikkate alınan su içerikleri ise, numune hazırlıklarında öngörülen su içeriği değerleri yerine, deneyden sonra ölçülen su içeriği değerleri olarak dikkate alınmıştır. Öngörülen ve ölçülen su içeriklerindeki küçük farklılıkların numune ile suyu birbirine homojen bir şekilde karıştırma işleminin el yordamıyla yapılması ve bu işlemin belirli bir zaman alması ve bu zaman zarfında bir miktar suyun buharlaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

3.2. Deney Sonuçlarının Gösterilmesi

Deneylerde su içeriğine bağlı olarak yaklaşık 3-6 dakika arasında göçmeye ulaşılacak şekilde hızlı yükleme (drenajsız koşul) yapılmıştır. Deney sonunda numuneler etüve konarak gerçek su içerikleri elde edilmiştir. Her bir deneyden elde edilen ham datalar yükleme halkası kalibrasyon faktörü (0.134 kg/div) ile çarpılarak kg

cinsinden yük değerleri elde edilmiştir. Elde edilen yük değerleri numune kesit alanına bölünerek gerilme değerlerine geçilmiştir. Deneylerden elde edilen gerilme-deformasyon değerleri grafiklere dönüştürülmüştür.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

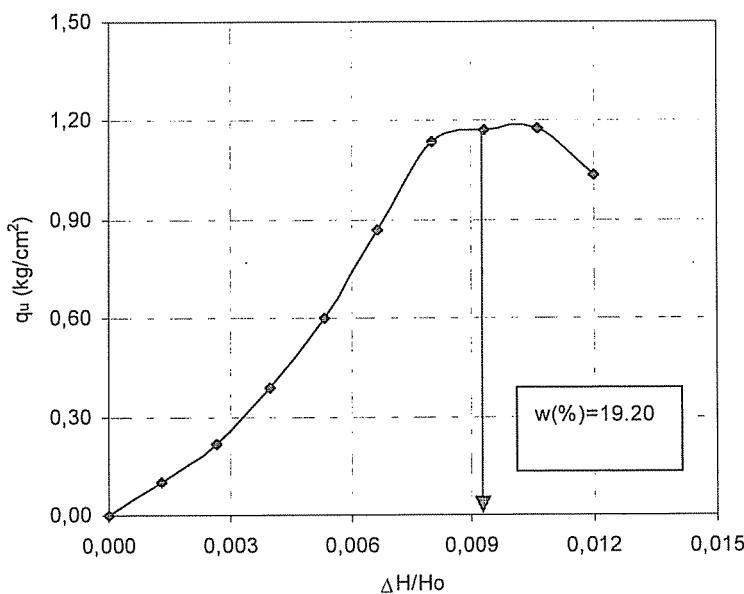
Üç farklı kompaksiyon enerjisi verilerek hazırlanan numunelerin serbest basınç deneylerinden, serbest basınç mukavemeti-deformasyon ilişkisi belirlenmiştir. Bu grafiklerden göçme anını gösteren en büyük gerilme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen göçme yükleri, bu değerlere bağlı hesaplanan kohezyon değerleri ve deney sonunda ölçülen su içerikleri toplu olarak Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2. Handere kili üzerinde yapılan serbest basınç deney sonuçları özeti

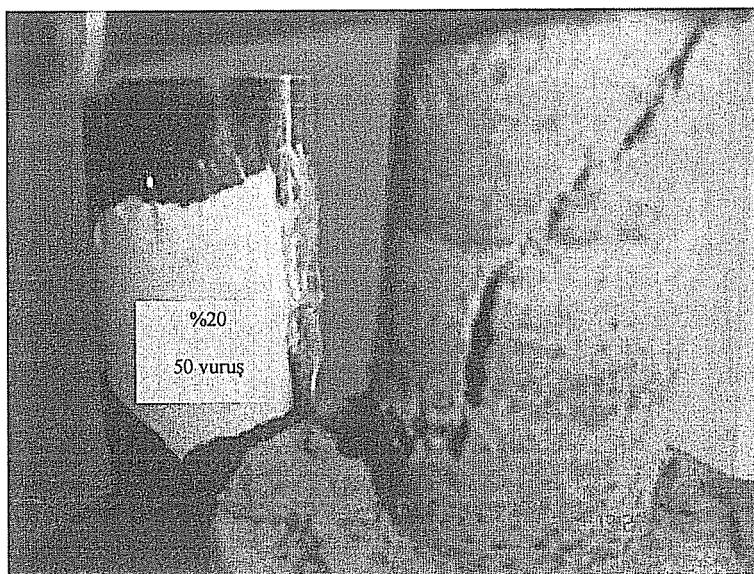
Numune No	Ölçülen Su İçeriği w(%)	Göçme Yükü (kg/cm ²)	Kohezyon, c (kg/cm ²)
1	19.82	0.720	0.360
2	23.11	0.959	0.479
3	28.15	1.013	0.507
4	33.00	0.786	0.393
5	38.42	0.536	0.268
6	19.83	0.945	0.473
7	23.99	1.118	0.559
8	29.00	1.244	0.622
9	33.00	1.009	0.505
10	39.10	0.613	0.307
11	19.20	1.179	0.589
12	23.96	1.345	0.673
13	28.65	1.612	0.806
14	32.50	1.190	0.595
15	39.80	0.511	0.255

Optimum su içeriğinden daha düşük su içeriklerinde hazırlanan numuneler üzerinde yapılan serbest basınç deneyleri sonunda, göçmenin, daha düşük deplasmanlarda meydana geldiği ve anı olarak göçme noktasına ulaşıldığı Şekil 3'te görülmektedir. Ayrıca numunelerde gözlenen göçme şekillerinin diagonel şekilde kayma yüzeyleri vererek gerçekleştiği gözlenmiştir (Şekil 4).

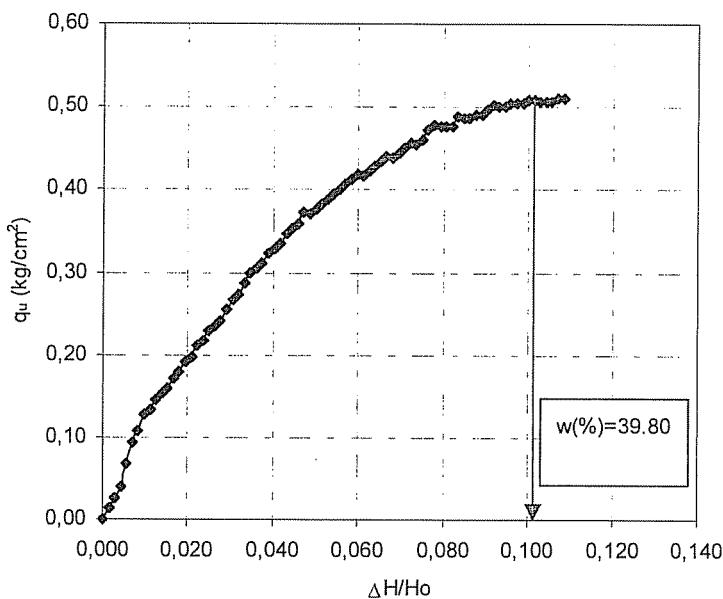
Optimum su içeriğinden daha fazla su içeriklerinde hazırlanan numuneler üzerinde yapılan serbest basınç deneyleri sonucunda ise, göçmenin, daha büyük deplasmanlarda meydana geldiği ve göçmenin tam olarak bir pik noktasına ulaşmadan meydana geldiği Şekil 5'te görülmektedir. Ayrıca numunelerde gözlenen göçme şekillerinin de şişme (varilleşme) şeklinde olduğu gözlenmiştir (Şekil 6).



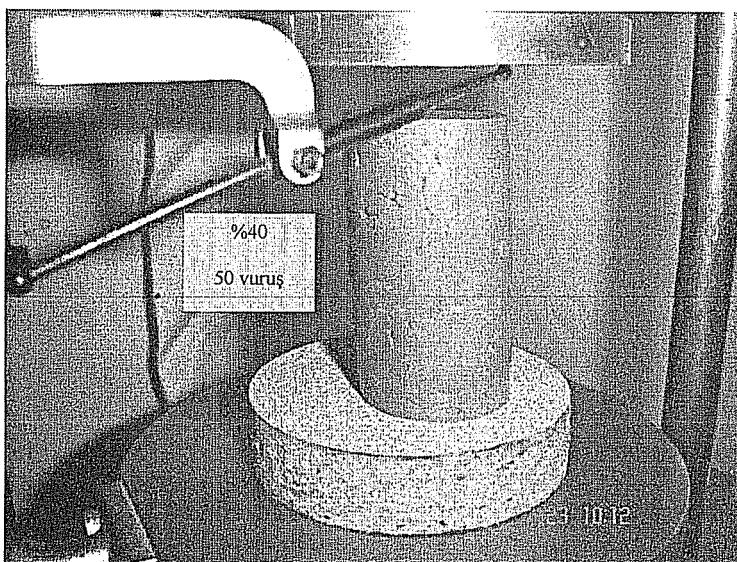
Şekil 3. 11 No'lu numune üzerinde yapılan serbest basınç deneyi



Şekil 4. 11 No'lu numunenin göçme şekli

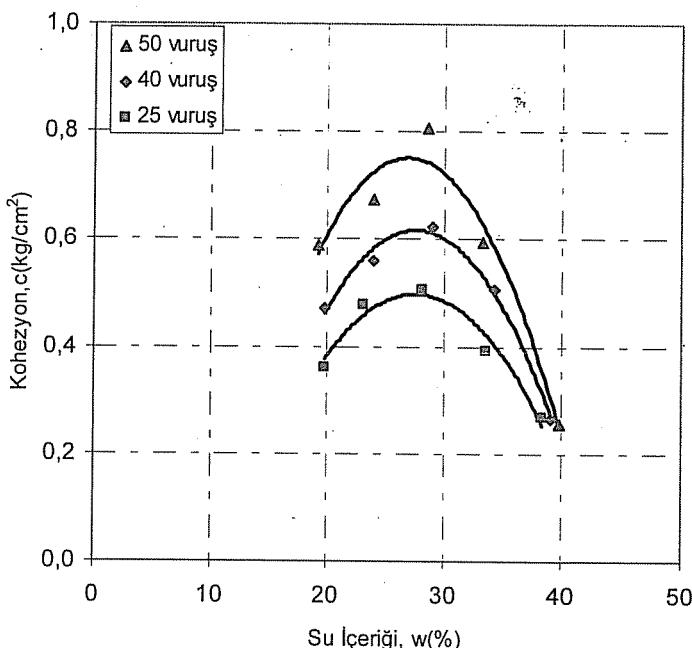


Şekil 5. 15 No'lu numune üzerinde yapılan serbest basınç deneyi



Şekil 6. 15 No'lu numunenin göçme şekli

Tüm deney sonuçları kullanılarak su içeriği ile zemin kohezyonunun kompaksiyon enerjisine bağlı olarak değişimi Şekil 7'de görülmektedir. Burada her bir sıkıştırma enerjisinde su içeriği artarken kohezyonun bir miktar artış eğiliminde olduğu ancak optimum su değerinden sonra ise, azaldığı görülmektedir.



Şekil 7. Kompaksiyon enerjisinin su içeriğine bağlı olarak kohezyon üzerindeki etkisi

Bu sonuç geleneksel kompaksiyon eğrisi ile uyumludur. Normalde kil olan veya killi zeminlerin su içeriği arttıkça kohezyon değerinin azalması beklenir. Bu çalışmada da optimum su içeriğinden daha fazla su içeriklerinde bu durum gözlenmektedir. Optimum su içeriği öncesi bu durum görülmemesi birim hacme giren zemin tane miktarının az olmasından dolayıdır.

6. SONUÇ

Farlı sıkıştırma enerjilerinde su içeriği arttığında kohezyon bir miktar artmış ancak, optimum su değerinden sonra ise, azalmıştır.

Optimum su içeriği gözlenen durum birim hacme giren zemin tane miktarının az olmasındandır. Optimum su içeriği sonrasında ise, boşluklardaki suyun zemin tanelerini daha sıkı halde yerleşmeye engel olacak şekilde davranışındandır.

Sabit enerji altında farklı su içeriklerinde hazırlanan numuneler üzerinde yapılan serbest basınç deneylerinde, daha düşük su içeriklerinde daha düşük deplasmanlarda göçme yüklerine ulaşılırken, su içeriğinin artmasıyla göçme yüklerinin daha büyük deplasmanlarda meydana geldiği görülmüştür.

Göçme şekilleri de kuru zeminlerde ani kırılma şeklinde yüzeyler vererek oluşurken, zemin kıvamı (su içeriği) arttıkça göçme varilleşme şeklinde ve grafikte açık bir maksimum değer vermeden gerçekleşmiştir.

7. KAYNAKLAR

1. Schmidt,G.,C., "Stratigraphic Nomenclature for the Adana Region Petroleum District", VII: Petroleum Administration Bull., 6, 47-63s, Ankara, 1961.
2. Kapur,S., Gökçen,S. and Yaman,S., "Caliche Formations in the Late Tertiary", Adana Basin-Turkey in 5th European Regional Meeting of Sedimentology pp. 230-231., 1984.
3. Yetiş,C. ve Demirkol,C., "Adana Baseni Batı Kesiminin Detay Etüdii", M.T.A. Derleme Rapor No.8037, 187s., Ankara, 1986. (yayınlanmamış).
4. Zanbak,C. and Arthur,R.C., "Geochemical and Engineering Aspects of Anhydrite/Gypsum Phase Transitions", Bulletin of the Association of Engineering Geologists, Vol.23, No. 4, pp. 419-433., 1986.
5. Ko,S., Olgaard,D.L. and Briegel,U., "The Transition from Weakening to Strengthening in Dehydrating Gypsum", Evolution of Excess Pore Pressure, Geophysical Research Letters, Vol. 22, no. 9, pp. 1009-1012., 1995.
6. Yıldırım,S., "Aşırı Konsolidé Kilde Yer Alan Yarmalarda Kabarma Potansiyeli", Mühendislik Jeolojisi Bülteni, Sayı 12, pp.29-33., 2002.

YAZIM KURALLARI

Gönderilecek makaleler, Mühendislik Bilimleri ile ilgili başka hiçbir yerde yayınlanmamış, orijinal bir araştırma niteliğinde olmalıdır. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilemez. Yazı dili Türkçe ve İngilizce'dir. Dergi ofset teknigi ile basıldığından makaleler IBM uyumlu bilgisayarla Microsoft Word'97 ve yukarısı programda yazılmış, biri orijinal, ikisi fotokopi olmak üzere nüsha olarak gönderilmelidir.

Makalelerin incelemesi yapıldıktan sonra düzeltmeler yazarlar tarafından yapılmalı, tüm şekil ve grafikler yerleştirilmiş olarak, düzeltilmiş nüshaya ait disket ile birlikte 15 gün içerisinde geri gönderilmelidir. Makalenin başlığı metne uygun, kısa ve açık ifadeli olmalıdır. Başlık, büyük harflerle ve sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Makale 1 satır aralıklla yazılmalıdır. Alt başlıklarla ilk paragraf ve paragraflar arasında 1 aralık bırakılmalıdır. Yazar ad ve soyadları unvan belirtildeden, başlığın 1 cm altına sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Yazar sayısı birden çok ise, hepsi alt alta yazılmalıdır. Yazar adresi (Üniversite, Fakülte, Bölüm, Şehir) makale başlığının altına yapılmalıdır.

Makaleler çizelge, şekil ve fotoğraflarla en fazla 15 sayfa olmalıdır. Ancak kısaltılması mümkün olmayan makalelerin yayınlanmasında yayın kurulu yetkilidir. Şekil ve grafikler çini mürekkep ile aydinger kağıdına veya beyaz kuşe kağıda çizilmeli, resimler parlak fotoğraf kartına siyah-beyaz ve net basılmış olmalıdır.

Çalışma herhangi bir kurumun desteği ile yapılmış ise, bu ilk sayfanın altına * işaretini takip edecek şekilde dipnot olarak yapılmalıdır.

Başlıklar 1., 2., ve alt başlıklar 1.1., 1.2., vb. numaralandırılıp, alt başlıklar küçük harflerle, fakat kelime baş harfleri büyük olarak yazılmalıdır. Metindeki eşitlikler (1), (2),... vb. şeklinde numaralandırılmalı ve numaralar sayfanın en sağına yerleştirilmelidir. Daktiloada bulunmayan işaretler, siyah çini mürekkep ve şablon kullanılarak (veya elle çok düzgün bir şekilde) yapılmalıdır.

Makalenin bölümleri aşağıdaki sıraya göre olmalıdır : Türkçe başlık, özet, İngilizce başlık ve özet, metin, teşekkür (gerekli ise) ve kaynaklar. Özetter en az beş, en fazla on satır olmalıdır. Özetteş sonra makalenin İngilizce başlığı büyük harflerle ve sayfa ortalanarak yazılmış, bunun altına da "Abstract" İngilizce olarak verilmelidir. Metinde mutlaka giriş ve sonuç bölümleri bulunmalıdır. Ara bölümler materyal ve metod, deneysel çalışma, teorik esaslar gibi başlıklar veya alt başlıklar şeklinde düzenlenebilir. Metin içinde kaynaklara atıfta bulunmak istenildiğinde, yazar adı verilerek veya verilmeksızın kaynak numarası parantez içinde gösterilmelidir. Numaralandırma metinde veriliş sırasına göre yapılmalıdır. İkiden fazla yazar sayısı durumunda ilk iki yazar adı yazılp, Türkçe kaynaklarda "ve diğ." Yabancı kaynaklarda "et.al." ibaresi eklenir. Kaynak makale ise, önce yazar adı baş harfi, yazarın soyadı, makalenin adı (yalnız ilk kelimenin baş harfi büyük), derginin adı veya varsa kısaltılmış adı, dergi cilt ve sayısı, parantez içinde yılı ve en sona da başlangıç ve bitiş sayfaları tire ile ayrılarak verilmelidir. Kaynak bir kitap ise yazar adının ilk harfi, soyadı, kitap adı (kelime harfleri büyük), yayınevî, yayın yeri, yayın yılı ve sayfa numarası verilmelidir.

Dergiye gönderilen yazılar yayınlanın veya yayınlanmasın iade edilmez. Makaleleri yayılama yetkisi dergi yayın kuruluna aittir.

Yayınlanması istenen makaleler aşağıdaki adrese gönderilir:

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

Dergi Yayın Kurulu Başkanlığı

01330 Balcalı-ADANA

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

Derin Deniz Deşarjında Kirlilik Dağılımının Bilgisayar Destekli İncelenmesi <i>Investigation of Pollution Dispersion of Deep Sea Discharge by Supported with Computer Modeling</i>	267
Zeyrek Alper KOCAMIŞ, Galip SEÇKİN	
Bazı Tekstil Boyalarının Sulu Çözeltiden Giderilmesinde Su Bitkisi (<i>Potamogeton Natans</i>)'ın Adsorbent Olarak Kullanılması <i>The use of Aquatic Plant (<i>Potamogeton Natans</i>) as an Adsorbent for the Removal of Some Textile Dyes from Aqueous Solutions</i>	277
Olcayto KESKINKAN, Ahmet YÜCEER	
Personel Eğitim İhtiyaç Değerlendirmesi İçin Bir Karar Destek Yazılımı Uygulaması <i>A Decision Support Software Application for Personnel Training Needs Assessment</i>	289
Esla GÜNDÜZ, Oya H.YÜREGİR	
Çamlıyayla (Tarsus Kuzeyi) Güney Kesiminin Stratigrafisi <i>Stratigraphy of Southern Çamlıyayla (North of Tarsus)</i>	301
Mehmet GÖK, Cavit DEMİRKOL, Ulaş İnan SEVİMLİ	
Fayların Zeminler Üzerindeki Etkisi: Kuzey Anadolu Fay Zonu Gerede (Bolu) Segmenti <i>The Effect of Faulting on Soils: Gerede (Bolu) Segment of The North Anatolian Fault Zone</i>	315
Hasan ÇETİN, Osman GÜNAYDIN, Mustafa FENER	
Handere Kilinde Su İçeriği ve Kompaksiyon Enerjisinin Mukavemete Etkisi <i>The Effect of Water Content and Compaction Energy to Strength in Handere Clay</i>	323
Arzu PALALI, Ergül YAŞAR, Ahmet DEMİR	

Yeni Bir Yük Kontrollü Üç Eksenli Deney Düzeneği ile Gerilme İzli Üç Eksenli Basınç Deneyleri <i>Using a New Load Controlled Tri-Axial Test Apparatus in Stress Path Triaxial Test</i> M. Arslan TEKİNSOY, Taha TAŞKIRAN	113
Tarsus/Yenice Kilinde Düzlemsel Anizotropik Elastik Parametrelerin Saptanması <i>Determination of Cross-Anisotropic Elastic Constants of Tarsus/Yenice Clay</i> M. Arslan TEKİNSOY, Taha TAŞKIRAN	123
Çelik Yapıların SAP2000 Programı ile Analiz ve Tasarımı <i>Analysis and Design of Steel Structures by using SAP2000</i> Sinem KOCABAŞ, Beytullah TEMEL	139
Bileşik Kesitli Akarsu Yataklarında İki Boyutlu Yöntemlerle Debi Tayini <i>Determination of Discharge Capacity of Compound Channels with 2-D Methods</i> Mustafa MAMAK, Galip SEÇKİN	153
Konveksiyon-Difüzyon Problemlerinin Sonlu Hacim Yöntemi ile Analizi <i>Analysis of Convection-Diffusion Problems with Finite Volume Method</i> Eyüp Gökmen FİLİNTE, Mustafa MAMAK	163
Kıyıya Dik Doğrultudaki Sediment Taşınımının Deneysel İncelenmesi <i>Laboratory Investigation of Cross-Shore Sediment Transport</i> M. Sami AKÖZ, Mustafa DEMİRCİ	177
Yapay Sinir Ağları ve Regresyon Teknikleri ile Botan Çayı Aylık Taşınan Sediment Miktarının Modellemesi <i>Modelling of Monthly Sediment Transport Amount of Botan Stream using Neural Networks and Regression Techniques</i> Nizamettin HAMİDİ, Mustafa DEMİRCİ	193
Diyarbakır İli, Yeni Mücavir Alanın Rezidüel Kilinin Şişme Potansiyelinin İrdelenmesi <i>Evaluation of Swelling Potential of Residuel Clay of New Settlement Area in Diyarbakır Province</i> Taha TAŞKIRAN	209
Beton Davranışında Mikromekanik Modelleme <i>Micromechanical Modelling in Concrete Behavior</i> Murat ÖRNEK, Babür DELİKTAŞ, Ferhun Cem CANER, Mustafa DEMİRCİ	217
Akarsularda Katı Madde Miktarının Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmini <i>Modeling River Suspended Sediment Yield using Artificial Neural Networks</i> Murat ÇOBANER, Burhan ÜNAL, Özgür KİŞİ, Serap ÜNAL	229
İplik Eğirmede Bilgisayar Destekli Proses Kontrol <i>Computer Aided Process Control in Yarn Spinning</i> Emel Ceyhun SABİR, Ömer ERDOĞAN	237
Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Örtü Reaktöründe Siyanür Giderimi <i>Cyanide Removal in Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor</i> Turan YILMAZ, Ahmet YÜCEER	255