



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ  
DERGİSİ



ÇUKUROVA UNIVERSITY  
JOURNAL OF FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT 16 SAYI 1-2 Haziran / Aralık 2001 ISSN 1019-1011  
VOL 16 NO 1-2 June / December

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Strength Prediction of Concrete Containing High Calcium Afşin-Elbistan Fly Ash by Accelerated Curing Method <i>Yüksek Oranda Kireçli Afşin-Elbistan Uçucu Külü İçeren Betonların Hızlandırılmış Kır Metodu ile Dayanım Tahmini</i> Cengiz Duran ATIŞ, Cahit BİLİM.....	1
Investigation of Resistance Parameters in a Smooth and Mobile Bed Rectangular Channels <i>Pürüzsüz ve Sediment Hareketli Tabana Sahip Dikdörtgen Kesitli Açık Kanallarda Direnç Parametrelerinin İncelenmesi</i> Galip SEÇKİN, Serter ATABAY.....	9
Killi Zeminlerin Sükunetteki Yanal Basınçları ve $K_0$ Katsayısı <i>Lateral Earth Pressure of Clayey Soil At-Rest and <math>K_0</math> Coefficient</i> Cafer KAYADELEN, M.Arslan TEKİNSOY.....	19
Çok Katlı Yapıların Üç Boyutlu Deprem Analizi İçin Bir Bilgisayar Programı <i>A Computer Program for Three-Dimensional Earthquake Analysis of Multi-Storey Structures</i> A.Kamil TANRIKULU, Gültekin AKTAŞ, A.Hamza TANRIKULU.....	33
Danışmanlık Firmalarının İnşaat Sektöründeki Etkinliklerinin Artırılmasına Yönelik Öneriler <i>Suggestion About Proliferation of Consulting Firms in Construction of</i> M.Emin ÖCAL, Halil GEREK.....	55
Seyhan Nehri Üzerindeki Su Yapılarından Kaynaklanan Su Yüzü Profillerinin Modellenmesi <i>Modeling of the Water Surface Profiles Caused by Water Structures on Seyhan River</i> İsmail KAYA, Recep YURTAL, Galip SEÇKİN.....	67

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ**  
**DERGİSİ**

*Çukurova University, Journal of Faculty of Engineering and Architecture*

**Sahibi**

Tuncay YILMAZ  
Çukurova Üniversitesi  
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanı

**Editör**

Mesut ANIL

**YAYIN KURULU**

Mesut ANIL Beşir ŞAHİN  
Recep YURTAL Hasan ÇETİN  
Osman BABAARSLAN

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

İ.Deniz AKÇALI (Ç.Ü.)	Nur AKIN (İ.T.Ü.)
Ergin ARIOĞLU (İ.T.Ü.)	Orhan AKSOĞAN (Ç.Ü.)
Ahmet AYHAN (G.Y.T.E.)	Sedat TEMUR (Sel.Ü.)
A.Feyzi BİNGÖL (F.Ü.)	Baki CANİK (A.Ü.)
Cavit DEMİRKOL (Ç.Ü.)	İlhan ERHAN (M.S.Ü.)
Aziz ERTUNC (S.D.Ü.)	Cahit HELVACI (D.E.Ü.)
M.Baki KARAMIŞ (E.Ü.)	Erdal KEREY (İ.Ü.)
Erhan KIRAL (Ç.Ü.)	Salih KIRKGÖZ (Ç.Ü.)
Erdem KOÇ (Ç.Ü.)	Engin MERİC (İ.Ü.)
Güven ÖNAL (İ.T.Ü.)	Işık OZPEKER (İ.T.Ü.)
Kazım PIHTILI (F.Ü.)	Senai SALTOĞLU (İ.T.Ü.)
Hamit SERBEST (Ç.Ü.)	Vedia TOKER (A.Ü.)
Bedri TUC (G.Ü.)	İbrahim UZMAY (E.Ü.)
Servet YAMAN (Ç.Ü.)	Cengiz YETİŞ (Ç.Ü.)
Yücel YILMAZ (İ.T.Ü.)	Tuncay YILMAZ (Ç.Ü.)

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

İ.Altay ACAR (Ç.Ü.)	N.Caykun ALPASLAN (Y.T.Ü.)
Mehmet ARDIÇLIOĞLU (Er.Ü.)	A.Kamil TANRIKULU (Ç.Ü.)
Mesut BAŞIBÜYÜK (Ç.Ü.)	Ali BERKTAY (Sel.Ü.)
O.Nuri ÇELİK (Sel.Ü.)	Hasan ÇETİN (Ç.Ü.)
Hakan ERDEM (19 Mayıs Ü.)	Rızzan EROL (Ç.Ü.)
Cemal GENEŞ (M.K.Ü.)	Hacı Bekir KARA (Er.Ü.)
Nilay KESKİN (S.D.Ü.)	Mustafa LAMAN (Ç.Ü.)
Ahmet ÖZEL (Sak.Ü.)	Galip SEÇKİN (Ç.Ü.)
Zeliha SELEK (Ç.Ü.)	Beytullah TEMEL (Ç.Ü.)
M.Ümit ÜNAL (Ç.Ü.)	Recep YURTAL (Ç.Ü.)

**YAZISMA ADRESİ**

Ç.Ü., Mühendislik-Mimarlık Fakültesi  
Dergi ve Yayın Kurulu Başkanlığı  
01330 Balcalı / ADANA

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

(Bu sayı Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Güçlendirme Derneği tarafından yayımlanmıştır).

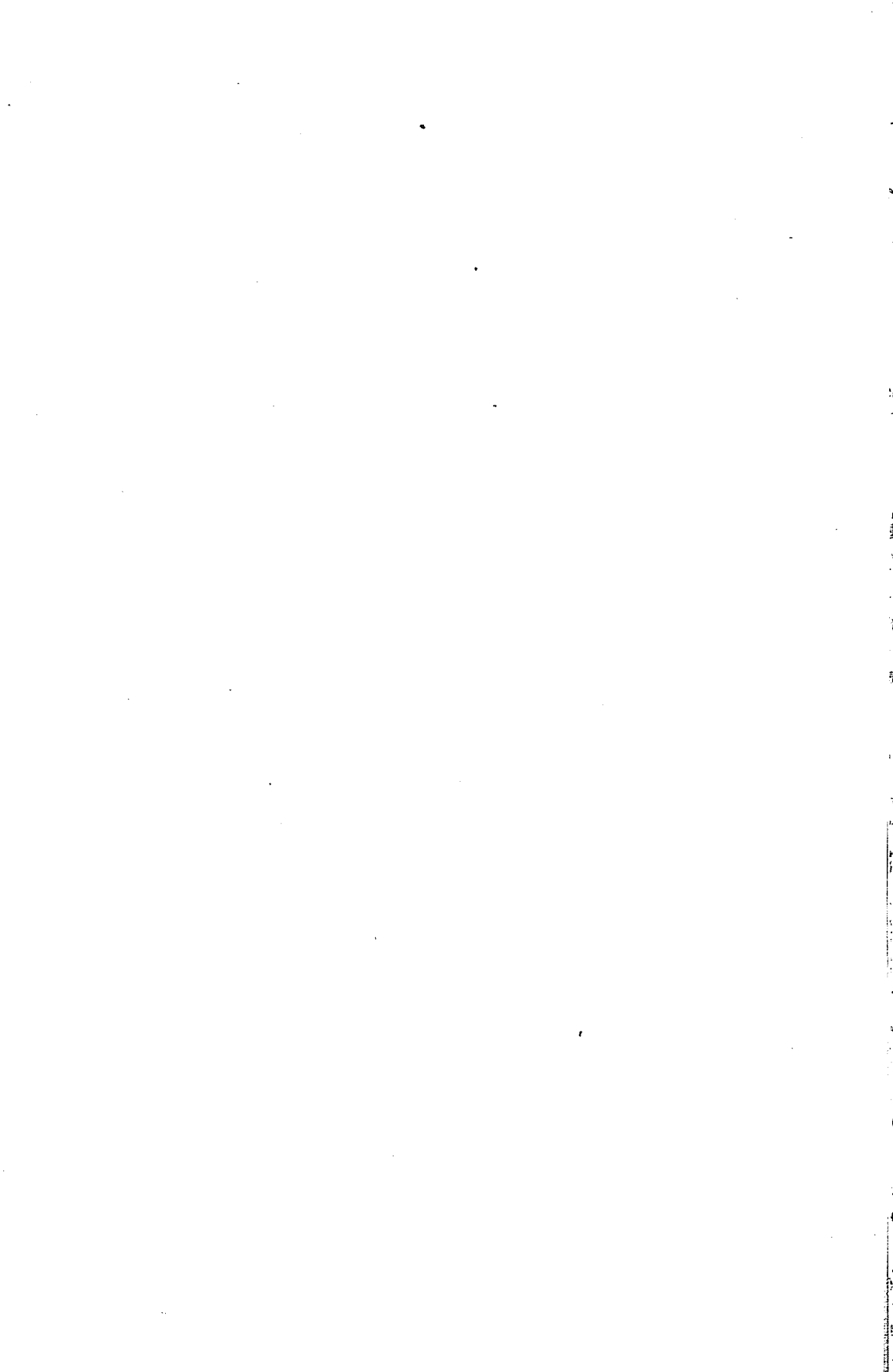
## ÖNSÖZ

Fakülte Dergimizin 16.cilt 1-2. sayısını maalesef yine gecikmeyle yayınlayabildik. 2001 yılına ait bu cilt'in gecikmeyle yayınlanmasının en önemli sebebi maddi imkansızlıklar olup, ülkemizin içinde bulunduğu ve uzun süreden beri süregelen derin ekonomik kriz tolerans sınırlarını aşan bu gecikmede en önemli etken olmuştur.

Bu sayımızda toplam 15 makaleye yer verilmiştir. Dergimizde ancak fakülte mensuplarımızın ya bizzat kendileri veya başka bir üniversitede çalışan araştırmacılarla ortak olarak gerçekleştirilen yayınlarına yer verilmektedir.

Ç.Ü.Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Fakülte Dergimiz bundan sonra Fakültemiz Güçlendirme Derneği tarafından Fakültemiz Dekanı Sayın Prof.Dr. Tuncay Yılmaz'ın himayesinde yayınlanacaktır. Makale veren değerli yazarlarımıza, büyük bir özveriyle derginin dizgisini yapan Filiz Demirkıran'a ve basımını büyük bir titizlikle gerçekleştiren Üniversitemiz Matbaası yetkililerine teşekkür etmeyi görev biliriz.

Yayın Kurulu







ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ  
DERGİSİ



ÇUKUROVA UNIVERSITY  
JOURNAL OF FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT 16 SAYI Haziran / Aralık 2001 ISSN 1019-1011  
VOL 16 NO 1-2 June / December 2001

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Strength Prediction of Concrete Containing High Calcium Afşin-Elbistan Fly Ash by Accelerated Curing Method <i>Yüksek Oranda Kireçli Afşin-Elbistan Uçucu Külü İçeren Betonların Hızlandırılmış Kır Metodu ile Dayanım Tahmini</i> Cengiz Duran ATIŞ, Cahit BİLİM.....	1
Investigation of Resistance Parameters in a Smooth and Mobile Bed Rectangular Channels <i>Pürüzsüz ve Sediment Hareketli Tabana Sahip Dikdörtgen Kesitli Açık Kanallarda Direnç Parametrelerinin İncelenmesi</i> Galip SEÇKİN, Serter ATABAY.....	9
Killi Zeminlerin Sükunetteki Yanal Basınçları ve $K_0$ Katsayısı <i>Lateral Earth Pressure of Clayey Soil At-Rest and <math>K_0</math> Coefficient</i> Cafer KAYADELEN, M.Arslan TEKİNSOY.....	19
Çok Katlı Yapıların Üç Boyutlu Deprem Analizi İçin Bir Bilgisayar Programı <i>A Computer Program for Three-Dimensional Earthquake Analysis of Multi-Storey Structures</i> A.Kamil TANRIKULU, Gültekin AKTAŞ, A.Hamza TANRIKULU.....	33
Danışmanlık Firmalarının İnşaat Sektöründeki Etkinliklerinin Artırılmasına Yönelik Öneriler <i>Suggestion About Proliferation of Consulting Firms in Construction of</i> M.Emin ÖCAL, Halil GEREK.....	55
Seyhan Nehri Üzerindeki Su Yapılarından Kaynaklanan Su Yüzü Profillerinin Modellenmesi <i>Modeling of the Water Surface Profiles Caused by Water Structures on Seyhan River</i> İsmail KAYA, Recep YURTAL, Galip SEÇKİN.....	67

Donatılı Zeminlere Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi <i>Analysis of Shallow Foundations Resting on Reinforced Soils</i> Ahmet ARSLAN, Mustafa LAMAN.....	77
Sonlu ve Sonsuz Eleman Modeli ile Üç Boyutlu Yapı-Zemin Etkileşimi Analizi <i>Three Dimensional Soil-Structures Interaction Analysis with Finite and Infinite Element Model</i> Selçuk KAÇIN, Hüseyin R. YERLİ.....	87
Zamanla Keyfi Değişen Yükleme Etkisi Altındaki Üç Boyutlu Yapı-Zemin Etkileşimi Analizi <i>Three Dimensional Soil-Structures Interaction Analysis Under the Effect of Transient Loading</i> Selçuk KAÇIN, Hüseyin R. YERLİ.....	99
Seri Bağlı Model Nitritasyon ve Denitritasyon Prosesinde Eysel Atıksulardan Azot Giderimi <i>Nitrogen Removal from the Municipal Wastewater with Serial Connected Model Nitrification and Denitrification Process</i> Eda ÖZGÜDEN, Zeliha SELEK, Ahmet YÜCEER.....	111
Seka Bolu Müessesesi Atıksu Arıtma Tesisi İşletilmesinde Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Uygulamaları <i>Problems Encountered in Seka Bolu Wastewater Treatment Plant Operation and Solution Proposals</i> Zeliha SELEK, Aydın CİNT.....	121
Bir Anaerobik Biyofilm Reaktörde Sülfat Gideriminin İncelenmesi <i>Examination of Sulphate Removal in An Anaerobic Biofilm Reactor</i> Olçayto KESKİNKAN, Demet KALAT, Mesut BAŞIBÜYÜK.....	129
Kaynak Kısıtlaması Olmayan Tek Aşamalı Parti Büyüklüğü Belirleme Probleminin Çözümünde Yeni Bir Sezgisel Algoritma <i>A New Heuristic Algorithm Solving in Single-Level Lot Sizing Without Resource Constraints Problems</i> Ercan ŞENYİĞİT, Funda YILDIRIM.....	139
Dokuma İşletmelerinde Makine Girişim Probleminin Çözümü İçin Simülasyon Yaklaşımı <i>Simulation Approach for Solution of Machine Interference Problem in Weaving Mills</i> Funda YILDIRIM, Adnan YILDIZ.....	153
Atatürk Barajı ve HES Dolusavak Dinlendirme Havuzu Öngerilmeli Ankrajları <i>Atatürk Dam and Hepp Spillway Stilling Basin Prestressed Anchoring</i> Büyüamin ÜNAL, Hasan ÇETİN.....	165

**STRENGTH PREDICTION OF CONCRETE CONTAINING HIGH CALCIUM  
AFŞİN-ELBİSTAN FLY ASH BY ACCELERATED CURING METHOD****Cengiz Duran ATIŞ**

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

**Cahit BİLİM**

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

**ABSTRACT :** An experimental work was carried out to investigate the response of concrete containing high calcium fly ash to the accelerated curing for 28-day strength prediction in an about 24-30 hours time. With three different cementitious material contents, a total of 48 concretes were produced. The water/cement ratios were varied from 0.40 to 0.87. Compressive strengths of the moist cured cube specimens cast from the concrete mixtures made with 0%, 15%, 30% and 45% replacement of normal portland cement with fly ash were measured at 28 days. Accelerated compressive strengths were also measured using warm-water method and boiling-water method in accordance with the relevant ASTM and Turkish Standards.

The laboratory test results indicated that the accelerated curing could be used to predict the compressive strength of fly ash concrete with 85% correlation coefficient. The amount of fly ash was found to be immaterial in the strength prediction. The relation between warm-water method and boiling-water method was of linear form with 93% correlation coefficient.

**Keywords:** high calcium fly ash, strength, accelerated curing

**YÜKSEK ORANDA KİREÇLİ AFŞİN-ELBİSTAN UÇUCU KÜLÜ İÇEREN  
BETONLARIN HIZLANDIRILMIŞ KÜR METODU İLE DAYANIM TAHMİNİ**

**ÖZET :** Yaklaşık 24-30 saat sürede 28 günlük dayanım tahmini için, yüksek oranda kireç içeren uçucu küllü betonların hızlandırılmış kür karşısındaki davranışlarını araştırmak üzere bir laboratuvar çalışması yürütülmüştür. Üç farklı bağlayıcı dozajında, su çimento oranları 0.40 ve 0.87 arasında değişen, toplam 48 beton karışımı hazırlanmıştır. Uçucu külün normal Portland çimentosunu %0, %15, %30 ve %45 yer değiştirme oranlarında ikamesiyle üretilen ve nemli ortamda kür edilen betonların 28 günlük basınç dayanımları ölçülmüştür. ASTM ve Türk Stadartlarına göre uygulanan ılık su metodu ve kaynar su metodu ile hızlandırılan beton basınç dayanımları da ölçülmüştür.

Laboratuvar çalışması, ılık su ve kaynar su hızlandırılmış kürlerinin uçucu kül içeren betonların basınç dayanımlarının %85 korelasyon katsayısıyla tahmin edilebilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir. Kullanılan uçucu kül miktarının önemsiz olduğu bulunmuştur. Ilık su metodu ve kaynar su metodu arasındaki ilişkinin %93 korelasyon katsayısı ile doğrusal formda olduğu anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** yüksek kireçli uçucu kül, dayanım, hızlandırılmış kür

## 1. INTRODUCTION

Nowadays, the rapid growth and quicker construction have been recognized. The conventional 28-day compressive strength test shows inadequacies for acceptance of concrete because the quantities of concrete became so large and the speed of construction became so fast that a judgement on the adequacy of controlling the quality of concrete would be needed much earlier than even a 7-day test could provide (1).

Therefore, a need to predict 28-day compressive strength of concrete in short time was arisen. In the last past 50 years, a vast number of serious researchs were carried out for prediction of 28-day compressive strength at early time (2). As a result of these research, specifications (i.e. ASTM and TSI) standardized three procedures of accelerated method (3,4).

Using fly ash in concrete is accepted widely in the world due to the fact that it modifies the properties of the concrete in both fresh and hardened state. The use of fly ash in concrete is also economic and environment friendly, because, the fly ash is a by-product or a waste of the coal combustion power station (5,6,7,8).

The aim of this work was to investigate the response of a local material Afşin-Elbistan fly ash to the accelerated curing was investigated for early strength prediction. Tokyay and Erdoğan (9) classified it as high sulfate and high calcium fly ash. The investigation was made on the basis of compressive strength.

## 2. EXPERIMENTAL PROGRAM

### 2.1. Materials Used in The Investigation

#### 2.1.1. Cement

The cement used was normal Portland cement (PC 42.5 N/mm<sup>2</sup>) which conforms to the current specifications as described in TSI (10). Specific gravity of the cement used was 3.16 gr/cm<sup>3</sup>. Initial and final setting times of the cement were 3 hours and 30 minutes and 4 hours and 30 minutes respectively. Its blaine specific surface area was 3140 cm<sup>2</sup>/gr. The remaining of the cement on 200 and 90-micron sieve were 0% and 0.4% respectively. Its chemical composition are given in Table 1.

#### 2.1.2. Fly Ash

The fly ash used was obtained from the electricity generating Afşin-Elbistan Thermal Power Station in Turkey. It is a high calcium (CaO>10) and high sulfate fly ash(9,11). It does not comply with the requirements of BSI (12) and ASTM (11) and TSI (13). It can be called as a non-standard ash. Its chemical composition are given in Table 1. Its specific gravity was 2.70 gr/cm<sup>3</sup> and blaine specific surface area was 2900 cm<sup>2</sup>/gr. Remaining of fly ash on the 45 µm sieve was 14 %.

**Table 1.** Chemical composition of cement and fly ash (%)

Composition	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	LOI
Cement	20.65	5.60	4.13	61.87	2.60	2.79	0.14	0.83	0.5
Fly Ash	18.95	7.53	3.82	51.29	1.58	12.06	0.32	1.51	2.94

### 2.1.3. Aggregate

The sand and aggregate used were uncrushed, quartzitic, natural aggregate. It was used as obtained from the natural deposit. The grading of mixed aggregate complied with the requirements of TSI (14). The absorption value of the sand used was 1.5 % and its relative density at saturated surface dry (SSD) condition was 2.65 gr/cm<sup>3</sup>.

The gravel was 16mm maximum nominal size with a 0.99% absorption value and its relative density (SSD) was 2.73 gr/cm<sup>3</sup>.

Grading of the mixed aggregate was given in Table 2 with the relevant standard limits. It was seen from Table 2 that the grading of the aggregate was fallen into the limits between B and C which was considered to be usable zone.

**Table 2.** Grading of mixed aggregate with standard limit (% Passed)

Sieve Size (mm)	Lower Limit of TS 706 (A) (14)	Middle Limit of TS 706 (B) (14)	Grading of The Aggregate Used	Upper Limit of TS 706 (C) (14)
0.25	3	8	4.9	18
1	12	32	41.4	49
2	21	42	51.3	62
4	36	56	62.9	74
8	60	76	81.2	88
16	100	100	100	100

### 2.1.4. Superplasticiser

The superplasticiser was a commercial material which is a carboxylic type high range water reducing agent suitable for fly ash concrete.

## 2.2 Concrete Mixture Composition

In this laboratory work, three different concrete mixture proportions were prepared with three different quantity of cement for a unit volume of concrete. The mixture proportions were 1:10.5, 1:6.5, 1:4.5 cement and sand respectively. The given proportions for the cement and aggregate are in mass basis. The approximate quantity of cement used for the mixture were 200, 300, 400 kg respectively for each concrete mixture proportions. Two constant w/c ratios 0.5 and 0.8 were chosen for each mixture proportions. Fresh concrete mixtures were prepared with these constant w/c ratio. Fresh concrete mixture were also prepared with the optimal w/c ratio as well as optimal w/c ratio plus superplasticizer.

For the purpose of evaluating the influence of the fly ash on compressive strength of concrete, fly ash (FA) concretes were produced using fly ash as cement replacement at the level of 15%, 30%, and 45%. The replacement of fly ash was on mass basis. The mixtures were made with and without a superplasticiser. Table 3 presents the composition of the concretes produced and tested.

Optimal w/c ratio for each concrete was determined by vibrating slump test using the soil phylosphy Vibrating slump test is described elsewhere (15). It determines the optimal w/c ratio according to the fact that optimum w/c ratio corresponds to the maximum compactability, thus, the density. Although the details are not given, the

optimal w/c ratios found for each concrete composition were given in Table 3 at the column of W/(C+FA) under O.

**Table 3.** Concrete mix proportions with w/c ratio of 0.5 and 0.8 and optimum

Mix Name	Mixed Aggregate (kg)	C (kg)	FA (kg)	FA C + FA %	W (Lt)		W C + FA 0.5 (0.8) O		SP (Lt)	SP C + FA %
					0.5	(0.8) O	0.5	(0.8) O		
K1	2100	200	0	0	100	(160) 164	0.5	(0.8) 0.82	8.8	0.044
K2	1950	300	0	0	150	(240) 159	0.5	(0.8) 0.53	9.0	0.030
K3	1800	400	0	0	200	(320) 160	0.5	(0.8) 0.40	8.0	0.020
K1-15	2100	170	30	15	100	(160) 166	0.5	(0.8) 0.83	8.8	0.044
K2-15	1950	255	45	15	150	(240) 162	0.5	(0.8) 0.54	9.0	0.030
K3-15	1800	340	60	15	200	(320) 164	0.5	(0.8) 0.41	8.0	0.020
K1-30	2100	140	60	30	100	(160) 168	0.5	(0.8) 0.84	8.8	0.044
K2-30	1950	210	90	30	150	(240) 165	0.5	(0.8) 0.55	9.0	0.030
K3-30	1800	280	120	30	200	(320) 168	0.5	(0.8) 0.42	8.0	0.020
K1-45	2100	110	90	45	100	(160) 170	0.5	(0.8) 0.85	8.8	0.044
K2-45	1950	165	135	45	150	(240) 168	0.5	(0.8) 0.56	9.0	0.030
K3-45	1800	220	180	45	200	(320) 176	0.5	(0.8) 0.44	8.0	0.020

K1, K2, K3 are the concretes made with Portland cement only and considered as the control concrete. The group of K1-15, K2-15, K3-15 and the group of K1-30, K2-30, K3-30 and the group of K1-45, K2-45, K3-45 concretes were made with fly ash replacing the cement at the replacement ratios 15%, 30%, 45% by modification of K1, K2, K3 Portland cement concrete mixtures.

The concrete mixtures made with optimum water cement ratio were non-workable zero-slump concrete. The concretes made with 0.5 w/c ratio were also non-workable except the concrete K3 and its modification with fly ash. The concrete mixtures made with optimum w/c ratio and superplasticizer were high workable flowing concrete. The use of superplasticisers was very effective. The mixtures containing it were practically flowable except the concrete K1 and its modifications with fly ash. Superplasticiser did not work with K1 and and its modifications with fly ash because the amount of cement used was quite less for a unit volume. The values from the flow table were within 500-600mm for superplasticised K2, K3 mixes and their modification with fly ash.

### 2.3. Testing Procedure and Preparation of Sample and Curing

In the laboratory, the compressive strength of concrete cured in moist room at 20 °C temperature, and the compressive strength of concrete cured with accelerated curing using warm-water method (WWM) and boiling-water method (BWM) were measured. The strength measurements were carried out on all the mixtures produced.

Three cubes were used for each strength measurement. For each concrete, 9 cube specimens with 150mm side were prepared. Three of the cubes were used for 28-day compressive strength. Also, three of the cubes were used for warm-water accelerated curing strength testing, and the last three of the cubes were used for boiling water

accelerated curing strength testing. For 48 concrete, a total of 432 concrete cubes were produced and tested. Accelerated strength testing procedure for WWM and BWM were carried out in accordance with ASTM (3) and TSI (4).

### 3. RESULT AND DISCUSSION

The results of the conventional 28-day strength and the accelerated strength measurement with warm water and boiling water method were given in Table 4-7. In each cells of tables, 28-day, WWM and BWM strength were given respectively.

**Table 4.** Normal and accelerated compressive strength (MPa) of concrete made with 0.5 W/C ratio (normal curing method and (warm water method) and boiling water method)

	0%	15%	30%	45%
K1	5.72 (2.54) 2.77	4.92 (2.57) 2.26	4.97 (2.18) 1.74	3.27 (1.84) 1.82
K2	43.05 (19.84) 21.77	42.32 (31.14) 22.22	31.06 (18.89) 15.98	18.26 (10.50) 11.17
K3	47.13 (29.68) 23.93	48.73 (28.14) 32.24	46.89 (23.06) 16.74	39.22 (15.28) 15.25

**Table 5.** Accelerated compressive strength (MPa) of concrete made with 0.8 W/C ratio (normal curing method and (warm water method) and boiling water method)

	0%	15%	30%	45%
K1	17.34 (7.01) 6.38	8.79 (8.22) 7.82	7.74 (4.27) 7.57	4.83 (5.99) 4.70
K2	20.66 (8.97) 5.61	18.17 (10.75) 5.56	11.05 (5.97) 3.23	5.74 (4.19) 2.09
K3	24.41 (8.61) 6.94	20.56 (6.78) 4.69	14.83 (8.10) 2.67	6.13 (3.48) 1.89

**Table 6.** Accelerated compressive strength (MPa) of concrete made with optimal W/C ratio (normal curing method and (warm water method) and boiling water method)

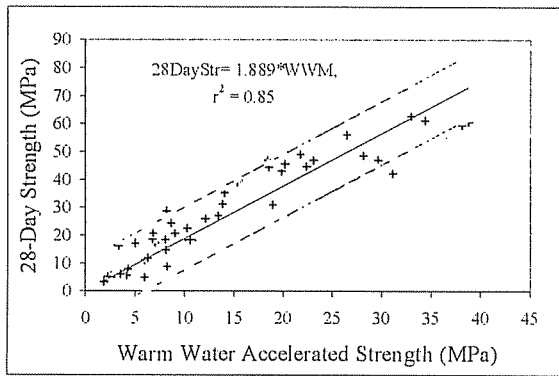
	0%	15%	30%	45%
K1	22.57 (10.25) 9.36	25.89 (12.04) 9.62	18.20 (10.38) 7.47	11.88 (6.31) 5.15
K2	46.93 (18.42) 17.02	49.18 (21.75) 20.02	39.83 (15.43) 11.83	18.48 (8.01) 6.26
K3	60.84 (38.81) 33.21	62.96 (32.98) 32.14	44.80 (22.38) 20.44	27.00 (13.35) 11.66

**Table 7.** Accelerated compressive strength (MPa) of concrete made with optimal W/C ratio and using SP (normal curing method and (warm water method) and boiling water method)

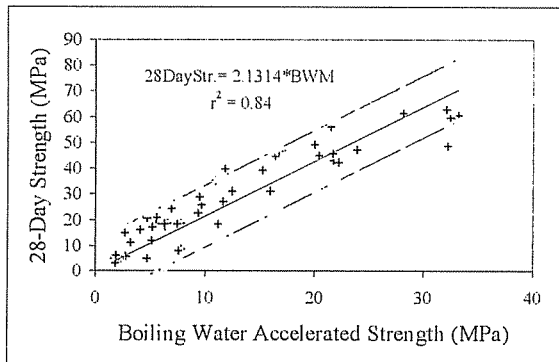
	0%	15%	30%	45%
K1	18.65 (6.93) 7.83	18.61 (6.74) 6.56	17.11 (4.97) 5.19	16.13 (3.27) 4.09
K2	45.66 (20.19) 21.72	44.58 (18.50) 16.44	35.21 (14.04) 10.93	28.84 (8.15) 9.49
K3	59.64 (38.15) 32.48	61.33 (34.36) 28.12	56.02 (26.50) 21.53	31.12 (13.80) 12.45

Using the data given in Table 4-7, an attempt was made to establish a relationship between 28-day strength and the accelerated strength of the concretes produced. First, the relationship was established between 28-day strength and WWM accelerated strength, second it was established between 28-day strength and BWM accelerated strength. The relationships found were presented in Figure 1 and 2 respectively. The upper and lower band lines show 90% confidence level of the relationship exist in both figures. Figure 1 and 2 show that a good relationship exist between both accelerated and 28-day strength testing. The analysis of laboratory test results also indicated that 28-day strength of concrete could be predicted with 85% correlation coefficient using the relationship found.

An statistical analysis was carried out to establish a relationship between WWM accelerated strength and BWM accelerated strength. Analysis results given in Figure 3 showed that there is a good relation between both accelerated strengths with  $r^2$  of 0.93. The upper and lower band lines in Figure 3 show 90% confidence level of the relationship existed. From the relationship found, the use of WWM is recommended here because it is easier to perform when compared to BWM, also it takes 5 hours shorter than that of BWM.



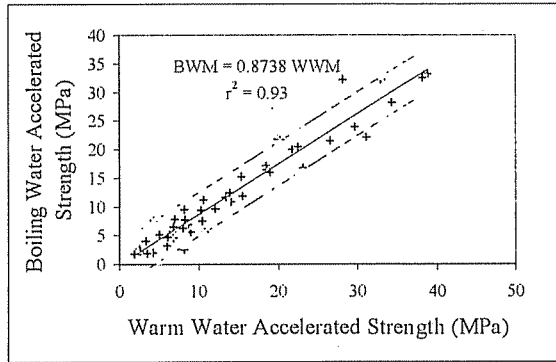
**Figure 1.** Relation between 28-day strengths and WWM accelerated strength



**Figure 2.** Relation between 28-day strengths and BWM accelerated strength



Another statistical analysis was carried out to find if the use of fly ash influences the accelerated strength of the concrete studied. To achieve that purpose, fly ash replacement ratio was considered as a parameter, then the relation between 28-day strength and the accelerated strength of the concrete containing fly ash was established separately for each replacement level. The relation considered was a ratio model. As a result of analysis  $r^2$  and the slope value of each relation were found and given in Table 8 which shows that there is no clear relation between the changes in replacement ratio and slope value and  $r^2$ . From this, it was concluded that the amount of fly ash was immaterial in the strength prediction. This finding supports the finding of Tokyay (16).



**Figure 3.** Relation between WWM and BWM accelerated strength

**Table 8.**  $r^2$  and the slope (a) values of the relation between the accelerated strength and 28-day strength

	0	15	30	45
WWM a, ( $r^2$ )	1.79 (0.80)	1.82 (0.86)	2.07 (0.93)	2.25 (0.77)
BWM a, ( $r^2$ )	1.92 (0.86)	2.01 (0.82)	2.52 (0.84)	2.42 (0.90)

#### 4. CONCLUSION

From the results of the laboratory study following conclusion can be made;

1-28-day strength of fly ash concrete could be predicted using warm water or boiling water strength with 85% correlation coefficient.

2-There is a good relationship exist in linear form between both accelerated curing method with 93% correlation coefficient.

3-The warm water method is recommended due to its ease of use and saving time.

4-The amount of fly ash was found to be immaterial in the strength prediction.

#### 5. ACKNOWLEDGEMENT

Authors thank to Çukurova University Research Fund for financial support to this work (Project Number MMF.2001.20).

## 6. REFERENCES

1. Reshediat, M.R., Madanat, O.N., "Accelerated Strength and Testing of Concrete in Jordan", *Materials and Structures*, No.25, pp.79-83, 1992.
2. Ramakrishnan, V., "Accelerated Strength Testing-Annotated Bibliography", *American Concrete Institute, SP-56*, pp.285-312, 1978.
3. ASTM, C-684-Standard Methods of Making, Accelerated Curing, and Testing Concrete Compression Tests Specimens, *Annual Book of ASTM Standard*, 1995.
4. TSI, TS 3323-The Method of Making Accelerated Curing and Testing of Concrete Compression Test Specimens, Ankara, 1979.
5. Berry, E. E., Malhotra, V. M., *Fly Ash in Concrete*. p.178, CANMET Pubs., 1986.
6. Malhotra, V.M., "Fly Ash, Silica Fume and Rice-Husk Ash in Concrete: A Review", *Concrete International*, Vol.15, No.4, pp.23-28, 1993.
7. Mehta, P.K., "Pozzolanic and Cementitious By-Products as Mineral Admixtures for Concrete – A Critical Review", *Proceedings of 1<sup>st</sup> International Conference on the use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-Products in Concrete*, ACI SP-79, pp. 1-48, Detroit, 1983.
8. Massazza, F., "Evolution of Cements and Cementitious Systems: History and Prospects", *Proceedings of 2<sup>nd</sup> Int. Symposium on Cement and Concrete Technology in the 2000 s*, pp.3-28, Istanbul, 2000.
9. Tokyay, M., Erdoğan, K., *Characterization of Fly Ash Obtained from Turkish Thermal Power Plant, TÇMB/ARGE/Y98.3*, Ankara, 1998.
10. TSI, TS 19-Portland Cements, Ankara, 1992.
11. ASTM, C-618-Standard Specification for Fly Ash and Raw Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, *Annual Book of ASTM Standard*, 1991.
12. BSI, BS 3892-Specification for Pulverized-Fuel Ash for Use With Portland Cement Part-1, London, 1993.
13. TSI, TS EN 451-1-Fly Ash for Concrete – Definitions, Requirement and Quality Control, Ankara, 1996.
14. TSI, TS 706-Aggregates for Concrete, Ankara, 1980.
15. Cabrera, J.G., and Atis, C.D., "Design and Properties of High Volume Fly Ash High-Performance Concrete", *Proceedings of ACI International Conference on High Performance Concrete and Performance and Quality Control Structures*, SP-186, pp.21-37, Gramado, RS, Brasil, 1999.
16. Tokyay, M., "Strength Prediction of Fly Ash Concretes by Accelerated Testing", *Cement and Concrete Research*, Vol.29, No.11, pp.1737-1741, 1999.

## INVESTIGATION OF RESISTANCE PARAMETERS IN A SMOOTH AND MOBILE BED RECTANGULAR CHANNELS

Galip SEÇKİN

Cukurova University, Environmental Engineering Department, Adana/Türkiye

Serter ATABAY

Birmingham University, School of Civil Engineering Department, Birmingham/UK

**ABSTRACT :** *In current study, experimental results are presented concerning the resistance coefficients in a smooth and mobile bed rectangular flume. Experiments were conducted to predict the Manning's  $n$ , Darcy-Weisbach's  $f$  and Chezy's  $C$  resistance coefficients for subcritical uniform flow conditions. Variation of these coefficients with respect to Froude Number ( $Fr$ ), aspect ratio ( $B/H$ ) and Reynolds Number ( $Re$ ) was also investigated. The influence of mobile bed on friction parameters are also explored comparing with smooth bed case results.*

### PÜRÜZSÜZ VE SEDİMENT HAREKETLİ TABANA SAHİP DİKDÖRTGEN KESİTLİ AÇIK KANALLARDA DİRENÇ PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

**ÖZET :** *Bu çalışmada, dikdörtgen kesitli bir açık kanal deney düzeneği üzerinde, pürüzsüz ve sedimentli olmak üzere iki farklı yatak tabanı halleri için, direnç katsayılarını tesbit etmek amacıyla yapılan deneyler ve bulgular sunulmaktadır. Deneyler kritikalti akım hali için Manning  $n$ , Darcy-Weisbach  $f$  ve Chezy  $C$  direnç katsayılarını tesbit etmek amacıyla yapılmıştır. Aynı zamanda, bu katsayıların Froude sayısı ( $Fr$ ), kesit oranı ( $B/H$ ) ve Reynolds sayısı ( $Re$ ) ile değişimleri de incelenmiştir. Sedimentli yatak tabanının sürtünme parametreleri üzerine etkisi, pürüzsüz yatak tabanı durumuyla karşılaştırmak suretiyle izah edilmeye çalışılmaktadır.*

## 1. INTRODUCTION

In a flood event the estimation of discharge capacity of a channel is one of the most essential tasks of a river engineer for flood management and control. The hydraulic resistance coefficient is one of the most important variable for discharge computation in a channel. Therefore, it should be accurately estimated. Three well-known resistance laws can be expressed by the Manning, Darcy-Weisbach, and Chezy resistance equation as shown in Eqs. 1, 2 and 3, respectively.

$$n = \frac{1}{V} R^{2/3} S_0^{1/2} \quad (1)$$

$$f = \frac{8g}{V^2} R S_0 \quad (2)$$

$$C = \frac{V}{\sqrt{R S_0}} \quad (3)$$

where  $V$ =uniform flow cross-sectional area velocity;  $R$ =hydraulic radius;  $S_0$ =bed slope; and  $g$ =gravitational acceleration.

Prandtl [1] developed a formula based on the logarithmic velocity distribution to estimate friction coefficient in smooth pipe flow:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log(\text{Re} \sqrt{f}) - 0.8 \quad (4)$$

where  $\text{Re}$ =Reynolds number; and  $f$ =friction coefficient.

After Prandtl [1], many researchers have developed similar formulas for open channel flow in the form of:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = A \log(\text{Re} \sqrt{f}) + B \quad (5)$$

where  $A$  and  $B$  are constants and are shown in Table 1.

**Table 1.** A and B values

Author	A	B
Keulegan [2]	2.03	-1.08
Reinus [3]	2.0	-1.06
Tracy and Lester[4]	2.03	-1.30
Rao [5]	2.12	-1.83
Pillai [6]	2.10	-1.22
Myers [7]	2.10	-1.56
Bilgil [8]	1.95	-0.95

In this study, resistance coefficient in open channel flume having smooth or mobile bed is experimentally investigated. All the formulas for estimating resistance coefficient are applied to all experimental data, and compared for smooth and mobile bed cases.

## 2. EXPERIMENTAL ARRANGEMENT

Eleven and thirteen sets of experiments, for the smooth [Seçkin ve Atabay, 9] and mobile [Ayyoubzadeh, 10] bed cases, respectively, were performed in a 22 m long flume with a test length of 18 m as can be seen in Figure 1. The flume was 0.398 m wide and 0.20 m deep. The main channel bed and walls of the flume were made of removal smooth PVC material and isolated with two L shaped aluminium profiles above the bankfull level. Bed slope of the flume was fixed at  $2.024 \times 10^{-3}$ . Bed profile was measured with an automatic HR touch sensitive bed profiler. Various discharges were measured by an electro-magnetic flow meter and a Venturi meter. Velocity measurements were made at 0.4 of the local depth using a miniature current meter for each 2 cm along the entire flow cross section.

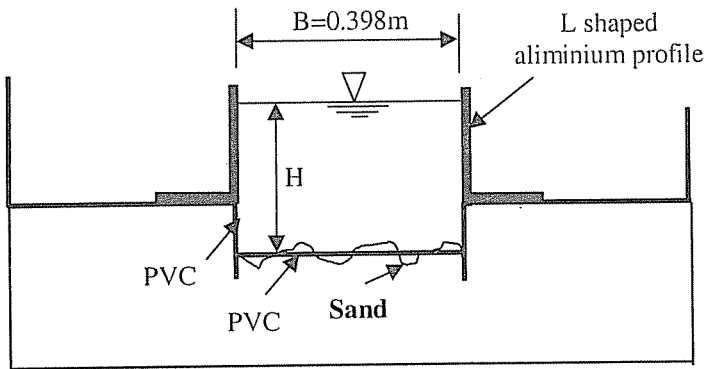


Figure 1. Schematic cross section of the 21 m long flume

Table 1 and Table 2 shows principal items of experimental study for the smooth bed case and mobile bed case, respectively.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

Discharge errors in the experiments were calculated using the Eq. (6):

$$\%Error(Q) = \frac{Q_m - Q_c}{Q_c} \quad (6)$$

where  $Q_m$ =measured discharge and  $Q_c$ =calculated discharge. The error values in discharge measurements were less than 2% for all experiments.

**Table 1.** Principal items of experimental study for the smooth bed case

$Q(m^3/s)$	H (m)	B/H	V(m/s)	Fr	Re
0.0030	0.023	17.108	0.323	0.677	28612.3
0.0039	0.027	14.771	0.368	0.716	37961.8
0.0050	0.030	13.173	0.420	0.771	47327.0
0.0060	0.034	11.856	0.449	0.783	53530.5
0.0070	0.036	11.030	0.490	0.824	65883.0
0.0080	0.039	10.205	0.516	0.834	71196.9
0.0089	0.043	9.293	0.523	0.807	82057.5
0.0100	0.047	8.530	0.538	0.795	82993.4
0.0120	0.054	7.380	0.560	0.770	98553.8
0.0149	0.060	6.591	0.622	0.808	120937.1
0.0200	0.072	5.512	0.697	0.828	153110.9

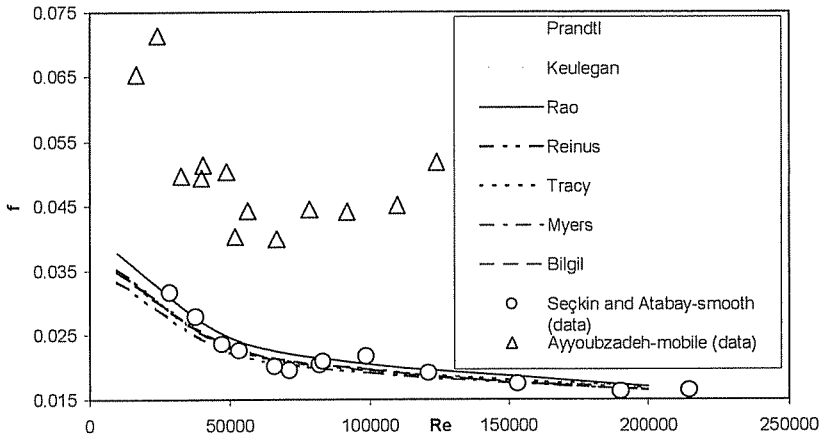
**Table 2.** Principal items of experimental study for the mobile bed case

$Q(m^3/s)$	H (m)	B/H	V(m/s)	Fr	Re
0.0020	0.023	17.657	0.222	0.472	16770.6
0.0030	0.031	12.929	0.244	0.443	24411.1
0.0041	0.034	11.789	0.304	0.528	32661.0
0.0049	0.039	10.305	0.316	0.514	40421.9
0.0050	0.039	10.257	0.323	0.524	39843.7
0.0060	0.044	8.960	0.338	0.513	48764.7
0.0070	0.047	8.400	0.370	0.543	56459.4
0.0071	0.046	8.570	0.385	0.570	51913.6
0.0085	0.053	7.572	0.407	0.567	66696.9
0.0101	0.062	6.444	0.410	0.527	78340.7
0.0120	0.070	5.682	0.432	0.521	91711.9
0.0151	0.0834	4.774	0.455	0.503	109688.9
0.0181	0.1006	3.956	0.453	0.456	123787.0
0.0211	0.1136	3.504	0.468	0.443	133193.4

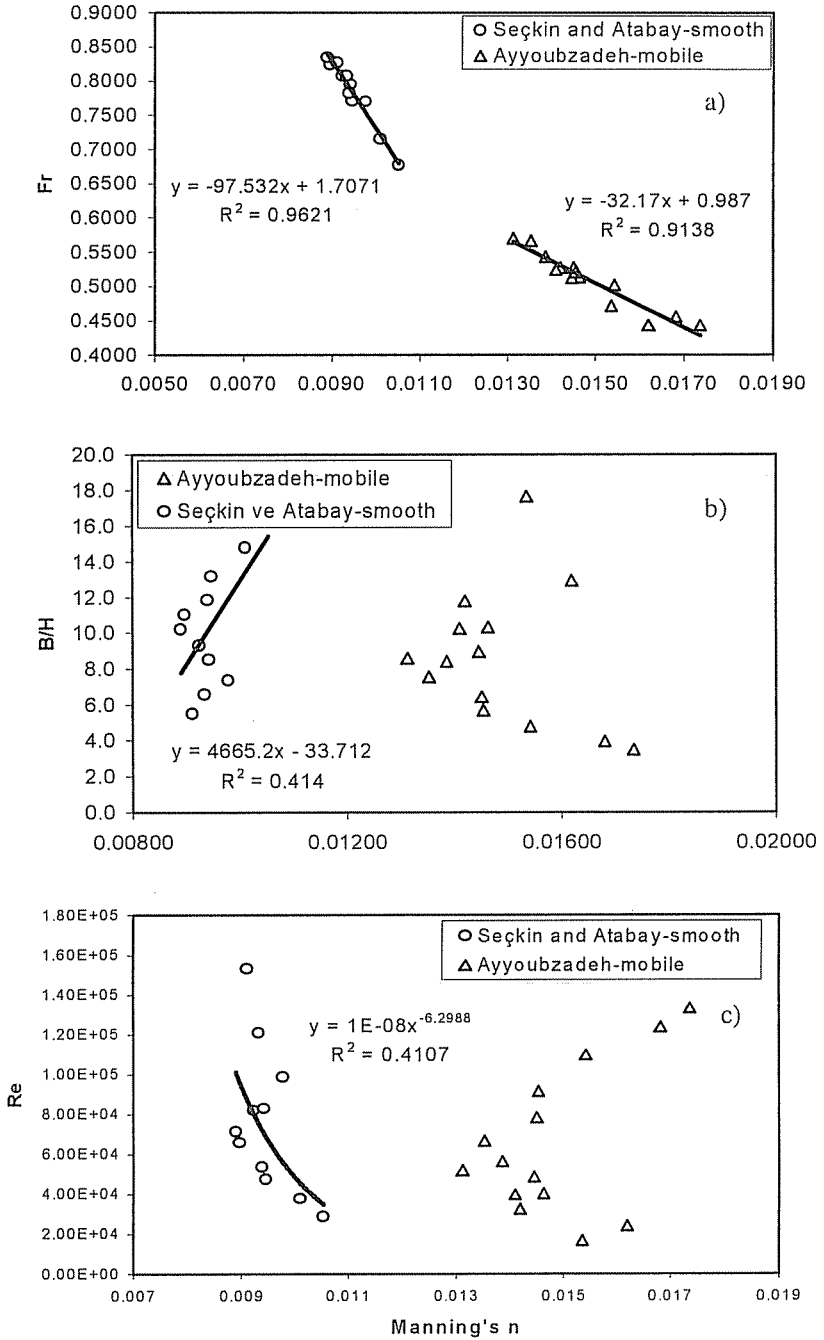
Different friction coefficient formulas, as mentioned before, were applied to all experimental data, and are shown in Figure 2. Although all formulas produced acceptable results for the smooth bed case, none of them has a good accuracy with experimental data for the mobile bed case.

Figs. 3a, b and c show the variation of Manning's  $n$  with respect to the Froude number ( $Fr$ ), aspect ratio ( $B/H$ ) and Reynolds number ( $Re$ ). For the smooth bed case,  $n$  varies between 0.0089 and 0.0105, while  $Fr$ ,  $B/H$  and  $Re$  are varying between 0.6769 and 0.8276, 5.512 and 17.108, and  $2,86 \times 10^4$  and  $1.53 \times 10^5$ , respectively. On the other hand, for the mobile bed case,  $n$  varies between 0.0131 and 0.0174, while  $Fr$ ,  $B/H$  and  $Re$  are varying between 0.4430 and 0.5667, 3.504 and 17.657, and  $1,677 \times 10^4$  and  $1.33 \times 10^5$ , respectively. The variation of  $f$  values versus  $Fr$ ,  $B/H$  and  $Re$  are shown in Figs. 4a, b and c, respectively.  $f$  varies between 0.0175 and 0.032, and 0.040 and 0.071 for the smooth bed case and mobile bed case, respectively. Figs. 5a, b and c represent the variation of  $C$  versus  $Fr$ ,  $B/H$  and  $Re$ .  $C$  varies between 49.8 and 69, and 33.75 and 44.13 for the smooth bed case and mobile bed case, respectively. These findings show that friction parameters in open channels are significantly affected by the bed form (smooth or mobile) of the open channels.

All figures show that both  $n$  and  $f$  are decreasing while  $Fr$  is increasing in contrast  $C$  for both smooth and mobile case. There is a good linearity between  $B/H$  and  $f$  or  $C$  for smooth bed case, but, not the same can be said for  $n$ . In addition,  $f$  and  $C$  have an opposite trendline eachother. On the other hand, for the mobile bed case, there is seen discontinuity between friction coefficients ( $n$ ,  $f$  and  $C$ ) and flow parameters ( $Fr$ ,  $B/H$  and  $Re$ ).



**Figure 2.** A comparison of different formulas for estimating friction coefficient,  $f$ .



**Figure 3.** Variation of Manning's  $n$  versus to a) Froude Number, b) Aspect Ratio, c) Reynolds' Number



INVESTIGATION OF RESISTANCE PARAMETERS IN A SMOOTH AND MOBILE BED RECTANGULAR CHANNELS

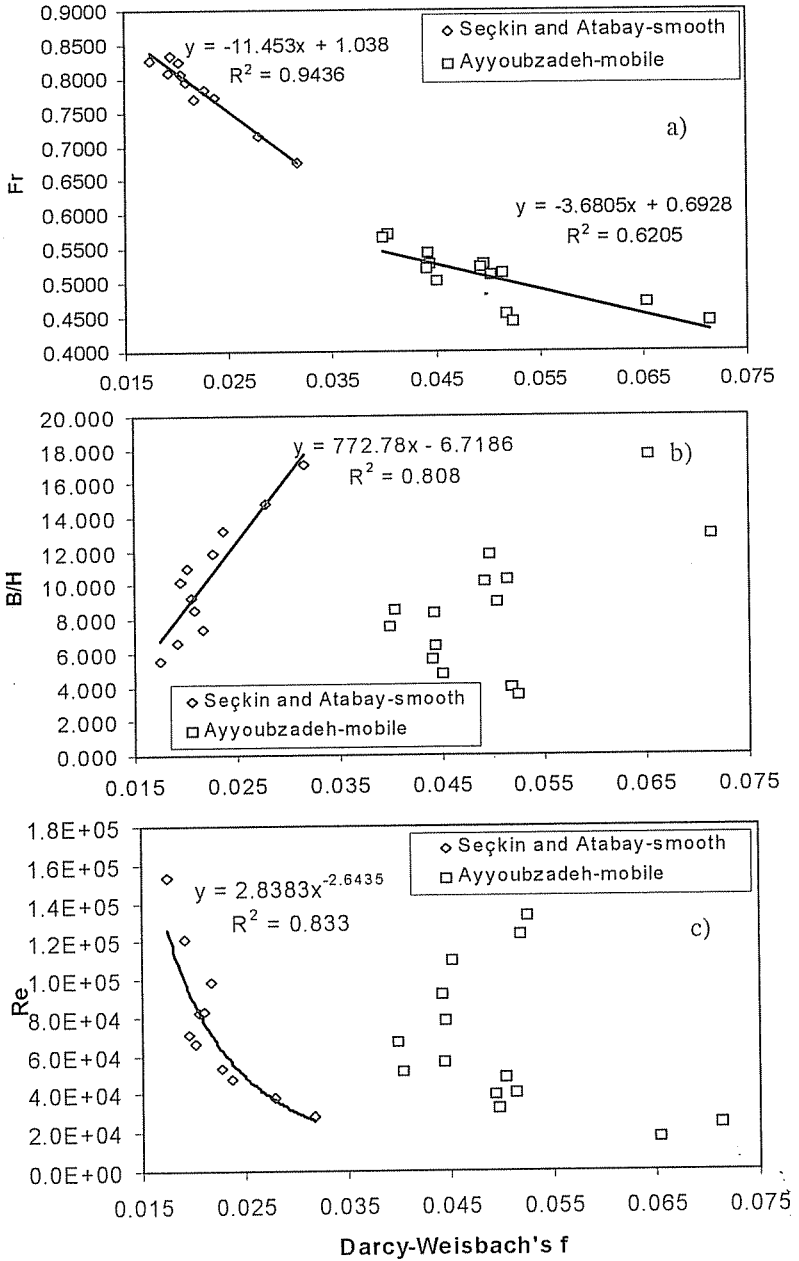


Figure 4. Variation of Darcy-Weisbach's  $f$  versus to a) Froude Number, b) Aspect Ratio, c) Reynolds' Number

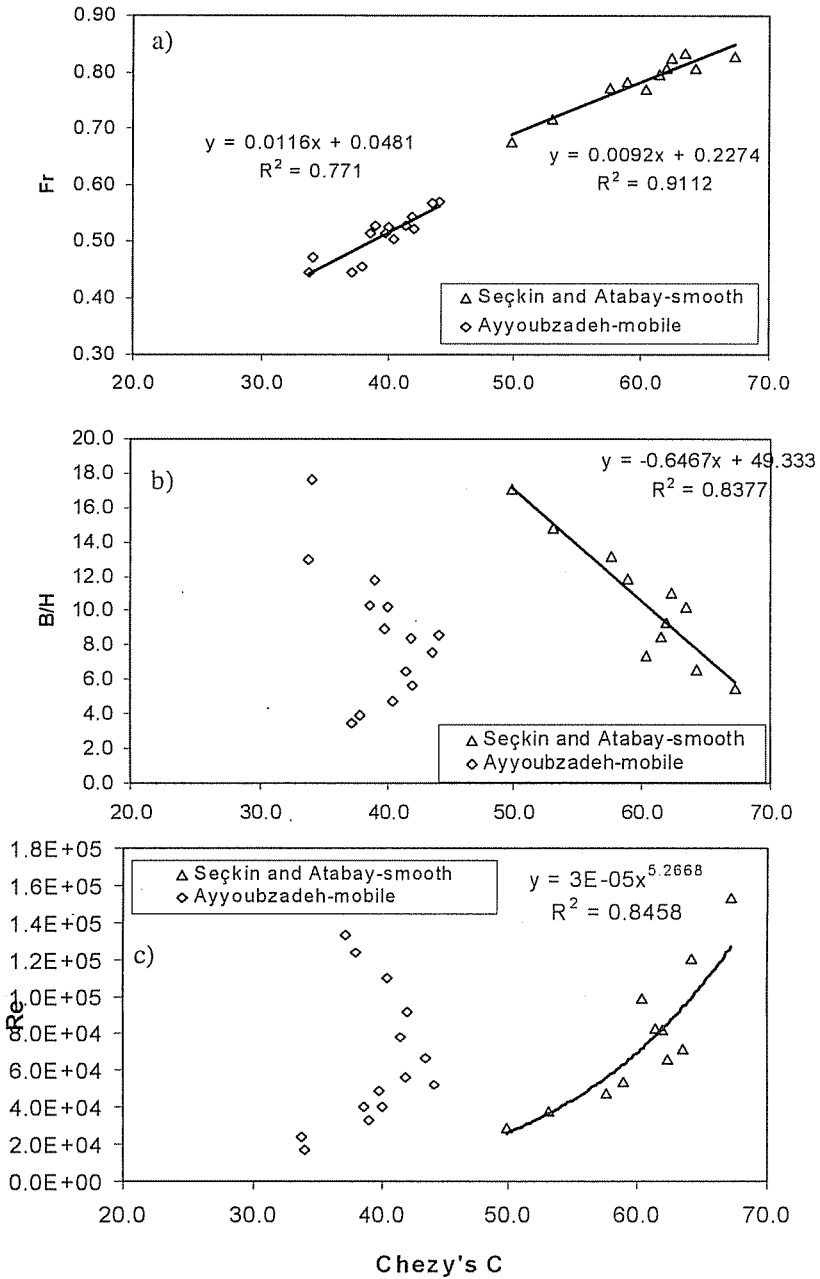


Figure 5. Variation of Chezy's C versus to a)Froude Number, b) Aspect Ratio, c) Reynolds' Number

#### 4. CONCLUSIONS

The resistance coefficient in a smooth or mobile bed rectangular flume is significantly affected by Froude number, Reynolds number and aspect ratio, and shown to vary significantly with these flow parameters. Therefore, The useness of friction coefficients as a constant value in the computations of discharge carried by open channels may cause to large errors. Different formulas developed for estimating resistance coefficient,  $f$ , in a smooth pipe or open channel give acceptable results when applied to experimental data, but not accurate. In addition, when these formulas were applied to the experimental data for the mobile bed case, they produced inappropriate results. It is not surprising that all formulas mentioned before were developed for the smooth pipe or open channel flow based on particular experimental results.

#### 5. REFERENCES

1. Prandtl, L., "The Mechanics of Viscous Fluids", Berlin, 1932.
2. Keulegan, G.H., "Laws of Turbulent Flow in Open Channels", J. Nat. Bureu of Standards, vol. 21, 707-741, 1938.
3. Reinius, E., "Steady Uniform Flow in Open Channels Transactions", Royal Institute Technology, Stockholm, Sweden, No:179, 1961.
4. Tracy, H.J. and Lester, C.M., "Resistance Coefficients and Velocity Distribution- Smooth Rectangular Channel", Water Supply Paper, U. S. Geological Survey, 1-18, 1961.
5. Rao, K.K., "Effect of Shape on the Mean-Flow Characteristics of Turbulent Flow Through Smooth Rectangular Open Channel", Thesis Presented to the University of Iowa at Iowa City, Iowa in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, 1969.
6. Pillai, N.N., "On Uniform Flow Through Smooth Rectangular Open Channels", J. Hydr. Res., vol. 8, 403-417, 1970.
7. Myers, W.R.C., "Flow Resistance in Wide Rectangular Channels", J. Hydr. Div., ASCE, vol. 108, 471-482, 1982.
8. Bilgili, A., "Investigation of the Friction Coefficient in Smooth Open Channel Flows", Turkish J. Engin. Environ. Sci., Vol. 24, 297-304, 2000.
9. Seçkin, G., Atabay, S., and Yurtal, R., "Experimental Analysis of Boundary Shear Stress in Smooth Rectangular Channels", Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers, 2002.
10. Ayyoubzadeh, S.A., "Hydraulic Aspects of Straight Compound Channel Flow and Bedload Sediment Transport", PhD Thesis, The University of Birmingham, England, U.K., 1997.



## KİLLİ ZEMİNLERİN SÜKUNETTEKİ YANAL BASINÇLARI VE $K_0$ KATSAYISI

Cafer KAYADELEN ve M. Arslan TEKİNSOY  
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** Bu çalışmada; laboratuvar ortamında  $K_0$  koşulları altında, örülenmemiş killi zemin örneklerinin yanıl zemin basınçları deneysel olarak ölçülmesi amaçlanmıştır. Yanıl basınçların tespiti için "ince cidarlı ödometre" düzeneği oluşturulmuştur. Doğrudan ölçümler ödometre ringinin duvarına yapıştirılan strain gage'ler vasıtası ile yapılmıştır. Denev sonuçları şimdiye kadar ileri sürülen teorik ve amprik ifadeler kullanılarak hesap edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Denevler CH grub sembolüne sahip, örülenmemiş zemin örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.

### LATERAL EARTH PRESSURE OF CLAYEY SOIL AT-REST AND $K_0$ COEFFICIENT

**ABSTRACT :** In this study, the determination of lateral earth pressures of undisturbed clayey soil and  $K_0$  coefficients were experimentally investigated in laboratory. Thin wall oedometer technique was used to measure lateral pressure and  $K_0$  values. Direct measurement were taken by means of pressure strain gages mounted on the thin wall of the oedometer ring. Test results were compared with the values obtained from theoretical and emprical approximations for predicting  $K_0$  for normally consolidated and overconsolidated fine grained soils.

## 1. GİRİŞ

Yanal deformasyonların olmadığı durumdaki yanal zemin basınç katsayısı olan  $K_0$ , uzun yıllardır geoteknik mühendisliğinin araştırma konusudur.  $K_0$  bir çok konvensiyonel problemin çözümü ve projelerin tasarımında kullanılmaktadır. Örneğin, bu değere yanal yöndeki deplasmanı çok küçük değerlerde kalan zemin tutma yapılarını hesabında, kazık temellerin projelendirilmesi gibi bazı mühendislik çalışmalarında ihtiyaç duyulmaktadır.

Geostatik düşey gerilme, derinliğe bağlı efektif jeolijik yük profilinden bulunabildiği halde yanal gerilmeler bu kadar kolay belirlenememektedir. Yanal gerilmeler, düşey gerilmelerin belli bir oranı olarak tanımlanmaktadır. Yatay yönde meydana gelen deformasyonların  $10^{-3}$  mertebesinde küçük kalmaları durumunda bu orana sükünetteki zemin basınç katsayısı  $K_0$  denilmektedir (1).

$$K = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \quad (1)$$

Burada  $\sigma_h$ , yanal gerilme,  $\sigma_v$  ise düşey gerilmedir.

Zeminin meydana getirdiği yanal basınçlar gerilme tarihçesine, konsolidasyon durumuna, boşluk oranına, prozitesine ve strüktürüne bağlıdır (2). Deneysel olarak,  $K_0$ 'ın kumlu zeminlerde 0,4; killi zeminlerde ise 0,7 dolaylarında değerler aldığı gözlenmiştir. Ayrıca, zeminin plastisite indisinin ve başlangıç boşluk oranının yanal basınçlar üzerinde önemli etkileri olduğunu gösteren bir çok çalışma vardır (3).

Pratikte  $K_0$  koşullarındaki yanal zemin basınçlarının ölçme yolu ile tespiti için, arazi ve laboratuvar yöntemleri bulunmaktadır. Bunun için laboratuvarda özel donanımlı üç eksenli veya konsolidasyon deney düzenekleri kullanılmaktadır.  $K_0$ , "presyometre" ve "toplam gerilme hücresi" adı verilen arazi yöntemleri kullanılarak da doğrudan tahmin edilmeye çalışılmaktadır.

$K_0$ 'ın tahmini için kullanılan diğer alternatif yöntemler ise, teorik ve amprik bağıntılardır. Bu ilişkilerin kullanılması için; zeminin içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ), aşırı konsolidasyon oranı ( $AKO$ ) ve plastisite indisi ( $I_p$ ) gibi ilave zemin parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

## 2. KONU İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sükünetteki zemin basınç katsayısının deneysel olarak tespiti için bir çok deney düzenekleri kurulmuştur. Bu düzenekler genellikle üç eksenli ve konsolidasyon deneyi şartlarında sağlanmıştır.

Kjellmann (4) tarafından yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, tek eksenli basınç deneylerinde,  $K_0$ 'ın zeminin tarihçesi ile ilgili olduğu belirtilmiş ve killi zeminler için  $K_0=0.5-1.5$  arasında değerler aldığı gösterilmiştir. Bayliss (5)  $K_0$  deney koşullarını yaklaşık olarak sağlayan bir alet geliştirmiş, kum ve orta plastisiteli inorganik killer için  $K_0=0.50$  değerine sahip olduğunu, deneysel çalışma ile vermiştir. Bishop ve Eldin (6) gibi araştırmacılar da suya doygun kumlar üzerinde üç eksenli deneyler yapmışlardır. Bu çalışmada normal yüklemelerde yanal gerilmeler ( $\sigma_h$ ) bir lineerlik göstermesine rağmen, boşaltma durumunda söz konusu lineerlik bozulmaktadır. Burada açıkça aşırı

konsolidasyonun ve başlangıç boşluk oranının etkisi gözlenebilmektedir. Nitekim Kumbasar (3) yaptığı çalışmada,  $K_0$  katsayısını kontrol eden en önemli faktörün, boşluk oranı olduğunu saptamıştır. Deneylere göre gevşek kumlara ait  $K_0$  katsayısı, sıkı kum örneklerine ait olan değerlerinden daha büyüktür. Yine daneli zeminlerde; zeminin başlangıç su muhtevası,  $K_0$  üzerinde etkili olmamaktadır.

Abdelhamid and Krizek (7) de yine, sükunetteki yanal zemin basınçlarını belirlemek üzere üç eksenli deneyler yapmışlardır. Bu çalışmalar sonunda yanal gerilmeler, yükleme durumunda lineer bir değişim göstermesine rağmen,  $K_0$  daki değişimin lineer olmadığı sonucuna varılmıştır. Belli bir gerilme değerinden sonra  $K_0$ , sabit değerler almakta, gerilmenin boşaltılması sırasında ise yükleme durumundaki değerlerden büyük değerler çıkmaktadır. Ayrıca Edil ve Dhowian (8) turba zeminler üzerinde yaptıkları üç eksenli deneyler sonucunda, aşırı konsolidasyon oranının artmasıyla  $K_0$ 'daki lineerliğin bozulduğunu ve konveks bir eğri oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Bu alanda yapılan başka bir araştırma da Hedron'a (9) aittir. Brooker ve Ireland (10) ise Hedron'un verilerine dayanarak, aşırı konsolidasyon oranını ve plastisite indisine bağlı olarak, sükunetteki basınç katsayısının değişimini incelemişlerdir. Bu araştırmaya göre aşırı konsolidasyon oranı (AKO) büyüdükçe,  $K_0$ 'ın değeri artmakta, plastisite indisine bağlı olarak bir maksimumdan geçmektedir. Normal konsolide killerde ise, hemen hemen lineer bir değişim gözlenmektedir. Hendron (9) tarafından daneli zeminler üzerinde yapılan ödometre deneyleri sonucunda, düşey gerilmenin belli bir değerinden sonra,  $K_0$  doğrusunun dikleştiği gösterilmiştir. Sonuç olarak yüksek basınçlar altında, zemin danelerinin kırılmasının,  $K_0$  değerine etkisi ortaya konulmuştur.

### 3. MATERYAL ve METOD

Bu çalışmada yanal basınçlar deneysel olarak doğrudan ölçülmüştür. Bunun için ilk kez Ertekin (11) tarafından tasarlanan "ince cidarlı ödometre" ringi imal edilmiş ve dış kenarlarına elektriksel strain gage'ler yapıştırılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca ölçülen yanal gerilme değerleri, yeni bir yaklaşım olan Tekinsoy (12) yönteminden hesap edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Bu yöntemde ödometere ringi içine konulan zemin örneği içindeki efektif gerilmeler ile, deformasyonlara bağlı olarak kayma gerilmelerinin değişimi incelenmiştir. Bu amaçla elastisite teorisi kullanılarak, asal kayma düzlemleri üzerinde seçilmiş bir  $(\xi, \eta)$  eksen takımında silindirik bir zemin elemanın dengesi incelenmiştir. Bulunan denge ifadesinden asal kayma düzlemlerindeki kayma gerilmesi  $(\tau_{\xi\eta})$  aşağıdaki gibi verilmiştir (12).

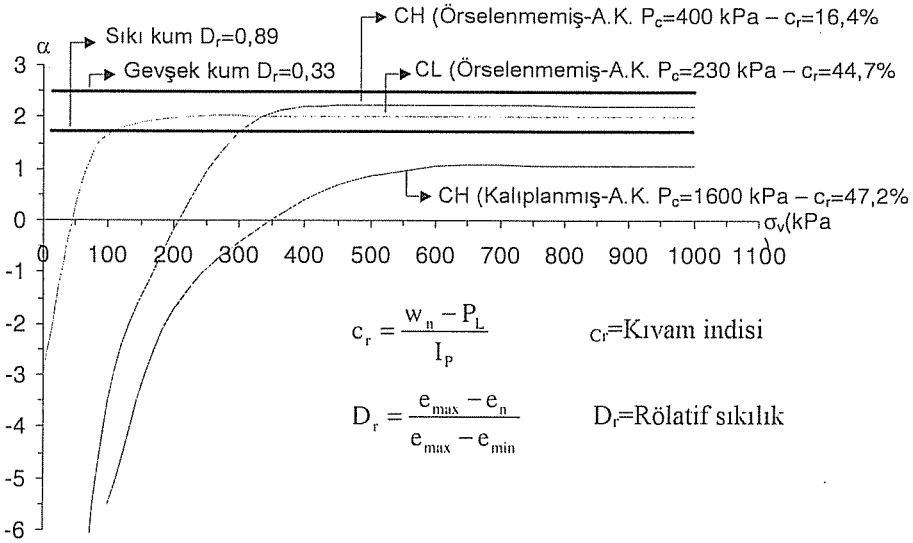
$$\tau_{\xi\eta} = \frac{\alpha}{4} \left( \frac{\sigma_v}{2 - \varepsilon_1} \right) \quad (2)$$

Burada  $\varepsilon_1$ ; konsolidasyon deneyinden bulunan düşey yöndeki hacımsal deformasyon.  $\alpha$  ise zemin cinsi, gerilme ve deformasyon durumuna bağlı bir parametredir.

$$\alpha = \left( \frac{\sigma_v - \sigma_h}{2\tau} \right) \sin 2\beta \quad (3)$$

Burada  $\beta$ , deformasyon açısıdır ve  $\tan 2\beta = (2 - \varepsilon_1) / 2\varepsilon_1$  dir.

Yukarıda verilen  $\alpha$  katsayısının bulunması amacıyla  $\sigma_h$  ve  $\sigma_v$  değerleri strain gage'ler vasıtası ile deneysel olarak ölçülmüş ve elde edilen verilerle dayanarak (3) numaralı bağıntı ile  $\alpha$ 'nın  $\sigma_v$  ile değişimi Şekil 1.'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi  $\alpha$  ile  $\sigma_v$  düşey gerilmeleri arasında yüksek korelasyon mevcuttur. Yine  $\alpha$  parametresi kıvam indisi ( $c_r$ ) ile ters orantılı olarak değişmektedir.  $c_r$  arttıkça, normal yükleme durumunda, eğriler aşağıya doğru paralel olarak kaymaktadır. Bu özellik herhangi bir zemin için  $\alpha$  parametresinin tayininde enterpolasyon yapma olanağı sağlamaktadır.



Şekil 1.  $\alpha$  ve düşey gerilme,  $\sigma_v$  arasındaki değişim (12)

Zeminde oluşan yanıl gerilmeler ise kayma gerilmesine bağılı olarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\sigma_h = \sigma_v \mp \frac{4\tau_{\varepsilon_1}}{2 - \varepsilon_1} \quad (4)$$

Buradan da  $K_0 = \sigma_h / \sigma_v$  ifadesi gereğince  $K_0$ 'ın yaklaşık değeri bulunmaktadır.



Ayrıca yapılan hesaplarda dengeleme hesabı kullanılarak  $\bar{K}_0$  kesin değeri için aşağıdaki ifade önerilmiştir (12).

$$\bar{K}_0 = K_0 + \frac{W}{1 + \left[ \frac{4\varepsilon_1^2 + (2 - \varepsilon_1)^2}{4(2 - \varepsilon_1)^2} \right]^2} \quad (5)$$

Burada W; (6) numaralı ifade ile tanımlanan kapanma hatalarını ifade etmektedir.

$$W = 1 - \left[ K_0 + \alpha_0 \left[ \frac{4\varepsilon_1^2 + (2 - \varepsilon_1)^2}{4(2 - \varepsilon_1)^2} \right] \right] \quad (6)$$

Ayrıca deneylerden bulunan sonuçlar, diğer amprik ifadelerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu yöntemler aşırı ve normal konsolide zeminler için farklı olarak verilmiştir. Sözkonusu ifadelerden  $K_0$ 'ın bulunabilmesi için zeminin içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ), plastisite indisi ( $I_p$ ) ve aşırı konsolidasyon oranı (AKO) gibi ek zemin parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Şimdiye kadar  $K_0$  için verilen eşitlikler topluca Çizelge 1.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.**  $K_0$ 'ın tahmini için kullanılan amprik ifadeler

$K_0=1-\sin\phi'$	Jaky (13)
$K_0=\tan^2(45-1/2\phi_{em})$ $\phi_{em}=\phi_e=1.15(\phi'-9)$ $\phi_{em}=0,75\phi_e=0,86(\phi'-9)$ $\phi_{em}=\phi_e=1.15(\phi'-5,5)$ $\phi_{em}=0,75\phi_e=0,86(\phi'-5,5)$	Rowe (14)
$K_0=0,95-\sin\phi'$ $K_0=0,4+0,007I_p$ $K_0=K_{0(NK)}AKO^{1/2}$	Brooker ve Ireland (10)
$K_0=0,19+0,233\log I_p$ $K_0=K_{0(NK)}AKO^n$ ( $n=0,54 \times 10^{-1/p/281}$ )	Alpan (15)

### 3.1. Kullanılan Zemin Örnekleri

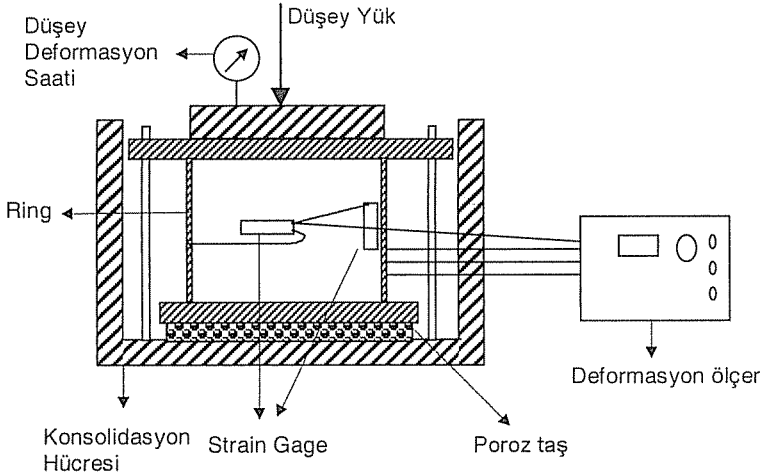
Bu çalışmada Adana'nın güneyinden alınan üç farklı örselenmemiş kil örneği kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan bu örneklerin endeks ve bazı mukavemet özellikleri Çizelge 2.'de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Kullanılan zemin örneklerinin indeks ve bazı mukavemet özellikleri

Örselenmemiş Örnekler	1	2	3
Derinlik (m)	4	3,5	3,5
Likit Limit ( $L_L$ ) (%)	55	65	60
Plastik Limit ( $P_L$ ) (%)	23	28	27
Plastisite İndeksi ( $I_p$ ) (%)	32	37	33
Doğal Su İçeriği ( $w$ ) (%)	30	35	21
Dane Birim Hacim Ağırlığı ( $\gamma_s$ ) ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	2,51	2,42	2,56
Doğal Birim Hacim Ağırlığı ( $\gamma_n$ ) ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	1,71	1,55	1,83
Kayma Mukavemeti açısı ( $\phi$ )	$19^\circ$	$23^\circ$	$18^\circ$
Kohezyon ( $c$ ) ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	0,85	0,4	0,56
Zemin Sınıfı	CH	CH	CH

### 3.2. DeneY Düzeneği

Şekil 2.'de görülen deney düzeneğinin ana parçası, özel imal edilmiş standart çaplı ödometre ringinden oluşmaktadır. Yüksek alaşımli çelikten yapılan bu ringin iç çapı 63,5 mm, yüksekliği ise 63 mm dir. Ringin et kalınlığı 0,35 mm olup, maksimum  $3,08 \times 10^3$  kPa'lık düşey yükleme durumunda, oluşan deformasyonların,  $10^{-3}$  mertebesinden küçük kaldığı elastisite teorisi yardımı ile hesaplanmıştır. Çünkü zeminlerin yanıl deformasyonları  $10^{-3}$  mertebesini geçtiği zaman aktif veya pasif durum sözkonusu olmaktadır.

**Şekil 2.** DeneY düzeneği

Zemin örneğinin yaptığı yanal basınçlar, ringin dış gövdesine yapıştırılan elektriksiz strain gage'ler vasıtası ile ölçülmüştür. Bu çalışmada Micromasurement group tarafından üretilen yaprak gage'ler kullanılmıştır (Model CEA-09-250 UW-120). 120 ohm'luk dirence sahip dört tane strain gage, Wheaston Köprüsü oluşturacak şekilde ve 90°'lik açılarla karşılıklı olarak ödometre ringinin dış yüzeyinin orta noktasına yapıştırılmıştır. Yatay düzlem boyunca yerleştirilen iki tanesi aktif olarak çalışmaktadır. Diğer iki tanesi ise düşey olarak yerleştirilmiştir. Bunlar ise yüklenme durumunda deformasyona uğramamaktadır, sadece devreyi tamamlamak için kullanılmıştır.

### 3.3. Kalibrasyon

Elektriksiz direnç olan strain gage'ler, aslında deformasyon ölçmede kullanılmaktadır. Bu nedenle ring önceden kalibre edilmiştir. Kalibrasyon için ringin içine, üç eksenli deney düzeneği kullanılarak, basınçlı su verilmiştir. Bu sayede zemin numunesinin yaptığı yanal basınçlara benzer olan, her doğrultuda eşit basınçlar elde edilmiştir. Uygulanan bu basınçlara maruz ringdeki çevresel deformasyonlar okunmuş ve kalibrasyon sonucunda, uygulanan su basıncı ile deformasyonlar arasında lineer bir doğru elde edilmiştir. Bu doğrunun eğimi kalibrasyon faktörü olarak kullanılmıştır. Ayrıca her deneyden sonra kalibrasyon işlemi tekrarlanmıştır.

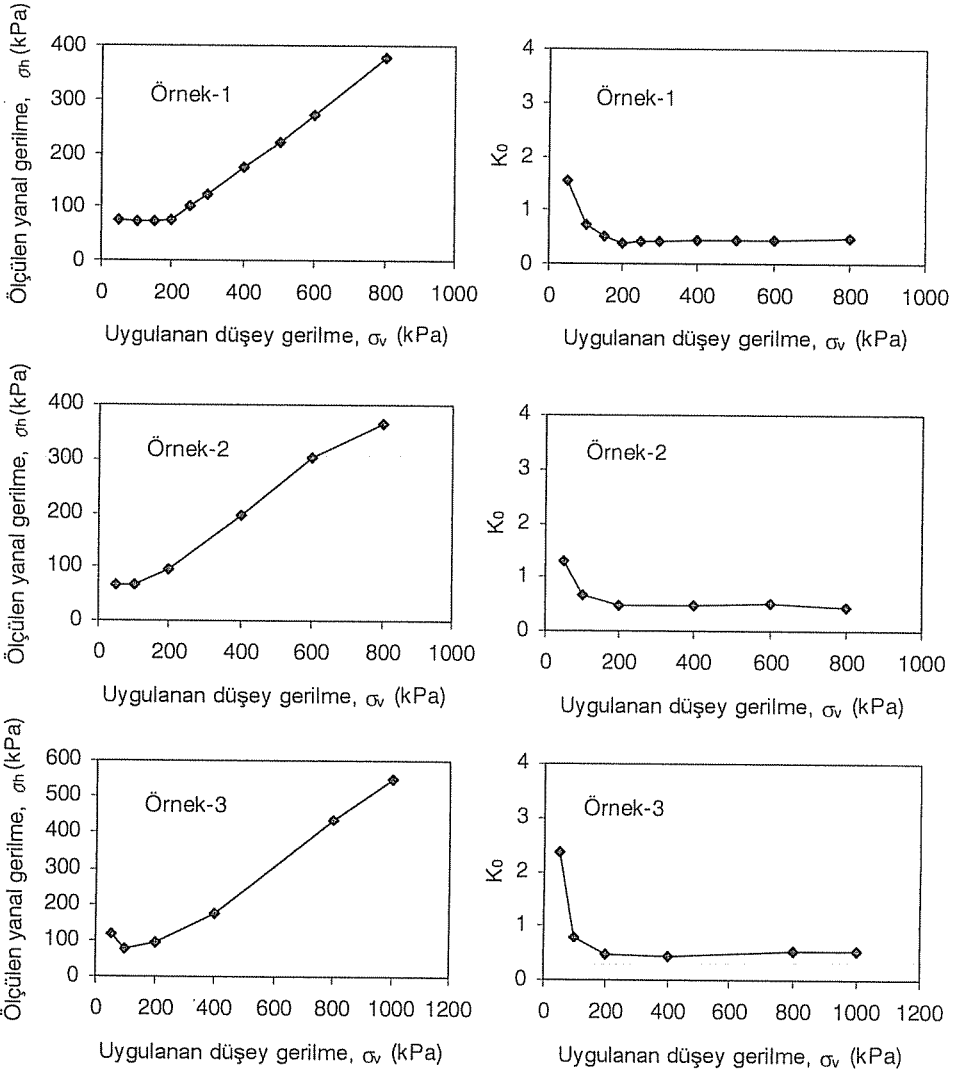
## 4. DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada oluşturulan deney düzeneği ile düşey basınç, yanal basınç ve düşey deformasyon değerleri ölçülmüştür. Deneyler doymuş koşullarda gerçekleştirilmiş ve düşey basınç uygulanır uygulanmaz drenaja izin verilmiştir. Her yüklenme kademesinde boşluk suyu basıncı etkisini kaybedene kadar, yaklaşık 3-4 gün beklenilmiştir. Bu şekilde okunan gerilmeler, efektif gerilmeler olarak alınmıştır.

Yüklenme yapıldığı andan itibaren yanal basınç değerleri bir süre artış göstermiş ve sonra azalmaya başlamış, boşluk suyu etkisini kaybettiği zamanda stabil değerler aldığı gözlenmiştir. Nitekim Newlin (16), kompakte olmuş kil numuneleri üzerinde yaptığı çalışmalarında, boşluk suyu basıncı ihmal edilebilir değere ulaştığında, yanal basınçların stabil değerler aldığı belirtilmiştir.

Deneylerden elde edilen sonuçlar toplu olarak Şekil 4.'de verilmiştir. Bu grafiklerde ölçülen yanal basıncın ve  $K_0$ 'ın uygulanan düşey basınca göre değişimleri görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi ön konsolidasyon basıncından sonra, yanal basınç değerleri lineer bir değişim göstermektedir. Buna bağlı olarak  $K_0$  değerleri, ön konsolidasyon basıncından sonra sabit değerler almaktadır.

Artan yükler altında konsolide olan bir zeminin daha düşük şiddette düşey yükler taşıması veya erozyon ile zemin üst tabakalarının kalkması, ön konsolidasyon basıncına karşılık gelen yatay basıncın sabit kalmasına neden olmaktadır. Bu ise  $K_0$ 'ın ön konsolidasyon basıncına kadar 1'den büyük değerler almasına ve ön konsolidasyon basıncından sonra sabit kalmasına neden olmaktadır (17).



Şekil 3. Kullanılan bütün örneklere ait deney sonuçları

## 5. DENEY SONUÇLARININ TEORİK ve AMPRİK YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRMASI

Deneylelerden elde edilen sonuçlar,  $K_0$ 'ın tahmini için kullanılan teorik ve amprik ifadelerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 3-4-5'te Tekinsoy (12) tarafından ileri sürülen yöntem ile hesaplanan değerlerin karşılaştırılması verilmiştir. Bu yöntemde her konsolidasyon kademesi için hesap yapılmaktadır. Çizelgelerin 2. sütununda yer alan AKO değerleri tahmini olarak, ön konsolidasyon basıncının uygulanan düşey gerilmeye oranı ile bulunmuştur.

**Çizelge 3.** Ölçülen yanal basınç ve  $K_0$  değerlerinin Tekinsoy yöntemi ile karşılaştırılması (örnek-1)

Uyg. Düşey Yük (kPa)	AKO	Ölçülen		Tekinsoy	
		Yanal Basınç (kPa)	$K_0$	Yanal Basınç (kPa)	$K_0$
50	3	76,44	1,529	75,00	1,500
100	1,5	73,5	0,735	67,38	0,674
150	1	73,5	0,490	67,00	0,497
200	NK	76,44	0,382	96,00	0,483
250	NK	99,96	0,400	120,44	0,482
300	NK	123,48	0,412	144,17	0,480
400	NK	173,46	0,434	191,20	0,478
500	NK	220,50	0,441	237,76	0,475
600	NK	270,48	0,451	284,36	0,474
800	NK	379,26	0,474	375,67	0,469

**Çizelge 4.** Ölçülen yanal basınç ve  $K_0$  değerlerinin Tekinsoy yöntemi ile karşılaştırılması (örnek-2)

Uyg. Düşey Yük (kPa)	AKO	Ölçülen		Tekinsoy	
		Yanal Basınç (kPa)	$K_0$	Yanal Basınç (kPa)	$K_0$
50	3,4	64,88	1,294	65,02	1,300
100	1,7	67,62	0,676	67,42	0,670
200	NK	94,08	0,470	91,78	0,459
400	NK	194,04	0,485	181,85	0,455
600	NK	302,82	0,505	269,67	0,449
800	NK	364,56	0,456	356,23	0,445

**Çizelge 5.** Ölçülen yanal basınç ve  $K_0$  değerlerinin Tekinsoy yöntemi ile karşılaştırılması (örnek-3)

Uyg. Düşey Yük (kPa)	AKO	Ölçülen		Tekinsoy	
		Yanal Basınç (kPa)	$K_0$	Yanal Basınç (kPa)	$K_0$
50	4,2	118,04	2,361	112,50	2,250
100	2,1	77,18	0,772	74,99	0,750
200	1,05	95,34	0,477	94,93	0,475
400	NK	172,52	0,431	189,65	0,474
800	NK	435,84	0,545	378,24	0,473
1000	NK	508,48	0,549	471,97	0,472

Ayrıca deneysel sonuçlar,  $K_0$ 'ın tahmininde kullanılan diğer amprik ifadelerden elde edilenler ile karşılaştırılmıştır. Normal konsolide durum için yapılan hesapların karşılaştırılması Çizelge 6.'da verilmiştir. Çizelgenin son satırındaki ölçüm yoluyla bulunan  $K_0$  değerleri, ön konsolidasyon basıncından büyük düşey basınçlara karşı gelen değerlerin aritmetik ortalaması olarak alınmıştır.

**Çizelge 6.** Normal konsolide durum için ölçülen  $K_0$  değerleri ile teorik ifadelerden bulunan değerlerin karşılaştırılması

		ÖRN.1	ÖRN.2	ÖRN.3
Efektif Kayma Direnci Açısı $\phi'$ (Derece) :		19	23	18
	Plastisite indisi $I_p$ :	32	37	23
$K_0=1-\sin\phi'$	Jaky (13)	0,67	0,61	0,69
$K_0=\tan^2(45-1/2\phi_{em})$	Rowe (14)	0,67	0,56	0,69
$\phi_{em}=\phi_e=1.15(\phi'-9)$		0,74	0,65	0,76
$\phi_{em}=0,75\phi_e=0,86(\phi'-9)$		0,58	0,49	0,60
$\phi_{em}=\phi_e=1.15(\phi'-5,5)$		0,66	0,59	0,68
$K_0=0,95-\sin\phi'$ $K_0=0,4+0,007I_p$	Brooker ve Ireland (10)	0,62	0,56	0,64
		0,62	0,66	0,56
$K_0=0,19+0,233\log I_p$	Alpan (15)	0,54	0,55	0,51
Tekinsoy (12)		0,479	0,452	0,473
Doğrudan Ölçüm	$K_0=\sigma_h/\sigma_v$	0,435	0,479	0,508

Çizelge 6.'dan görüldüğü gibi amprik ifadelerden hesaplanan  $K_0$  değerleri, ölçülen değerlerden daha büyük çıkmaktadır. Yine bu sonuçlar Tekinsoy (12) yöntemi ile kıyaslandığında, Tekinsoy (12) yöntemi kullanılarak elde edilen değerlerin daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Aşırı konsolide zeminler için Brooker ve Ireland (10) ve Alpan (15) tarafından verilen aşırı konsolidasyon oranına bağlı  $K_0$  ilişkilerinden hesap edilen değerlerin karşılaştırılması Çizelge 7.'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.'den görüleceği gibi, aşırı konsolidasyon oranına bağlı olarak hesaplanan  $K_0$  değerleri, ölçülen  $K_0$  değerlerinden daha küçüktür. Ayrıca Çiz.6 ve Çiz.7 karşılaştırıldığında aşırı konsolide zeminler için verilen ifadeler ile bulunan  $K_0$  değerlerinin, ölçme değerlerine daha yakın olduğu görülmüştür. Fakat normal konsolide zeminler için verilen ifadelerden bulunan  $K_0$  değerleri, ölçme değerlerinden daha farklı değerler vermektedir. Ayrıca AKO arttıkça,  $K_0$  değerlerinin de arttığı, yapılan deneyler ile gözlenmiştir.

**Çizelge 7.** Aşırı konsolide durum için ölçülen  $K_0$  değerleri ile teorik ifadelerden bulunan değerlerin karşılaştırılması

Örnekler	Doğrudan Ölçüm	AKO	Brooker ve Ireland (10) $K_0=K_{0(NK)}AKO^{1/2}$	Alpan (15) $K_0=K_{0(NK)}AKO^n$ ( $n=0,54 \times 10^{-1p/281}$ )
	Yükleme		Yükleme	Yükleme
1	0,490	1	0,435	0,435
	0,735	1,5	0,533	0,515
	1,529	3	0,753	0,686
2	0,676	1,7	0,624	0,592
	1,294	3,4	0,883	0,780
3	0,477	1,05	0,520	0,519
	0,772	2,1	0,736	0,708
	2,361	4,2	1,041	0,965

## 5. SONUÇ

Bu araştırmada sunulan deneysel verilerin ve analizlerin değerlendirilmesi ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Tek boyutlu konsolidasyon süresince yanal gerilmeleri ölçmeye yarayan ince cidarlı ödometre tekniği, arazideki  $K_0$  koşullarını oldukça iyi temsil edebilmektedir. Böyle bir teknikle, konsolidasyon süresince zeminin gerilme-şekil değiştirme ilişkisini saptamak mümkün olmaktadır.

İnce cidarlı ödometre tekniği ile ölçülen yanal basınçlar, normal yüklemeler durumunda ve ön konsolidasyon basıncına eşit düzey basınçtan sonra, lineer bir değişim göstermektedir. Buna bağlı olarak  $K_0$  değerleri sabit kalmaktadır.

Normal konsolide zeminler için Alpan (15), Brooker ve Ireland (10) tarafından verilen plastisite indisine bağlı ifadelerden  $K_0$  değerlerini hesaplamak oldukça basit

olmasına karşın, ölçülen değerlerden daha büyük değerler vermektedir. Aynı şekilde içsel sürtünme açısına bağlı Jacky (13) ve Rowe (14) tarafından verilen ilişkilerden hesaplanan değerler, ölçülen değerlerden büyük çıkmaktadır.

Tekinsoy (12) tarafından önerilen yöntem karışık olmasına rağmen doğrudan ölçüm sonuçlarına oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Eğer bir bilgisayar programı ile hesaplar yapılacak olursa, hesap işleri oldukça kolaylaşmaktadır. Bu yöntemde dikkat edilmesi gerekli en önemli unsur,  $\alpha$  parametresinin dikkatli bir şekilde seçilmesidir. Tekinsoy (12) tarafından verilen  $\alpha$  parametresinin uygulanan düşey gerilmeye göre değişim eğrileri, daha çok deneysel veriler ile artırıldığı takdirde  $\alpha$ 'nın daha hassas bir şekilde bulunması kolaylaşır.

İteratif bir yaklaşım olan Tekinsoy yönteminde yanıl basınçların, dolayısıyla  $K_0$ 'ın bulunmasında, zeminin kıvam indisinin kullanılması diğer yöntemlerden ayrılan önemli bir özelliğidir. Böylece  $K_0$ 'ın bulunmasında zeminin plastisite indisinin rolü olduğu kadar, doğal su içeriğinin de etkisi göz önüne alınmış bulunmaktadır. Bununla birlikte istatistiksel bir yaklaşım olan Alpen (15), Brokeer ve Ireland (10) tarafından verilen ifadeler sadece plastisiteye bağlıdır. Yani zeminin doğal su içeriğini göz önüne almamaktadırlar. Bu nedenle olayı tam olarak yansıtan yöntemler olmayıp, sadece istatistiksel değer taşırlar.

## 6. KAYNAKLAR

1. Terzaghi, K., "Old Earth Pressure Theories and New Test Results", *Engineering News Record*, Vol.85, p.632, 1920.
2. Bishop, A.W., and Henkel, D.J., "The Measurement of Soil Properties in The Triaxial Test", Second Edition. Arnold Publishing Comp. UK, 1962.
3. Kumbasar, V., "Suya Doygun Olmayan Zeminlerde Kayma Mukavemeti ve Boşluk Basıncı", *Associated Professorship Thesis, I.T.Ü. Istanbul, Turkey, 1956.*
4. Kjellman, W., "Report on Apparatus for the Consumate Investigation of The Mechanical Properties of Soil", *Proceedings, 1st International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.2, Pp. 16-20, 1936.*
5. Bayliss, J.R., "Desing Calibration and Use of the Lateral Earth Pressumeter", *M.S. Thesis, Princeton Universty, USA, 1948.*
6. Bishop, A.W., and Eldin, A.K.G., "The Effect of Stress History on The Relation Between  $\phi$  and The Porosity in Sand", *Proceedings, 3<sup>rd</sup> International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, pp 100-105, 1953.*
7. Abdelhamid, M.S., and Krizek, R.J., "At-Rest Lateral Earth Pressure of a Consolidating Clay", *Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 102 No (7), July 721-738. 1976.*
8. Edil, T.B and Dhowian, A.W., "At-Rest Lateral Pressure of Peat Soils", *Journal of Geo. Eng, Vol. 107, No (GT2), 201-217, 1981.*
9. Hedron, A.J., "The Behaviour of Sand in One Dimensional Compression" *Ph.D.Thesis, University of Illinios, U.S.A., 1963.*
10. Brooker, E.W., and Ireland, H.O., "Earth Pressure at-rest Related to The Stress History", *Canadian Geotechnical Journal, Vol 2, No (1), pp 1-15, 1965.*



11. Ertekin, Y., "Measurement of Lateral Swell Pressure with Thin Wall Oedometer Technique", M.S. Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 114s, 1991.
12. Tekinsoy, M.A., "An Approximation to Lateral Earth Pressure for  $K_0$  Condition", Pamukkale University Engineering Collage, Journal of Engineering Sciences, Cilt 5, Sayı 1, 933-942.
13. Jaky, J., "The Coefficient of Earth Pressure at Rest", Journal of Society of Hungarian Architects and Engineers, Budapest, Hungary, pp.355-358, 1944.
14. Krizek, R.J., and Abdelhamid, M.S., Geotechnical Eng., 8, 31, (1977).
15. Alpan, I., "The Empirical Evaluation of The Coefficient  $K_0$  and  $K_{0R}$  Soil Foundation", Vol. 7, No (1), pp 31-40, 1967.
16. Newlin, C.W., "Lateral Stresses During One-Dimensional Consolidation" Thesis Presented to Northwestern University, Evanston, Ill, in Partial Fulfillment of The Requirements for Degree of Doctor of Philosophy, in 1965.
17. Toğrol, E., "Zeminlerin Mekanik Davranışı", Associated Professorship Thesis, I.T.U., Civil Eng. Fact., Istanbul, 1967.



## ÇOK KATLI YAPILARIN ÜÇ BOYUTLU DEPREM ANALİZİ İÇİN BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI

A. Kamil TANRIKULU, Gültekin AKTAŞ ve A. Hamza TANRIKULU  
Ç. Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** Genel olarak yapıların kütle ve rijitlik merkezlerinin koordinatları yapı yüksekliği ile değişmektedir. Ayrıca belli bir kat için kütle ve rijitlik merkezleri çakışmamaktadır. Depreme maruz kalan bu yapılarda kütle ve rijitlik merkezlerinin koordinatları arasındaki farka bağlı olarak önemli ölçüde burulma etkileri oluşmaktadır. Bu çalışmada yapıların deprem yükleri altındaki davranışı burulma etkisi de dikkate alınarak incelenmiş; Rijit Diyafram Modeli ve Mod Süperpozisyon Tekniği kullanılarak çok katlı , perdeli bir yapının üç boyutlu deprem analizini yapan genel amaçlı bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Program ile, 1998 Türk Deprem Yönetmeliğinde önerilen değişik analiz yöntemleri ile çok katlı yapıların deprem analizi yapılabilmektedir.

### A COMPUTER PROGRAM FOR THREE-DIMENSIONAL EARTHQUAKE ANALYSIS OF MULTI-STOREY STRUCTURES

**ABSTRACT:** In general, the locations of mass and shear centers of buildings alter along their height. Moreover, the mass and shear centers at a floor levels do not coincide in general. This situation causes the buildings to undergo torsional deformations during the earthquakes. In this study, the earthquake behaviors of multi-storey shear buildings are studied by taking into account torsional effects, and for this purpose a general computer program is prepared by using Rigid Diaphragm Modelling and Mod Superposition Technique. Various types of earthquake analysis which are proposed in 1997 Turkish Earthquake Code are performed by the program.

## 1. GİRİŞ

Çok katlı yapıların deprem kuvvetlerine karşı davranışının analizi, inşaat mühendisliğinin önemli bir konusudur. Son yıllarda ülkemizde meydana gelen yıkıcı depremler de dikkate alındığında bu konunun önemi daha iyi anlaşılmaktadır.

Genel olarak simetrik olmayan yapıların kütle ve rijitlik merkezlerinin koordinatları yapı yüksekliği boyunca değişmektedir. Ayrıca belli bir kat için kütle ve rijitlik merkezi çakışmamaktadır. Depreme maruz kalan bu tip yapılarda kütle ve rijitlik merkezlerinin koordinatları arasındaki farka bağlı olarak önemli burulma etkileri oluşabilmekte, dolayısıyla deprem analizinin üç boyutlu olarak yapılması kaçınılmaz olmaktadır.

Yapıların üç boyutlu analizi için bugüne kadar bir çok araştırmacı tarafından çeşitli kabuller içeren yöntemler geliştirilmiştir. Yapılan çalışmaların büyük bir kısmında:

- a) Malzemenin lineer elastik olduğu,
- b) Kat döşemelerinin düzlemleri içinde sonsuz rijit oldukları,
- c) Perdeler klasik çubuk teorisinin uygulanabildiği, kabulleri bulunmaktadır.

Yukarıdaki kabullere ek olarak, çerçevelerin kayma çerçevesi olduğu (yani, her kata ait relatif yatay deplasmanın, sadece o kattaki kesme kuvveti ile orantılı olduğu) kabulü yapılarak bir ardışık yaklaşık yöntem önerilmiştir [1]. Bu yöntemde her kata ait rijitlik merkezinin koordinatlarının tayin edilmesi gerekmektedir. Söz konusu çalışmada ayrıca, düşey taşıyıcı elemanların ortogonal, yani birbirine dik iki düşey düzlemden birine paralel oldukları, kabul edilmiştir.

Düşey taşıyıcı elamanların rastgele yerleştirilmiş olması durumunda analiz biraz daha karmaşık olmaktadır. Rastgele yerleştirilmiş perdeler ve bunları birleştiren rijit diyaframlardan oluşan yapı sistemlerinin burulmalı yatay yük analizi için bir yöntem geliştirilmiştir [2]. Bu yöntemde döşeme eğilme rijitliğinin perde eğilme rijitliğine göre çok küçük olduğu, ve dolayısıyla perdelerin kat hizalarındaki yatay eksenler etrafında serbestçe dönebildikleri kabul edilmektedir. "Alt yapı" ("Substructure") tekniğinin kullanıldığı bu yöntemde rijit diyafram modeli ve indirgeme işlemi sonucu bilinmeyen deplasman sayısı  $3n$  ( $n$ : kat sayısı) olmaktadır. Uygulamadaki binaların hemen hepsinin kolon içerdikleri göz önüne alındığında bu yöntemin eksik tarafı ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, sözü edilen çalışmada binaların sadece statik yatay yük analizi yapılmaktadır. Halbuki çoğu kez binaların dinamik deprem analizlerinin yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, burulma etkisi de dikkate alınarak çok katlı, kolon ve perde içeren yapıların üç boyutlu dinamik deprem analizi incelenmiş ve genel amaçlı bir bilgisayar programı hazırlanmıştır.

Yapıların deprem analizinin literatürde var olan SAP90 [3] ve benzeri programlar ile yapılabilmesi olanaklı iken neden yeni bir yazılıma ihtiyaç duyulduğu sorulabilir. Bilindiği gibi yapıların üç boyutlu analizinde yapı büyüklüğü ile orantılı olarak veri dosyası çok uzun olmakta, ve böyle bir dosyanın hazırlanması düğüm noktaları ve elemanların numaralandırılma durumuna ve elemanlar için yerel koordinat takımlarının seçilmesinde kullanılan yöntemle bağlı olarak zorluklar gösterebilmektedir. Bununla birlikte, çıktı dosyasının proje mühendisleri tarafından kolay bir şekilde değerlendirilebilmesi ve anlaşılması önemli görünmektedir. Çok önemli diğer bir husus da, Profesyonel amaçlar için hazırlanmış bilgisayar programları kullanılarak elde edilen

analiz sonuçlarının, teorisi bilinen ve herkes tarafından rahatlıkla temin edilebilecek analiz programları yardımıyla kontrol edilmesi gereğidir. Ayrıca projelendirme sırasında tek bir yöntemle bağlı kalınmadan, yönetmelikler çerçevesinde, değişik yöntemler ile deprem analizi yapılarak sonuçlar karşılaştırılmalıdır. Tüm bu nedenlerden dolayı yeni bir yazılıma ihtiyaç duyulmuştur.

Bu çalışma, daha önce Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde yapılan bir yüksek lisans tez çalışmasının [4] devamı niteliğindedir. Sözü edilen tez çalışmasında da çok katlı yapıların deprem analizi ele alınmış, ancak yapıların deprem analizi için son zamanlarda sıkça kullanılmaya başlanan ve deprem yönetmeliklerinde yer almakta olan "Zaman Tanım Alanında Analiz" (Time History Analysis) konusuna hiç değinilmemiştir. Bu çalışmada sözkonusu eksiklik giderilmeye çalışılmıştır.

## 2. YAPI MODELİ

Formülasyonu yapılan yapı yatay döşemeler, düşey kolon ve perde elemanlarından oluşmaktadır. Yapı sağ el kuralına uyan bir XYZ koordinat takımında ele alınmaktadır. XY düzlemi döşeme düzlemlerine paraleldir. Z ekseninin (+) yönü yukarı doğru seçilmiştir. Formülasyonda ayrıca kolon ve perdelerin kıyaslandığı ve sağ el kuralına uyan bir uvw yerel koordinat takımı kullanılmaktadır (Şekil 1).

Formülasyonda yapılan kabuller aşağıda özetlenmiştir.

- a) Yapı davranışı doğrusaldır, deplasmanlar ve dönmeler küçüktür.
- b) Rijit Diyafram Modeli kullanılmaktadır.
- c) Düşey taşıyıcı elemanlarda aksel deformasyon ihmal edilmiştir.
- d) Döşeme eğilme rijitliği, kolon eğilme rijitliğine göre çok büyük; perde eğilme rijitliğine göre ise çok küçüktür. Dolayısı ile kolon davranışının kesme tipinde ve kat hizalarındaki dönmelerinin tutulmuş olduğu kabul edilmektedir; perdelerin kat hizalarındaki dönmelerinin serbest olduğu (yani, döşemelerin perdelerle kat hizalarında mafsalla bağlanmış olduğu) varsayılmaktadır.
- e) Kolon ve perdeler temele ankastre mesnetlenmiştir.
- f) Yapı kütleleri kat hizalarında toplanmıştır.

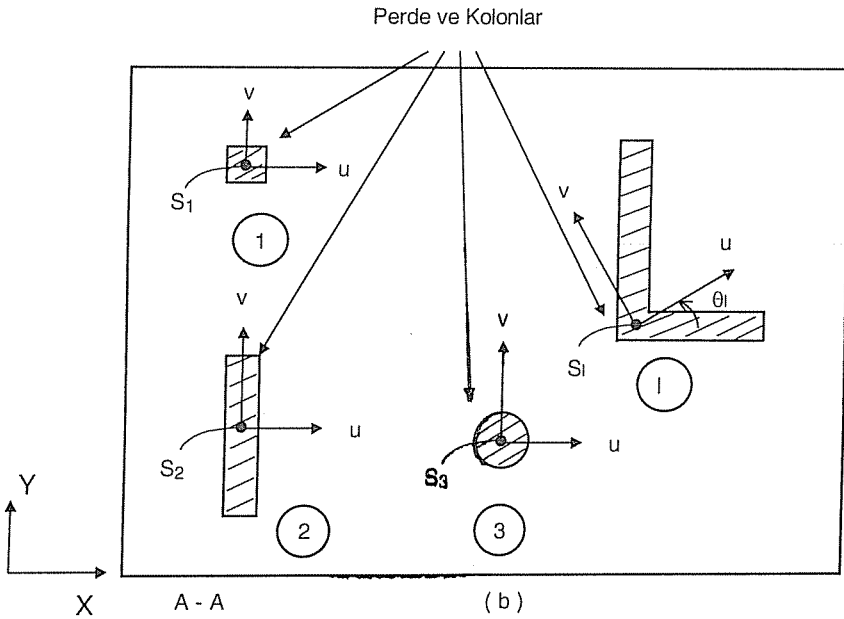
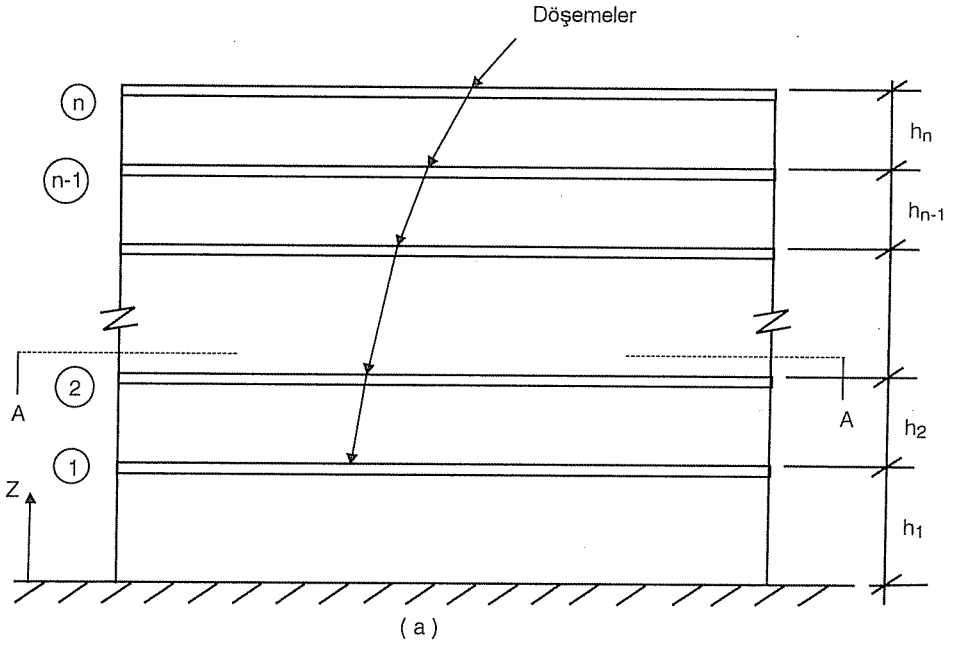
### 2.1. Rijit Diyafram Modeli

Bu modelde yapı döşemesinin kendi düzlemi içinde sonsuz rijit olduğu kabul edilmektedir. Dolayısı ile koordinatları (X, Y) olan herhangi bir döşeme noktasının X ve Y eksenleri doğrultularındaki deplasmanları ( $d_x$ ,  $d_y$ ) ve Z eksenine etrafındaki dönmesi ( $d_0$ ), döşeme düzlemi üzerinde seçilen ve koordinatları ( $X_m$ ,  $Y_m$ ) olan 'Master Noktası'nın yatay deplasmanları ve dönmesi ( $d_x^m$ ,  $d_y^m$ ,  $d_0^m$ ) cinsinden

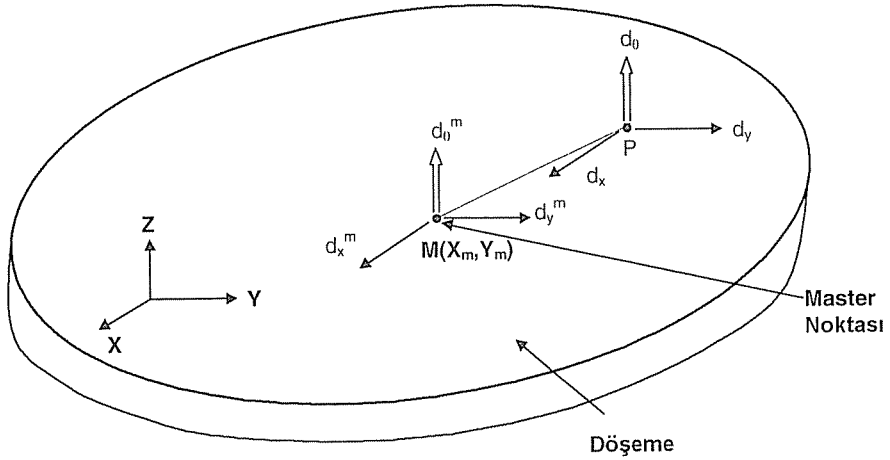
$$\begin{aligned}d_x &= d_x^m - (Y - Y_m)d_0^m \\d_y &= d_y^m + (X - X_m)d_0^m \\d_0 &= d_0^m\end{aligned}$$

şeklinde ifade edilebilmektedir (Şekil 2). Bu varsayım bir kattaki yatay deplasman ve düşey eksen etrafındaki dönme bilinmeyenlerini, kata birleşen kolon veya perdelerin sayısı ne olursa olsun, 3'e indirmektedir. Statik halde master noktası döşeme üzerinde

herhangi bir nokta olabilmektedir, ancak dinamik halde yapılan formülasyon, master noktasının kat döşemesinin kütle merkezi ile çakışık olmasını gerektirmektedir.



Şekil 1. Ele alınan yapı ve koordinat sistemleri



Şekil 2. Rijit Diyafram Modeli

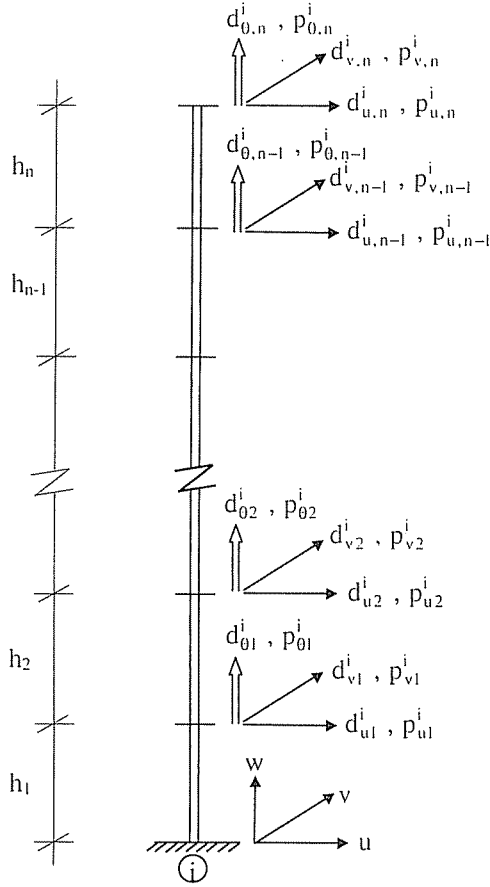
## 2.2. Asemble ve Sistem Denklemleri

Formülasyonda "alt yapı" ("substructure") yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde temelden başlayıp yapı yüksekliği boyunca devam eden kolon (perde) elemanları (*kolon (perde) asemblisi*), yapının bir alt yapısı olarak göz önüne alınmakta, daha sonra bu asembleler bir rijit diyafram yardımıyla birleştirilerek tüm yapı için davranış denklemleri bulunmaktadır.

Yapının  $n$  katlı ve kat yüksekliklerinin birbirinden farklı olduğu kabul edilmektedir (Şekil 1a). Kat yükseklikleri aşağıdan başlayarak yukarı doğru  $h_1, h_2, \dots, h_n$  ile gösterilmiştir. Yapı  $l$  adet asemble içermektedir (Şekil 1b). Asemble kesit ve fiziksel özelliklerinin kattan kata değişebileceği göz önüne alınmıştır. Şekil 1b' de  $S_1, S_2, \dots, S_l$  asemble kayma merkezlerini,  $u, v$  ise asemble yerel eksenlerini göstermektedir. Şekil 3'te tipik bir asembleye ait serbest cisim diyagramı görülmektedir. Şekilde  $d_{\alpha,j}^i, p_{\alpha,j}^i$  ( $\alpha=u,v; j=1-n$ ),  $i$ . asemblenin ilgili yerel eksen doğrultusundaki deplasman ve kuvvetlerini,  $d_{0,j}^i$  ve  $p_{0,j}^i$  ( $j=1-n$ ) ise,  $w$  yerel eksenini etrafındaki dönme ve moment değerlerini göstermektedir. Daha önce sözü edilen kabullerin ışığı altında, asemble kuvvetleri ile asemble deplasmanları arasında

$$\begin{bmatrix} \underline{p}_u^i \\ \dots \\ \underline{p}_v^i \\ \dots \\ \underline{p}_\theta^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{k}_u^i & \underline{0} & \underline{0} \\ \dots & \dots & \dots \\ \underline{0} & \underline{k}_v^i & \underline{0} \\ \dots & \dots & \dots \\ \underline{0} & \underline{0} & \underline{k}_\theta^i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{d}_u^i \\ \dots \\ \underline{d}_v^i \\ \dots \\ \underline{d}_\theta^i \end{bmatrix} \quad (1)$$

$\underline{p}_j$                        $\underline{k}_j$                        $\underline{d}_j$   
 $(3n \times 1)$                        $(3n \times 3n)$                        $(3n \times 1)$



Şekil 3. Tipik bir assemble

şeklinde bir ilişkinin var olduğu gösterilebilir. (1) denklemi kompakt formda

$$\underline{P}_i = \underline{k}_i \underline{d}_i \quad (2)$$

şeklinde yazılabilmektedir. (1) denkleminde  $\underline{P}_u^i, \underline{P}_v^i, \underline{P}_\theta^i$ , sırasıyla, assembleye ait  $u$  ve  $v$  yönlerindeki yatay kuvvetler ile  $w$  eksenindeki burulma momentlerini içeren  $n \times 1$  boyutlu vektörleri göstermektedir. Benzer şekilde  $\underline{d}_u^i, \underline{d}_v^i, \underline{d}_\theta^i$ , sırasıyla, assembleye ait  $u$  ve  $v$  yönlerindeki yatay deplasmanlar ile  $w$  eksenindeki dönmeleri içeren  $n \times 1$  boyutlu deplasman vektörleridir.  $\underline{k}_u^i$  ve  $\underline{k}_v^i$ , sırasıyla, assemblenin  $u$  ve  $v$  yönündeki



davranışı ile ilgili,  $k_{\theta}^i$  ise aynı asemblenin  $w$  eksenini etrafındaki davranışı ile ilgili rijitlik matrisleridir. (1) denklemindeki  $k_i$  matrisi, ele alınan asemblenin “indirgenmiş rijitlik matrisi” adını almaktadır. Bu matris asemble yerel koordinatlarında,  $P_i$  asemble kuvvetlerini,  $d_i$  asemble deplasmanlarına bağlamaktadır. Matrisin elde edilmesi [5]’de detaylı olarak anlatılmakta olup asemblenin kolon veya perde oluşuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Herhangi bir asemblenin yerel koordinatlarında yazılmış olan  $d_i$  deplasmanları, yapının master noktası deplasmanları cinsinden (Şekil 2)

$$\begin{array}{c}
 \left[ \begin{array}{c} \underline{d}_u^i \\ \dots \\ \underline{d}_v^i \\ \dots \\ \underline{d}_\theta^i \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{ccc|c} \underline{I} \cos \theta_i & \underline{I} \sin \theta_i & -(Y_i - Y_{mj}) \cos \theta_i & \underline{D}_x^m \\ & & + (X_i - X_{mj}) \sin \theta_i & \\ \hline -\underline{I} \sin \theta_i & \underline{I} \cos \theta_i & -(Y_i - Y_{mj}) \sin \theta_i & \underline{D}_y^m \\ & & + (X_i - X_{mj}) \cos \theta_i & \\ \hline \underline{0} & \underline{0} & \underline{I} & \underline{D}_\theta^m \end{array} \right] \begin{array}{c} \left[ \underline{D}_x^m \right] \\ \dots \\ \left[ \underline{D}_y^m \right] \\ \dots \\ \left[ \underline{D}_\theta^m \right] \end{array} \quad (3)
 \end{array}$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{\underline{d}_i \quad (3n \times 1)} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\underline{B}_i \quad (3n \times 3n)} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\underline{D} \quad (3n \times 1)}$

veya kompakt formda

$$\underline{d}_i = \underline{B}_i \underline{D} \quad (4)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Burada  $3n \times 1$  boyutlu  $\underline{D}$  vektörü, master noktasının global koordinat takımındaki deplasmanlarını içeren vektör,  $3n \times 3n$  boyutlu  $\underline{B}_i$  matrisi ise  $i$ . asemblenin yerel koordinatlarındaki deplasmanlarını master noktası deplasmanlarına bağlayan ‘Dönüşüm matrisi’ dir.  $\underline{B}_i$  dönüşüm matrisinde görülen  $\underline{I}$ ,  $(n \times n)$  boyutlu birim matrisi,  $(Y_i - Y_{mj})$  ve  $(X_i - X_{mj})$ ,  $i$ . asemble ile master noktası koordinatları arasındaki farkları içeren  $(n \times n)$  boyutlu diyagonal matrisleri,  $\theta_i$  ise sözkonusu asemblenin  $u$  yerel eksenini ile  $X$  eksenini arasındaki açıyı göstermektedir.

Asemble kuvvetleri ile bu kuvvetlerin master noktasındaki eşdeğerleri arasında da, benzer şekilde

$$\underline{f}_i = \underline{B}_i^T \underline{P}_i \quad (5)$$

bağıntısı yazılabilmektedir. (5) denklemindeki  $\underline{B}_i^T$ ,  $\underline{B}_i$  dönüşüm matrisinin transpozunu göstermekte olup asemble kuvvetlerini  $(\underline{P}_i)$  master noktasındaki eşdeğerlerine  $(\underline{f}_i)$  bağlamaktadır. (2) ve (4) denklemleri (5) denkleminde yerine konulursa

$$\underline{f}_i = (\underline{B}_i^T \underline{k}_i \underline{B}_i) \underline{D} \quad (6)$$

denklemleri elde edilmektedir. (6) denklemi, asemble kuvvetlerinin master noktasındaki eşdeğerlerini, master noktası deplasmanlarına bağlamakta olup, tipik bir asemble için yazılmıştır. Bu denklem bütün asembleler için yazılır ve kat denge denklemi düşünülerek birleştirilirse

$$\underline{K} \underline{D} = \underline{F} \quad (7)$$

ifadesi bulunur. (7) denkleminde

$$\underline{K} = \sum_{i=1}^I \underline{B}_i^T \underline{k}_i \underline{B}_i \quad (8)$$

şeklinde hesaplanan 'Sistem Rijitlik Matrisini',  $\underline{F}$  vektörü ise master noktasına etki eden kuvvetleri göstermektedir. (8) denklemindeki toplama işlemi tüm asembleler üzerinde yapılmaktadır.

Ele alınan yapı sistemine ait sönüm matrisi ise,  $\underline{c}_i$ , i. asembleye ait sönüm matrisi olmak üzere

$$\underline{C} = \sum_{i=1}^I \underline{B}_i^T \underline{c}_i \underline{B}_i \quad (9)$$

formülü ile hesaplanabilmektedir.

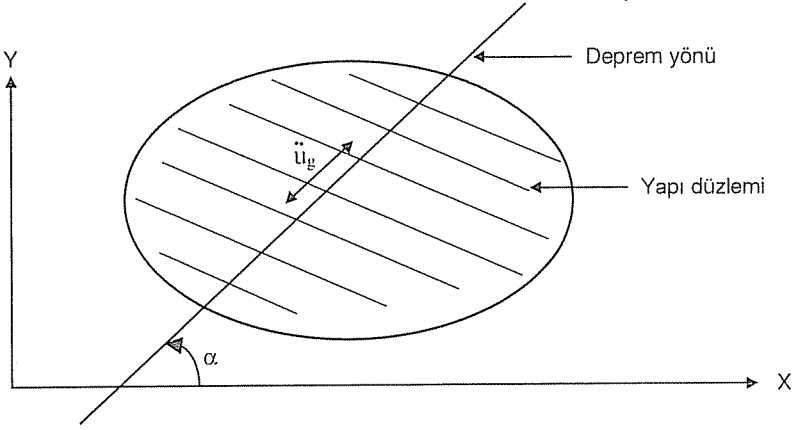
### 3. DEPREM ANALİZİ

Yukarıda sistem denklemi elde edilen yapının Şekil 4' de gösterilen yatay deprem hareketine maruz kaldığı kabul edilmektedir. Şekilde deprem yönü ile X eksenindeki arasındaki açı  $\alpha$  ile gösterilmiştir. Deprem ivmesi,  $\ddot{u}_g$  ile gösterilmiştir (üzeri noktalı terimler bu terimlerin zamana göre türevini göstermektedir). Dolayısıyla  $\ddot{u}_g$ , deprem deplasmanı  $u_g$ 'nin zamana göre ikinci türevini tanımlamaktadır.

Deprem etkisi altında sistem davranış denklemi, D'Alembert prensibi kullanılarak kurulacaktır. Aşağıda verilen formülasyon, rijit cisimler dinamiğinin temel prensipleri ışığında, master noktalarının döşeme kütle merkezleri olarak seçilmesi hali için geçerlidir. (7) sistem denklemi açık olarak

$$\underline{K} \underline{D} = \underline{F} = \begin{bmatrix} \underline{F}_X \\ \underline{F}_Y \\ \underline{F}_\theta \end{bmatrix} \quad (10)$$

şeklinde yazılabilir. Denklemdaki ( $F_x, F_y, F_\theta$ ), D'Alembert prensibi ışığı altında, kat ağırlık merkezlerine etki eden atalet kuvvetlerini temsil etmekte olup bu kuvvetler için



Şekil 4. Deprem hareketi

$$F_x = - M_x \ddot{d}_x$$

$$F_y = - M_y \ddot{d}_y \quad (11)$$

$$F_\theta = - I_m \ddot{d}_\theta$$

bağıntıları yazılabilir. Burada  $M_x, M_y, I_m$ , sırasıyla X ve Y yönündeki kütle matrisleri ve kütleli atalet momenti matrisini göstermektedir. (11) denkleminde geçen  $d_x, d_y$ , master noktasının X ve Y yönlerindeki toplam deplasmanlarını (deprem deplasmanı + relatif deplasman),  $d_\theta$  ise, döşemelerin master noktası etrafındaki toplam dönmelerini göstermektedir. Dolayısıyla, master noktası toplam deplasmanları, master noktalarının yapı tabanına göre relatif deplasmanları ve yer hareketi deplasmanları cinsinden

$$\begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_x^m \\ D_y^m \\ D_\theta^m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_g \\ Y_g \\ 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

olarak yazılabilir. (12) denkleminde  $X_g$  ve  $Y_g$  vektörleri,  $u_g$  deprem deplasmanlarının X ve Y bileşenlerini içermektedir.

$$r = \begin{bmatrix} l \cos \alpha \\ l \sin \alpha \\ 0 \end{bmatrix}$$

tanımı yapılırsa, (12) denklemini

$$\underline{\ddot{d}} = \underline{D} + \underline{r} \underline{\ddot{u}}_g \quad (13)$$

şekline gelecektir. (11) denklemini matris formunda

$$\begin{bmatrix} \underline{F}_x \\ \underline{F}_y \\ \underline{F}_\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_x & & & \\ & & \underline{0} & \\ & \underline{M}_y & & \\ & & \underline{0} & \\ & & & \underline{I}_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \underline{\ddot{d}}_x \\ \underline{\ddot{d}}_y \\ \underline{\ddot{d}}_\theta \end{bmatrix} \quad (14)$$

$\underline{F}$                        $\underline{M}$                        $\underline{\ddot{d}}$

veya kompakt formda

$$\underline{F} = -\underline{M} \underline{\ddot{d}} = -\underline{M}(\underline{D} + \underline{r} \underline{\ddot{u}}_g) \quad (15)$$

şeklinde yazılabilir. (15) denklemini, sönüm de ilave edilerek (7) denkleminde yerine yazılırsa

$$\underline{M} \underline{\ddot{D}} + \underline{C} \underline{\dot{D}} + \underline{K} \underline{D} = -\underline{M} \underline{r} \underline{\ddot{u}}_g \quad (16)$$

denklemini elde edilir. (16) denklemini, ele alınan yapı sisteminin deprem etkisi altındaki davranışını idare eden ikinci dereceden bir difarensiyel denklem takımı olup denkleminde görülen  $\underline{M}$ ,  $\underline{C}$ ,  $\underline{K}$ , sırasıyla sistem kütle, sönüm ve rijitlik matrisleridir. Bu denklemin çözümü ile master noktası deplasmanları ( $\underline{D}$ ) bulunmuş olur. Bu çalışmada çözüm, Zaman Tanım Alanında "Mod Birleştirme" tekniği [6] kullanılarak yapılmaktadır.

Mod Birleştirme tekniğinde,  $\underline{D}$  master noktası deplasmanları,  $Y_k$  ( $k=1,2, \dots, n$ ) modal deplasmanları cinsinden

$$\underline{D} = a_1 Y_1 + a_2 Y_2 + \dots + a_n Y_n \quad (17)$$

açılımına tabi tutulmaktadır. Burada  $a_k$  ( $k=1,2, \dots, n$ ) sistemin serbest titreşim mod vektörlerini göstermekte olup bu vektörler

$$(\underline{K} - \lambda \underline{M}) \underline{a} = \underline{0} \quad (18)$$

özdeğer problemi çözülerek bulunabilir. Denkleminde yer alan  $\lambda$ , karakteristik değeri temsil etmektedir ve yapının serbest titreşim frekansı  $\omega$ 'ya

$$\lambda = \omega^2 \quad (19)$$

denklemini ile bağlıdır. (17) denklemini

$$\underline{D} = \underline{Q} \underline{Y} \quad (20)$$

şeklinde yazılabilir. Burada

$\underline{D}$  : Deplasman vektörünü

$\underline{Y}$  : Modal deplasman vektörünü

$\underline{Q}$  : Serbest titreşim mod vektörleri matrisini göstermektedir. (20) denklemini türetilirse

$$\underline{\dot{D}} = \underline{Q} \underline{\dot{Y}} \quad (21)$$

$$\underline{\ddot{D}} = \underline{Q} \underline{\ddot{Y}}$$

bağıntıları bulunur; bu bağıntılar (16) denkleminde yerine yazılıp  $\underline{Q}^T$  matrisi ile soldan çarpılırsa

$$(\underline{Q}^T \underline{M} \underline{Q}) \ddot{\underline{Y}} + (\underline{Q}^T \underline{C} \underline{Q}) \dot{\underline{Y}} + (\underline{Q}^T \underline{K} \underline{Q}) \underline{Y} = \underline{Q}^T \underline{P} \quad (22)$$

denklemi elde edilir. Probleme ait bütün titreşim mod vektörlerinin  $\underline{K}$  ve  $\underline{M}$  matrislerine göre ortogonal olma özelliği kullanılır, ayrıca  $\underline{C}$  matrisine göre de ortogonal olduğu kabulü yapılırsa (22) denklemindeki matris çarpımları için

$$\underline{Q}^T \underline{M} \underline{Q} = \begin{bmatrix} m_1 & & & \\ & \ddots & & \\ & & \underline{0} & \\ & & & \ddots \\ & \underline{0} & & & \\ & & & & & m_n \end{bmatrix}; \quad m_i = \underline{a}_i^T \underline{M} \underline{a}_i \quad (23)$$

$$\underline{Q}^T \underline{C} \underline{Q} = \begin{bmatrix} c_1 & & & \\ & \ddots & & \\ & & \underline{0} & \\ & & & \ddots \\ & \underline{0} & & & \\ & & & & & c_n \end{bmatrix}; \quad c_i = \underline{a}_i^T \underline{C} \underline{a}_i \quad (24)$$

$$\underline{Q}^T \underline{K} \underline{Q} = \begin{bmatrix} k_1 & & & \\ & \ddots & & \\ & & \underline{0} & \\ & & & \ddots \\ & \underline{0} & & & \\ & & & & & k_n \end{bmatrix}; \quad k_i = \underline{a}_i^T \underline{K} \underline{a}_i \quad (25)$$

$$\underline{Q}^T \underline{P} = \begin{bmatrix} \bar{p}_1 \\ \vdots \\ \bar{p}_n \end{bmatrix}; \quad \bar{p}_i = \underline{a}_i^T \underline{P} \quad (26)$$

ifadeleri elde edilir. Bu ifadeler (22) denkleminde yerlerine yazılırsa

$$m_i \ddot{Y}_i + c_i \dot{Y}_i + k_i Y_i = \bar{p}_i, \quad (i=1, \dots, n) \quad (27)$$

denklemleri bulunur.  $\frac{c_i}{m_i} = 2 \xi_i \omega_i$  ve  $\frac{k_i}{m_i} = \omega_i^2$  eşdeğerleri yerine yazılırsa

$$\ddot{Y}_i + 2 \xi_i \omega_i \dot{Y}_i + \omega_i^2 Y_i = \frac{\bar{p}_i}{m_i} = \alpha_i \ddot{u}_g, \quad (i=1, \dots, n) \quad (28)$$

diferansiyel denklemi bulunur. Burada

$Y_i$  : i nci mod için modal deplasmanı,

$\xi_j$  : i nci mod için sönüm oranını,

$\omega_i$  : i nci mod için serbest titreşim frekansını,

$$\alpha_i = \frac{L_i}{m_i}$$

$$L_i = \underline{a}_i^T \underline{M} \underline{r} \quad (\text{Skaler})$$

$$m_i = \underline{a}_i^T \underline{M} \underline{a}_i$$

göstermektedir. Bu çalışmada, (28) diferansiyel denklemi ile tanımlanan başlangıç değer problemi, zaman tanım alanında adım adım integrasyon yöntemi olan 4. mertebe Runge-Kutta Yöntemi (RK-4) ile çözülmüştür [7]. Denklem çözümleri sonucunda yapı sistemine ait  $Y_i=Y_i(t)$  ( $i = 1, \dots, n$ ) modal deplasmanları bulunmaktadır. Bulunan  $Y_i(t)$  değerleri (17) denklemde yerine yazılırsa, yapıya ait master noktası deplasmanları zamana bağlı olarak elde edilmiş olur. Son olarak, önceki bölümde verilen denklemler yardımı ile eleman uç kuvvetlerinin zamanla değişimi elde edilmektedir.

#### 4. ÇOK KATLI YAPILARIN ÜÇ BOYUTLU DEPREM ANALİZİ İÇİN BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI

Bu çalışmada, daha önceki bölümlerde tartışılan temel formülasyon ve sayısal yöntemler kullanılarak, çok katlı yapıların üç boyutlu deprem analizini yapan bir bilgisayar programı (BD98) hazırlanmıştır.

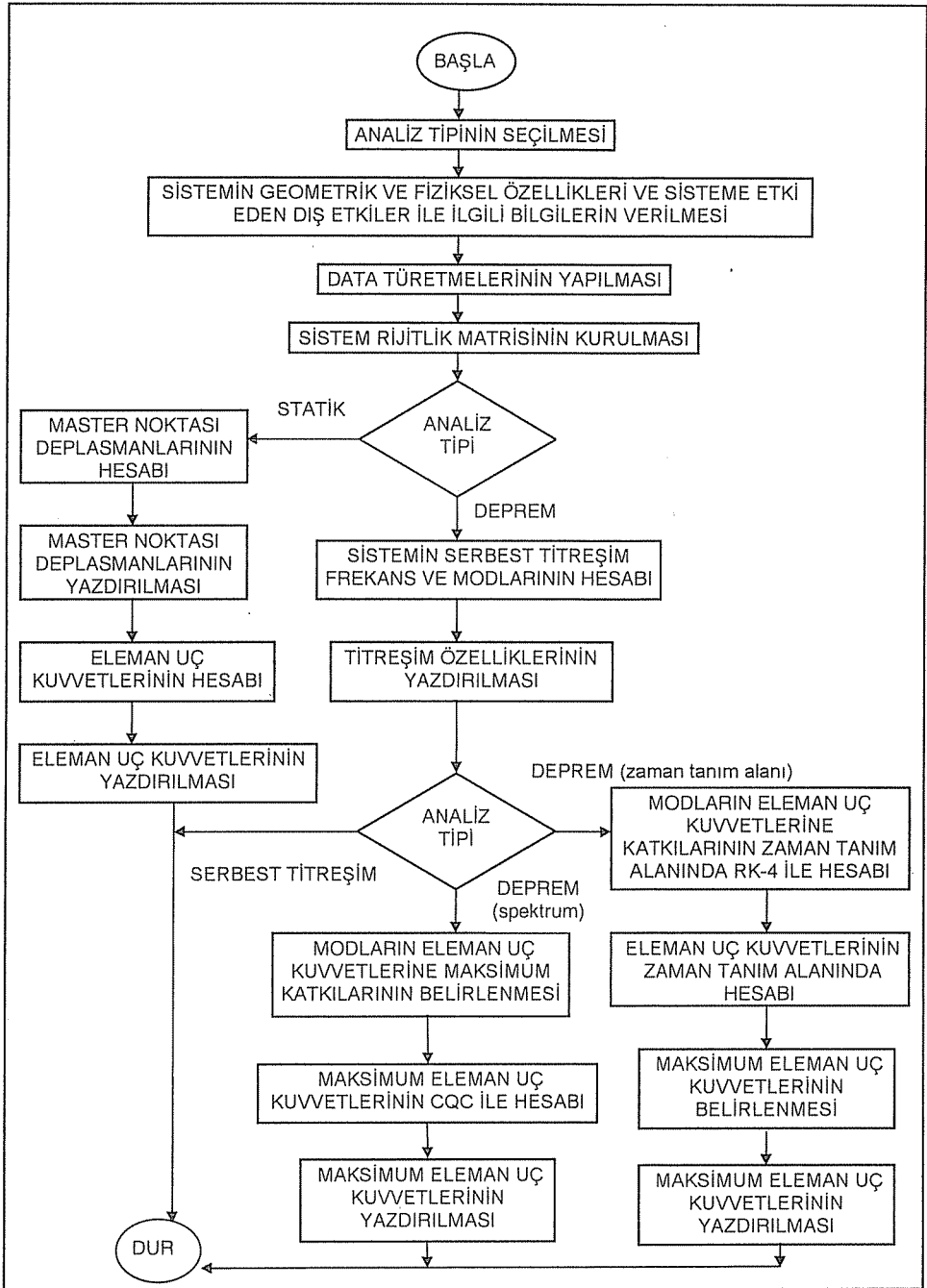
##### 4.1. Genel Bilgiler

Program, FORTRAN 77 dili kullanılarak hazırlanmış olup, en çok 30 kat ve 90 kolon ve perde asemblisi içeren yapıların üç boyutlu analizini yapabilecek şekilde, işletim sistemi MS-DOS olan bilgisayarlar için hazırlanmıştır. Program hazırlanırken :

- i) Analizde en fazla 9 mod katkısının dikkate alınacağı,
- ii) Yapıda, özellikleri birbirinden farklı en fazla 90 tip asemblinin bulunabileceği.
- iii) Herhangi bir i asemblisinin u yerel eksenini ile X eksenini arasındaki  $\theta_i$  açısının, bina yükseklığı boyunca sabit kalacağı.
- iv) Yapıyı oluşturan bütün elemanların, Elastisite Modülü ve Poisson Oranı aynı olan malzemeden yapılmış oldukları, kabul edilmiştir.

Programa ait akış diyagramı Şekil 5' de görülmektedir. Hazırlanan bilgisayar programı ile üç çeşit analiz yapmak mümkündür.

**1) Statik Yatay Yük Analizi:** Bu halde program, yapıya etkiyen statik yatay yük etkisi altında sistem denklemini çözerek master noktası deplasmanlarını, ve bu deplasman değerleri yardımıyla eleman uç kuvvetlerini hesaplamaktadır. Bu tip analiz, Türk Deprem Yönetmeliğinde [8] sözü edilen "Eşdeğer Deprem Yükü Analizi" ne karşılık gelmektedir.



Şekil 5. Programın genel akış diyagramı

**2) Titreşim Analizi:** Bu analiz halinde program, yapının serbest titreşim frekans ve mod vektörlerini hesaplamaktadır. Burada master noktasının, döşemenin kütle merkezi olarak seçilmesi gerektiğini bir kez daha hatırlatmakta fayda vardır.

**3) Deprem Analizi:** Bu analiz modunda program Mod Birleştirme Yöntemi ile yapının **Spektrum** analizini yada **Zaman Tanım Alanında** analizini yapmaktadır. **Spektrum** analizinde deprem ivme spektrumunu yardımı ile her titreşim modundan eleman kesit tesirlerine gelen maksimum katkılar bulunmakta, daha sonra bu değerler "Tam Kuadratik Birleştirme" tekniği [9] ile birleştirilmektedir. **Zaman Tanım Alanında** analiz için deprem girdisi olarak deprem ivme kaydı kullanılmakta, ve analiz sonucunda yapı elemanlarına ait uç kuvvetlerinin zamanla değişimi ve uç kuvvetlerinin maksimum değerleri hesaplanmaktadır. Bu analiz seçeneğinde de "master" noktasının, döşemenin kütle merkezi olarak seçilmesi gerekmektedir.

## 5. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu bölümde, planı Şekil 6'da görülen 8 katlı bina ele alınmakta ve binanın, Türk Deprem Yönetmeliğinde önerilen çeşitli yöntemler ile deprem analizi gerçekleştirilmektedir. Sözü edilen tüm analizler için BD98 programı kullanılmıştır.

### Bina ile ilgili özellikler:

Elastisite modülü .....	: $2.85 \times 10^6 \text{ ton/m}^2$
Poisson oranı .....	: 0.15
Kat yükseklikleri .....	: 3.00m
Kat ağırlıkları .....	: 700 ton
Kat ağırlık merkezi koordinatları .....	: $X_m = 10.1\text{m}$ ; $Y_m = 5.97\text{m}$
Kolon boyutları .....	: $0.4\text{m} \times 0.8\text{m}$
Deprem bölgesi .....	: 2
Zemin sınıfı .....	: Z2
Yapı önem katsayısı .....	: 1
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı .....	: 7
Sönüm oranı .....	: 0.05

### Uygulama-1

Yapının üç boyutlu serbest titreşim analizi, BD98 programı ile yapılmıştır. Binanın ilk 9 titreşim moduna ait periyod değerleri ve etkin kütle oranları Tablo-1'de görülmektedir.

Tablodaki değerlerden, yapının X ve Y yönündeki titreşim modlarına ait periyod değerlerinin sırasıyla 0.596 sn ve 0.427sn olduğu, ve bu binanın mod birleştirme yöntemi ile deprem analizi sırasında en az ilk sekiz modun hesaba katılması gerektiği görülmektedir.

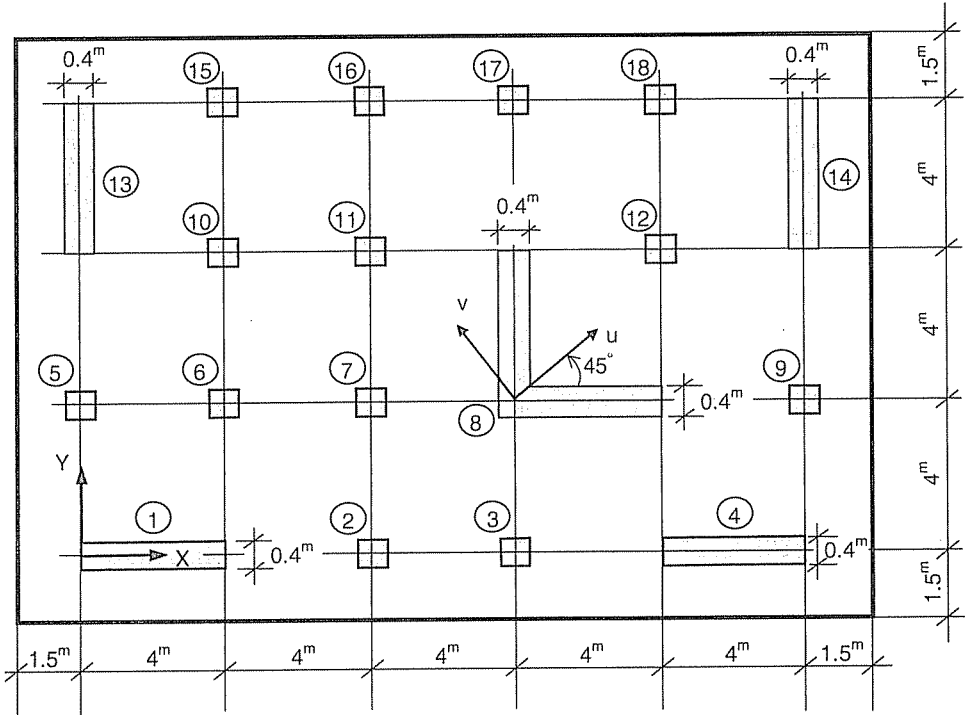
### Uygulama-2

Binanın 'Eşdeğer Deprem Yüğü' yöntemi ile analizi yapılmıştır. Eşdeğer deprem yükleri, yukarıda belirlenen periyod değerleri göz önüne alınarak, X ve Y yönleri için Tablo 2'de görüldüğü gibi hesaplanmıştır. Yükler, kat ağırlık merkezlerine etkilmiştir.



**Tablo-1.** Yapının serbest titreşim periyodları ve etkin kütle oranları

Mod	Periyod (sn)	Etkin Kütle Oranları	
		X yönü	Y yönü
1	0.596	0.71	0.02
2	0.490	0.01	0.01
3	0.427	0.01	0.73
4	0.165	0.12	0.00
5	0.134	0.01	0.02
6	0.123	0.02	0.11
7	0.083	0.04	0.00
8	0.063	0.00	0.04
9	0.058	0.02	0.01
TOPLAM		0.94	0.94



**Şekil 6.** Bina planı

### Uygulama-3

Binanın 'Mod Birleştirme Yöntemi' ile dinamik spektrum analizi gerçekleştirilmiştir. Analizde iki farklı ivme spektrumu kullanılmıştır:

a) Türk Deprem Yönetmeliğinde, ikinci derece deprem bölgesi ve Z2 sınıfı zeminler için önerilen ivme spektrumu (TDY)

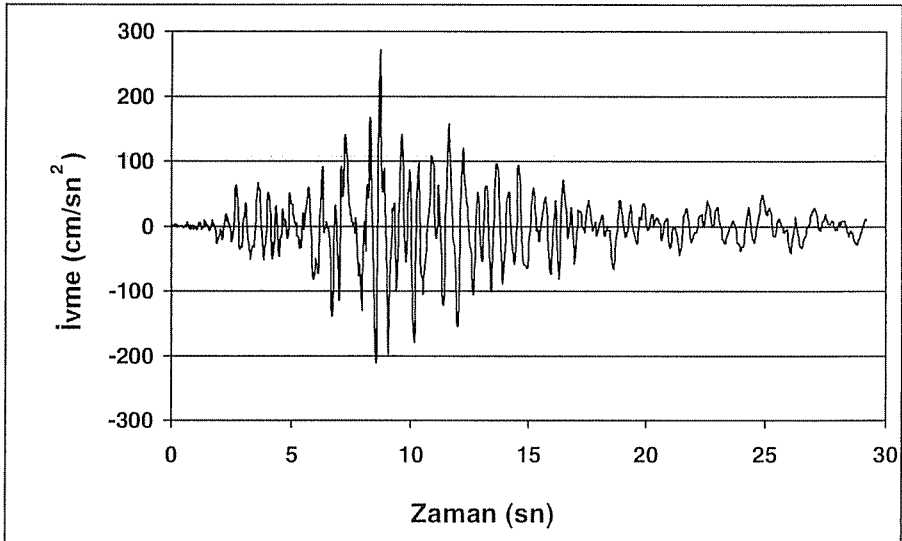
b) 27 Haziran 1998'de meydana gelen Ceyhan depreminin Kuzey-Güney bileşenine ait ivme spektrumu (CEYHAN-1998).

(b) de kullanılan deprem ivme kaydı Şekil 7'de, her iki durum için elde edilmiş olan ivme spektrumları ise Şekil 8'de görülmektedir.

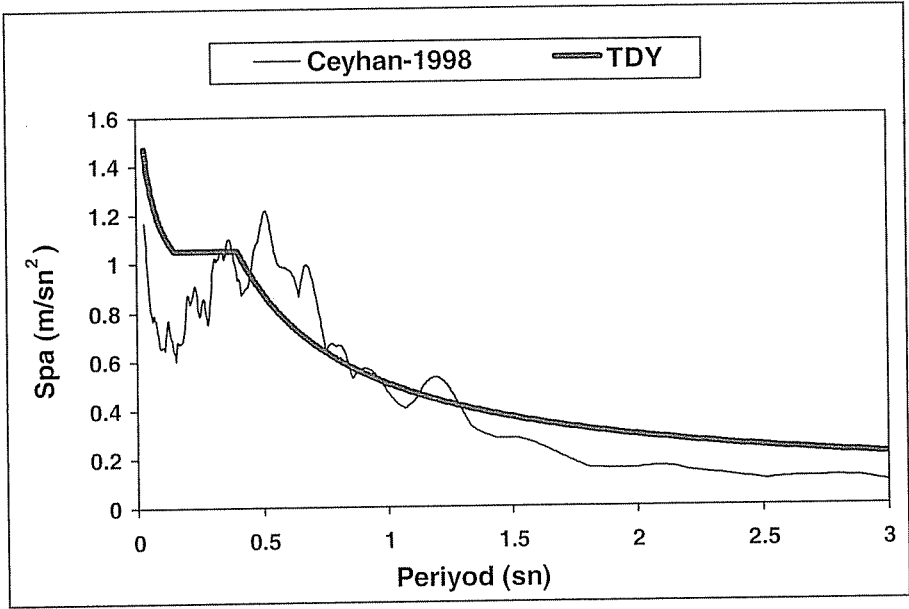
Analizde binaya ait ilk 9 modun katkısı göz önüne alınmış olup bu modlara ait periyod değerleri için hesaplanan ivme spektrum değerleri Tablo 3'te görülmektedir. Analiz, deprem hareketinin X ve Y yönünde olması hali için yapılmıştır.

**Tablo-2. Eşdeğer deprem yükleri**

Kat No	Eşdeğer Deprem Yükleri	
	X yönü (ton)	Y yönü (ton)
8	96.91	126.54
7	84.80	110.72
6	72.69	94.90
5	60.57	79.09
4	48.46	63.27
3	36.34	47.45
2	24.23	31.63
1	12.11	15.82



**Şekil 7. Ceyhan depremi Kuzey-Güney bileşeni**



Şekil 8. Uygulama-3'te Kullanılan İvme spektrumları

Tablo-3. İvme spektrum değerleri

Mod	Periyod (T) (sn)	Spa (T)	
		Ceyhan-1998	TDY
9	0.058	0.803	1.287
8	0.063	0.767	1.259
7	0.083	0.726	1.185
6	0.123	0.762	1.094
5	0.134	0.698	1.073
4	0.165	0.679	1.051
3	0.427	0.890	0.996
2	0.490	1.134	0.894
1	0.596	0.979	0.763

#### Uygulama-4

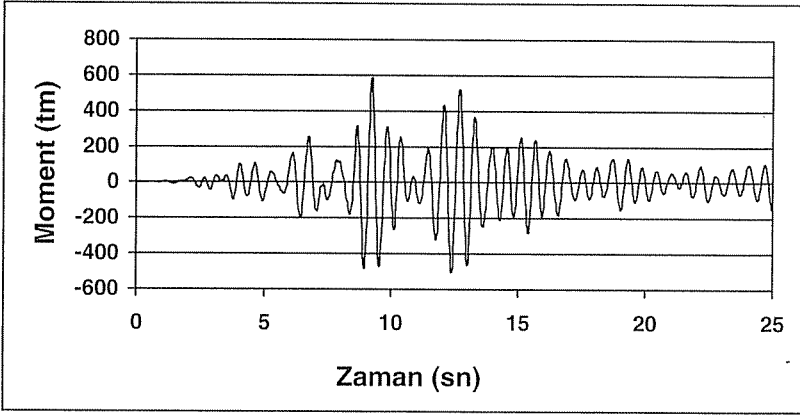
Binanın üç boyutlu dinamik deprem analizi, 27 Haziran 1998 Ceyhan depreminin Kuzey-Güney bileşenine ait ivme kaydı (Şekil 7) kullanılarak, Zaman Tanım Alanı'nda gerçekleştirilmiştir. Analiz, öngörülen deprem hareketinin X ve Y yönünde olması hali için yapılmış olup, analizde yapının elastik olmayan davranışını göz önüne almak üzere, ivme değerleri, Deprem Yüklü Azaltma Katsayısı ( $R_d=7$ ) değeri ile küçültülerek kullanılmıştır.

Sözü edilen analizler sonucunda, herhangi bir iç kuvvet büyüklüğünün zamanla değişimi ve maksimum eleman uç kuvvetleri elde edilebilmektedir. Örnek olarak,

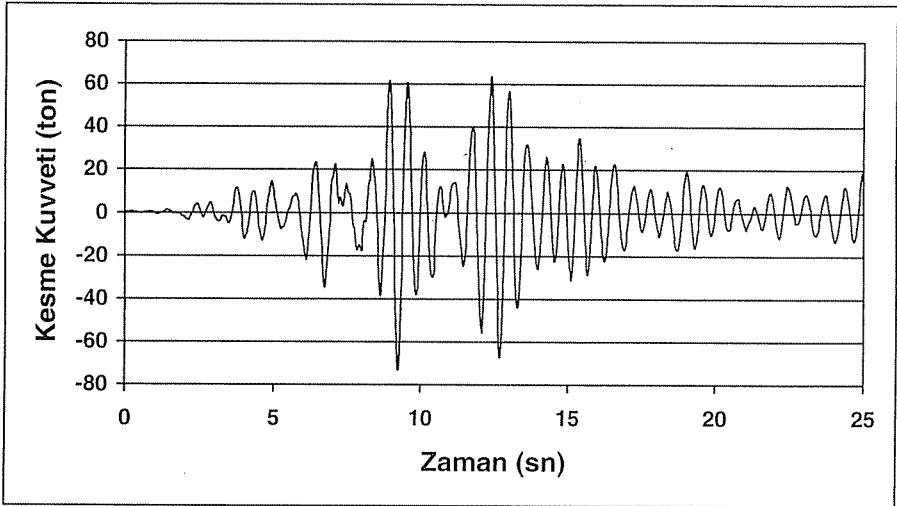
deprem hareketinin X yönünde olması durumunda, 1 nolu perde asemblesinin deprem doğrultusundaki taban momenti ve kesme kuvvetinin zamanla değişimi sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10'da görülmektedir.

Okuyucuya bir fikir vermek amacıyla, yukarıda anlatılan değişik analiz yöntemleri ile elde edilen bazı iç kuvvet değerleri, deprem hareketinin X ve Y yönünde olması hali için sırasıyla Tablo 4 ve Tablo 5'te karşılaştırılmaktadır.

Tabloların incelenmesinden görüleceği gibi, değişik yöntemler ile elde edilen sonuçlar arasında önemli oranda farklılıklar bulunmaktadır. Bu örnekte, Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi diğer yöntemlere göre genellikle daha büyük iç kuvvet değerleri vermiştir.



Şekil 9. Depremin X yönünde olması halinde 1 nolu asemble taban momentinin zamanla değişimi



Şekil 10. Depremin X yönünde olması halinde 1 nolu asemble taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi

**Tablo-4.** Deprem hareketinin X yönünde olması hali için bazı iç kuvvet büyüklüklerinin karşılaştırılması

Asemble ve Kat No	Düzlem		Uygulama 2	Uygulama 3		Uygulama 4
				Ceyhan-1998	TDY	
1. Asemble (perde) 1.Kat, alt uç	U-Z	Mom. (tm)	699.18	676.23	531.05	671.04
		Kes. K. (t)	79.05	74.12	59.57	73.05
8. Asemble (L perde) 1.Kat, alt uç	U-Z	Mom. (tm)	664.76	688.57	542.48	700.39
		Kes. K. (t)	101.48	104.74	84.29	106.48
8. Asemble (L perde) 1.Kat, alt uç	V-Z	Mom. (tm)	1686.47	1469.90	1161.92	1429.17
		Kes. K. (t)	170.95	142.96	116.84	136.75
2. Asemble (Kolon) 1.Kat, alt uç	U-Z	Mom. (tm)	4.66	4.48	3.53	4.45
		Kes. K. (t)	3.10	2.99	2.35	2.96
13. Asemble (perde) 1.Kat, alt uç	U-Z	Mom. (tm)	28.85	27.11	21.51	27.11
		Kes. K. (t)	19.24	18.07	14.34	18.08
13. Asemble (perde) 1.Kat, alt uç	V-Z	Mom. (tm)	215.00	261.89	220.18	269.52
		Kes. K. (t)	54.83	62.04	52.86	62.78

**Tablo-5.** Deprem hareketinin Y yönünde olması hali için bazı iç kuvvet büyüklüklerinin karşılaştırılması

Asemble ve Kat No	Düzlem		Uygulama 2	Uygulama 3		Uygulama 4
				Ceyhan-1998	TDY	
1. Asemble (perde) 1.Kat, alt uç	V-Z	Mom. (tm)	23.46	17.40	19.75	16.59
		Kes. K. (t)	15.64	11.60	13.16	11.06
2. Asemble (kolon) 1.Kat, alt uç	V-Z	Mom. (tm)	16.13	10.87	12.25	10.95
		Kes. K. (t)	10.76	7.25	8.17	7.30
8. Asemble (L perde) 1.Kat, alt uç	V-Z	Mom. (tm)	1275.73	1021.87	1130.01	1026.09
		Kes. K. (t)	159.16	118.95	132.80	124.31
8. Asemble (L perde) 1.Kat, alt uç	U-Z	Mom. (tm)	634.41	360.56	389.35	391.68
		Kes. K. (t)	116.60	69.35	76.80	72.88
13. Asemble (perde) 1.Kat, alt uç	V-Z	Mom. (tm)	658.17	509.70	577.77	489.52
		Kes. K. (t)	113.64	84.28	95.82	80.36
13. Asemble (perde) 1.Kat, alt uç	U-Z	Mom. (tm)	3.99	4.79	4.10	4.93
		Kes. K. (t)	2.66	3.19	2.73	3.29

## 6. SONUÇLAR

Örnek bir bina üzerinde gerçekleştirilen deprem analizleri, değişik yöntemler ile elde edilen sonuçlar arasında çok önemli farklılıklar bulunabileceğini göstermiştir. Dolayısıyla, binaların projelendirilmesi aşamasında, yapının önem derecesine bağlı

olarak çeşitli yöntemler ile analiz edilmesi ve sonuçların çok dikkatli yorumlanması gerektiği anlaşılmaktadır.

Yukarıda sunulan sayısal uygulamalarda görüleceği gibi, çalışmada verilen formülasyon ve bu formülasyona dayalı olarak hazırlanan bilgisayar programı yardımıyla Türk Deprem Yönetmeliğinde sözü edilen değişik analiz yöntemleri ile çok katlı binaların üç boyutlu dinamik analizleri yapılabilmektedir.

Hazırlanan bilgisayar programı, MS-DOS işletim sistemi ile çalışan bütün kişisel bilgisayarlarda kullanılabilir. Program ve kullanım klavuzu Ç.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümünden ücretsiz olarak temin edilebilir.

## 7. KAYNAKLAR

1. Özmen, G., "Burulma Yapan Çok Katlı Yapıların Yatay Yüklere Göre Hesabı", Teknik Rapor No:13, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1972.
2. Ghali, A., Neville, A.M., "Structural Analysis", London, Chapman and Hall, 1978.
3. Wilson, E.L., Habibullah, A., "SAP90-Structural Analysis Programs", Berkeley, California, Computer & Structures Inc., 1992.
4. Tanrıku, A.K., "Yapıların Üç Boyutlu Yatay Kuvvet ve Deprem Analizi İçin Genel Amaçlı Bir Bilgisayar Programı", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1988.
5. Aktaş, G., "Çok Katlı Yapıların Üç Boyutlu Dinamik Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1998.
6. Clough, R.W., Penzien, J., "Dynamic Of Structures", Tokyo, McGraw Hill, 1982.
7. Bathe, K.J., Wilson, E.L., "Numerical Methods In Finite Element Analysis", New Jersey, Prentice Hall Inc., 1976.
8. "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", 2 Eylül 1997 Tarih ve 23098 Sayılı Resmi Gazete.
9. Kan, C.L., Chopra, A.K., "Coupled Lateral Torsional Response of Buildings to Ground Shaking", Report No: EERC 76-13, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 1976.





## DANIŞMANLIK FİRMALARININ İNŞAAT SEKTÖRÜNDEKİ ETKİNLİKLERİNİN ARTIRILMASINA YÖNELİK ÖNERİLER

M. Emin ÖCAL ve Halil GEREK

Ç.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** *Bu çalışmada, ülkemizde mevcut müşavirlik kuruluşlarının inşaat sektöründeki yeri ve işlevleri saptanarak, bu kuruluşların çağdaş normlar çerçevesinde değerlendirilmesi ve yapılabilecekler konusunda öneriler geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu düşünceden hareketle, mevcut mühendislik ve müşavirlik kuruluşlarımızın bilgi ve görüşlerine başvurmanın uygun olacağı düşünülmektedir bir anket düzenlenmiştir.*

*Ülkemizde inşaat sektörünün çeşitli ve önemli sorunları olduğu bilinmektedir. Bu sorunların çözümü konusunda oluşturulan önerilerde, özellikle son yıllarda, müşavirlik kuruluşlarından sıkça söz edilmektedir. Ancak, mühendislik ve müşavirlik kuruluşlarının, yapı üretiminde, gelişmiş ülkelere benzer işlev üstlenebilmeleri için, insan kaynakları, organizasyon yapısı ve yönetim anlayışları bakımından belirli bir düzeye ulaşmış olmaları gerekmektedir.*

*Ülkemizde bu kuruluşların işlevlerini etkin olarak yapabilmesi için, Müşavir -İdare-Yüklenici üçgeni içinde yetki ve sorumluluklar netleştirilmeli, seçim yapılırken kalite esaslı seçim yöntemi kullanılmalı ve profesyonel sorumluluk sigortası yaygınlaştırılmalıdır.*

## SUGGESTIONS ABOUT PROLIFERATION OF ACTIVITIES OF CONSULTING FIRMS IN CONSTRUCTION SECTOR

**ABSTRACT :** *In this study, determining the place and the functions of existing consulting institutions in construction sector in our country, it has been intended to evaluate these institutions in accordance with modern norms, and to improve suggestions about the things to be done from this point of view. In order to achieve this, it was considered that it would be helpful to apply to the knowledge and opinion of existing engineering and consulting institutions, and an inquiry has been conducted.*

*It is known that construction sector in our country has various and important problems. In the suggestions made about the solutions for these problems, particularly in recent years consulting institutions have frequently been spoken about. However, in order for the engineering and consulting institutions to have function similar to those in developed countries, they should reach a specific level in terms of human resources, organization structure and management understanding.*

*In our country, in order for these institutions to function properly, authorization and responsibility in consultant-client-contractor triangle should be clarified; in the selection process, quality based selection method should be used, and professional responsibility insurance should become wide spread.*

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde yapıların projelendirme ve inşaat aşamalarında önemli hatalar yapılmaktadır. Bu hatalar, büyük ölçüde kaynak israfına neden olmaları yanında, yapıları kullananların can güvenliğini de tehlikeye atmaktadır. Yapıların istenen kalitede yapılmaması büyük ölçüde, projelendirme ve üretimleri sırasında yeterince denetlenememesinden kaynaklanmaktadır. Bunun en önemli nedeni ise mevcut denetim sisteminin yetersiz olmasıdır.

Belirtilen nedenlerle, inşaat sektöründe daha etkin bir denetim sistemini oluşturulması gerektiği çeşitli platformlarda sıkça dile getirilmekte ve çeşitli öneriler sunulmaktadır. Söz konusu tartışmalarda genellikle paylaşılmakta olan yaygın görüş, kamu ve özel sektöre ait inşaatların denetiminin, bu konuda ihtisaslaşmış organizasyonlara verilmesi yönündedir. Nitekim, başta Toplu Konut İdaresi olmak üzere bazı kamu kuruluşları ile çok sayıdaki özel kuruluşlar, inşaatların projelendirme ve denetiminde, bu amaçla kurulmuş Mühendislik ve Müşavirlik firmalarından yararlanmaktadırlar. Bu talebe bağlı olarak, son yıllarda Mühendislik ve Müşavirlik firmalarının sayısı hızla artmaktadır.

Mühendislik ve Müşavirlik firmalarından yararlanılması, ülkemizdeki mevcut denetim sistemine nazaran, yapıların daha kaliteli üretilmesine önemli katkı sağlamaktadır. Ancak, bu kuruluşların, insan kaynakları ve organizasyon yapıları bakımından gerekli donanımına sahip olmamaları halinde beklenen düzeyde etkin olamayacakları da açıktır. Dolayısıyla, bu kuruluşların oluşturulmaları ile ilgili asgari düzeyde de olsa bazı düzenlemelerin yapılması kaçınılmaz görünmektedir.

Bu çalışmada, Mühendislik-Müşavirlik firmalarının inşaat sektöründe verdikleri hizmetler ve bu hizmetlerin sektöre olan katkıları incelenecek, bunların çağdaş düzeyde bir yapıya kavuşturulmaları için sahip olmaları gereken organizasyon yapısı ve insan kaynakları ile ilgili öneri sunulacaktır.

Öncelikle, ülkemizdeki müşavir firma sayıları araştırılmış, bu firmaların çalışma alanları, tecrübe durumları, çalışan sayıları ve beklentileri konusunda bir anket hazırlanmıştır. Türk Müşavir Mühendis Mimarlar Birliği üyelerine ulaşılarak anket uygulanmış ve sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca gelişmiş ülkelerde müşavirlik sisteminin nasıl işlediği konusunda bilgi taraması yapılmış ve bu konuda öneriler sunulmuştur.

Danışman, bir konu hakkında kendisinden tavsiye alınan kişidir. Müşavir ise müşterinin görevlerinin bir kısmını, vereceği yetki derecesinde onun adına yerine getiren kişidir. Yakın anlamlarda olduklarından uygulama da genellikle birbirinin yerine kullanılabilir. Bu çalışmada her iki kelime de kullanılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada müşavirlik firmalarının ülkemizdeki genel durumu hakkında bilgi edinmek amacıyla önce kaynak taraması yapılmış ve bu konuda ülkemizde ve yurtdışında konuyla ilgili kitaplar ve makaleler toplanmıştır. Danışmanlık konusuyla ilgili daha önce yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Müşavirlik firmalarının ülkemizdeki durumunu, kurumsallaşma düzeyini, yurtdışı tecrübelerini gösterir nitelikte hazırlanan bir anket, Türk Müşavir Mühendis Mimarlar

Birliği üyesi 25 adet firmanın yöneticilerine uygulanarak, ülkemizdeki müşavirlik sektörünün profili çıkarılmaya çalışılmış ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Hazırlanan anket, müşavirlik sektörünün Türkiye'deki tek birliği olan Türk Müşavir Mühendis Mimarlar Birliği'nin inşaat sektöründe faaliyet gösteren üyelerine uygulanmıştır. Ankete katılan firmalar farklı büyüklükteki firmalar olduğundan, elde edilen bulguların genelleştirilebilir nitelikte olduğu söylenebilir.

Toplanan anketler bilgisayar yardımıyla değerlendirilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır. Yurtdışındaki durumu incelemek amacıyla internet olanaklarından yararlanılmıştır. Özellikle Uluslararası Müşavir Mühendisler Federasyonu (FIDIC), Türk Müşavir Mühendis Mimarlar Birliği (TMMMB), Avrupa Federasyonu Müşavir Mühendisler Birliği (EFCA) gibi organizasyonların ve bazı firmaların web sayfalarına ulaşılarak bilgi toplanmıştır.

Sonuç olarak danışmanlık hizmetlerinin ülkemizdeki ve bazı gelişmiş ülkelerdeki durumu arasında kıyaslama yapılmış ve söz konusu firmaların uluslararası standartlara ulaşması için yapılması gerekenler konusunda, bu firmalardan alınan cevaplar yardımıyla öneriler sunulmuştur.

### **3. DANIŞMANLIK VE DANIŞMANLIK HİZMETLERİ**

#### **3.1. Teknik Müşavirlik**

Müşavir; bilgi ve uzmanlığını, sermaye olarak kullanan, sorumluluk üstlendiği konuları inceleyip çözümlen, işletme dışından bağımsız kişi ya da kuruluştur.

Türk Müşavir Mühendis Mimarlar Birliğinin tanımına göre (1) "Teknik Müşavir, bilgi ve deneyimi doğrultusunda, doğal veya inşa edilmiş çevre üzerinde teknolojiye dayalı fikirsel hizmet veren kişi ya da kuruluştur. Bu kuruluşların üstlendiği görevleri aşağıdaki başlıklar altında özetlemek mümkündür:

- Planlama/Değerlendirme Çalışmaları
- Zemin Etüdüleri
- Mimarlık-Mühendislik Tasarımı
- İhale Dosyasının Hazırlanması
- İnşaat Sözleşmelerinin Hazırlanması Ve İşverene Mütcahhit Seçiminde Danışmanlık
- İnşaat Yönetimi
- Proje Yönetimi
- İnşaat Kontrollüğü
- İşletmeye Alma Danışmanlığı
- Personelin Teknik Eğitimi

Uluslararası Müşavir-Mühendis Federasyonu (FIDIC) ise Müşaviri, "hizmetleri yapmak üzere iş sahibi tarafından bağımsız mesleki firma olarak görevlendirilen ve adı/unvanı anlaşmada belirtilen taraf ile onun halefleri ve işi/hizmeti izinle devralanlardır" şeklinde tanımlamıştır (2).

Uluslararası Müşavir-Mühendisler Federasyonu (FIDIC), müşavir mühendis, niteliklerini aşağıdaki gibi sıralamaktadır (3):

- a) Bağımsızlık
- b) Mesleki Nitelik
- c) Beceri

Teknik Müşavir tanımının tamamlayıcısı olan ve TMMMB ile FIDIC içinde çok önemli olan "bağımsızlık" ilkesi ise, iki temel konuda zorunlu kılınmıştır, bunlar

**1. Kararlarda Bağımsızlık:** Müşavirin kararları; aldığı eğitim, edindiği bilgi ve deneyime uygun olarak, tamamen tarafsız ve bağımsız olmalıdır.

**2. Finansmanda Bağımsızlık:** Müşavir, üstlendiği müşavirlik hizmetinin karşılığını sadece işvereninden alır, üçüncü kişilerden başka hiçbir biçim ve isim altında maddi çıkar sağlamaz. Müşavirlik firmasının finansmanının kısmen veya tamamen başka kaynaklardan karşılanması, bağımsızlık ilkesine tümüyle aykırıdır.

Borçlar kanununun 355. Maddesindeki eser sözleşmesine göre iki taraf bulunmaktadır. Bunlardan biri müteahhit diğeri ise iş sahibidir. Kısaca yapan ve yaptırandır. FIDIC kökenli sözleşmelerde ise iş sahibi ve müteahhit yanında Mühendis (Engineer-Müşavir Mühendis) denilen, iş sahibine hizmet sözleşmesiyle bağlı üçüncü bir kişi daha rol almaktadır.

Müşavir, iş sahibinin yüklenici ile yaptığı inşaat sözleşmesinden doğan görevlerini, o kişinin vereceği yetki derecesinde ve onun adına yerine getirir. FIDIC. Mühendisi iş sahibi ile yüklenici arasında bir denge unsuru olarak görür. Mühendis, taraflar arasında bir denge, emniyet subabı olarak teknik işlerde ve mali işlerde sözleşmede belirtilen hak, yetki ve görevlerle bazen iş sahibine, bazen tarafsız kişi olarak her iki tarafa hizmet vermeye çalışır (4).

Bağımsız Teknik Müşavirlik, aslında dünyada ve gelişmiş ülke ekonomilerinde yaklaşık yüz yıldır kullanılan ve bir ülke ekonomisi için stratejik önemde bir sektördür. Aynı zamanda Teknik Müşavirlik, son yıllarda yükselen bir değer olan yolsuzluklarla mücadele, ülke kaynaklarının verimli kullanılması, hizmet sektörünün ihracı vb. daha pek çok alanda stratejik öneme sahip bir sektördür.

### 3.2. Uluslararası Müşavirlik Organizasyonları

Merkezi İsviçre'de bulunan Müşavir Mühendisler Uluslararası Federasyonu-FIDIC, 1913 yılında kurulmuş olup, 67 ülkenin ulusal müşavirlik örgütlerini bünyesinde üye olarak bulundurmaktadır. FIDIC bünyesinde; Almanya, Fransa, İngiltere, Amerika, Kanada, İsveç gibi ülkeler yer almaktadır. Bugün dünya teknik müşavirlik kurallarını belirleyen ve Dünya Bankası, Kalkınma Bankaları gibi uluslararası finans kuruluşlarını yönlendiren tek ve en önemli uluslararası mühendislik örgütüdür.

Bir diğer müşavirlik organizasyonu da 1992 yılında kurulmuş olan Avrupa Müşavir Mühendislik Birlikleri Federasyonu-EFCA'dır. Mühendislik müşavirlik hizmetlerinin daha ileriye götürülmesi için çalışmaktadır. Halen EFCA kapsamında 23 ulusal birlik bulunmaktadır. Bunlardan 21'i Avrupa Birliğine dahil, 15 Avrupa Birliği üyesi ülke dışında Polonya, İsviçre, Slovenya ve Macaristan ile Çek Cumhuriyeti de EFCA üyesidir. EFCA yaklaşık olarak 8500 firma ve 200 000 personeli temsil etmektedir.

### 3.3. Teknik Müşavirliğin Ülke Ekonomisindeki Yeri ve Önemi

Uluslararası Müşavir Mühendisler Federasyonu (FIDIC) araştırmaları, bir ülkedeki mühendislik firması sayısı, ciroları ve sermayeleri ile ülkenin gelişmişlik göstergeleriyle arasında doğrudan bir ilişki olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Çizelge 1'de Türkiye ve bazı gelişmiş ülkelerin nüfusları, FIDIC üyesi Müşavir firma sayısı, bu firmalarda çalışan personel sayıları, ülkelerin Gayri Safi Milli Hasılları ve Gayri Safi Milli Hasılların yatırıma ayrılan miktarları görülmektedir (3).

**Çizelge 1. Gelişmiş Ülkelerdeki Müşavir Sayıları ve Gayri Safi Milli Hasıla ilişkisi**

Ülke	Nüfus (Milyon)	Firma Sayısı	Personel Sayısı	Gayri Safi Milli Hasıla (Milyar \$)	Yatırım Miktarı (Milyar \$)
TÜRKİYE	65	167	983	160	40
ABD	270	5 759	282 173	8230,9	1448,64
AVUSTURALYA	19	365	10 700	367,3	85,7
DANİMARKA	5,3	352	8 942	157	32
KANADA	30,3	588	21 080	558,7	-

Gelişmiş ülkelerde müşavirlik, ülke ekonomisinde önemli bir yer tutmaktadır. Örneğin Kanada'da müşavirlik yaklaşık 6,4 milyar \$'lık bir endüstridir. Kanada müşavir mühendisler birliğine üye 600 firmada yaklaşık 21000 personel çalışmaktadır. 1999 yılında yapılan bir anket çalışmasına göre Kanada'daki firmaların personel sayısına göre dağılımı Çizelge 2'de görülmektedir.

**Çizelge 2. Kanada Firmalarının Personel Dağılımı**

Firmada Çalışan Personel sayısı	Toplam Firma Sayısı İçindeki Düzeyi (%)
1-5	17
6-10	17
11-20	21
21-50	19
51-100	10
101-200	6
201-500	7
500'den fazla	4

### 3.4. Profesyonel Sorumluluk Sigortası

Profesyonel Sorumluluk Sigortası ile sigorta edilen müşavir, ihmal niteliği taşıyan fiillerinden, yani görevli olduğu herhangi bir müşterisine veya tarafa makul ölçüler içinde gerekli beceri ve özeni göstermemesinden ve bunun sonucunda saptanabilir nitelikte zarar ziyana uğrayan iddia talep sahiplerinin bu iddia ve taleplerinden doğacak hukuki masraflar ve tazminatlara karşı korunmaktadır (5).

Müşavirin değişen konumu, kendisinden istenen bu beklentiye olumlu şekilde yanıt verebilmesi, yetkin olabilmesi, yetkilere sahip olup sorumluluğu üstlenebilmesi için, belli bir güvence sistemi tarafından hem kendisinin korunması, hem de hizmet verdiği kesimlerin bu güvence şemsiyesinden yararlanması gerekmektedir. Bunun klasik teminat yöntemleriyle uygulanması sıkıntılı olmaktadır. Çünkü bu tür güvence

sistemleri genelde yapılan bir işin belli bir yüzdesi üzerine inşa edilmektedir. Ancak müşavirin üstlendiği görevler incelendiğinde, aldığı sorumluluğun ve kullandığı yetkinin çok daha büyük parasal sonuçlara yol açtığını görülmektedir. Bu iki yönlü bir güvenceyi gerektirmektedir. Biri; bu işlevi yüklenen müşavirin bir güvenceye alınması, yani kendinin, kendi olanaklarının üzerinde bir güvenceyi verebilmesinin olanağı sağlanarak önünün açılması, ikincisi de, bu hizmeti kendisinden alan işverenin yeterli güvence sistemine kavuşturulması, yani müşterisine bu güvenceyi verebilmesi (6). Birkaç hata yapan bir müşavirlik firması, bir süre sonra sigorta şirketlerini zarara soktuğu için sigorta kapsamına alınmayacak ve bu onun meslek yaşantısının sonu olacaktır.

Mesleki sorumluluk sigortası, yurt dışında %1-%4 arasında değişmektedir. Yani toplam hizmet bedelinin % 4'ü civarında başlıyor ve bu % 1'e kadar düşebiliyor. Bu noktada müşavirin performansı geçmiş deneyimleri veya herhangi bir soruna maruz kalmamış olması bu oranı düşürmektedir.

### 3.5. Uygun Müşavirin Seçimi

Müşavir seçimi; bir iş sahibi veya müşterinin vereceği en önemli kararlardan birisidir. Herhangi bir projenin başarısı, çoğu zaman deneyimli bir müşavir firmanın sağlanmasına bağlıdır. Müşavir seçimi için Çift Zarf Sistemi, Ücret Ağırlıklı Sistem, Bütçe Yöntemi, Maliyet Esaslı Seçim, Kalite Esaslı Seçim gibi farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden Kalite Esaslı Seçim dışında diğer metotlarda ücret bir kriter olarak, bilgi ve becerinin önüne geçebilir. Ancak ücret, seçim işlemleri içerisinde belirleyici bir etken olarak kullanılırsa; profesyonel hizmetlerin maliyetindeki tasarrufa göre, nihai proje sonuçları yönünden çok daha önemli olabilecek diğer faktörler geri planda kalabilir. Ücret seçim sistemi içine bir faktör olarak dahil edilince, bu seçim sistemi kalite yerine en düşük ücrete doğru yönelecektir. Bundan dolayı dünya çapında, Asya Kalkınma Bankası, Dünya Bankası ve FIDIC gibi saygın mühendislik birlikleri ve kredi kullandıran kuruluşlar Kalite Esaslı Seçim yöntemini tavsiye etmekte ve/veya uygulamaktadır.

#### 3.5.1. Kalite Esaslı Seçim

Bu yöntemle göre müşteri, müşavirini; mesleki yeterliliğine, yönetim yeteneğine, sahip olduğu kaynaklara, profesyonel bağımsızlığına, ücret oluşumunun adil niteliğine, mesleki dürüstlüğüne ve kalite garantisi sistemine bakarak seçer. Eğer müşavir seçiminde ilk kriter fiyat olursa, bu diğer faktörlerin değerlendirilmesine de hakim olacaktır (7).

Bu yöntemin işlem adımları aşağıda özellenmiştir.

##### 3.5.1.1. İşin Tanımı

Seçimle ilgili olarak hazırlanacak iş tanımı taslağında, projenin fiziksel büyüklüğü ile kaynak gerekleri kesinlikle belirtilmiş olmalıdır. Proje kapsamında istenilen hizmetler, aşağıda belirtilen şu başlıklar altında tanımlanıp açıklanabilir:

- Uzmanlık alanları ve hizmet kategorileri
- Projeyi tanımlayan bir "görev açıklaması"

- Zaman programı
- Coğrafi konum, lisan, lojistik özellikler, tahsisatlar, görev süresi gibi bölgesel faktörler
- Önerilen sözleşme tipi
- Projenin bütçesi

### **3.5.1.2. Ön Yeterlilik**

Proje için uygun özelliklere sahip görünen müşavir firmalardan oluşan bir liste hazırlanır. Bu liste ön-yeterlilik listesi veya ön liste olarak adlandırılır.

### **3.5.1.3. Nihai Liste**

Aşağıda belirtilen hususları da dikkate alarak, proje için uygun nitelikleri taşıdıkları anlaşılan en çok 3-5 müşavirlik firmasını içeren nihai liste düzenlenir. Nihai liste oluşturulurken müşavirlik firmaları yönünden dikkate alınacak hususlar:

- Benzer konularda deneyimi
- İşi yapmaya hazır ve müsait olma durumu
- İşi tamamlayabilme kapasitesi
- Destek kaynaklara ulaşılabilirliği
- Müşterilere yaptığı daha önceki sözleşmelerine ilişkin performansı

### **3.5.1.4. Yerel Müşavirlerle İlişkisi**

- Merkez bürosunun işyerine uzaklığı
- İstenen güvenlik düzeyi

### **3.5.1.5. Teklif Çağrısı**

Müşteri bu aşamada, üzerinde karşılıklı olarak anlaşmaya yönelik görüşme yapmak üzere en uygun nitelikli müşaviri davet eder.

### **3.5.1.6. Tekliflerin Değerlendirilmesi**

Tekliflerin alınmasından sonra, müşteri, sistematik olarak her bir teklifi, teklif davetinde ana hatları ile belirtilmiş olan seçim esaslarına göre değerlendirecek ve tekliflerin sıralamasını yapacaktır. Aşağıdaki değerlendirme tablosu, nihai liste kapsamına alınmış firmaların değerlendirme sıralama işlemlerinin yapılmasında yararlı bir rehber niteliği taşımaktadır.

Her yeterlilik kriteri ile ilgili azami puan, bu kriterin projenin başarısı yönünden nihai önemini belirtir.

Bu süreç uygulanırken:

- Bir seçim komitesinin oluşturulması
- Her bir kriter için bir puan veya ağırlık katsayısının saptanması
- Seçim komitesinin her birisinin firmaları ayrı ayrı değerlendirmesi
- Ayrı ayrı puan cetvellerinin karşılaştırılması

Çizelge 3. Nihai Liste Kapsamındaki Firmaların Değerlendirilmesi

Yeterlik Kriterleri	Azami Puan	Verilen Puanlar
Firmanın benzer konularda deneyimi		
Kilit personelin deneyimleri (durumlarının elverişliliği)		
Metodoloji		
Seçenekler üzerinde durulması		
Yenilikler ve/veya Araştırma ve Geliştirme		
Proje performans ayrıntıları		
Ömür süresine göre maliyet hesaplama becerisi		
Yönetim özellikleri		
Önemli destek ekipman ve sistemleri		
Kalite garantisi sistemi		
Verimlilik kaynakları tutumlu kullanma		
Projenin kamuya etkileri konusunda duyarlılık		
<b>Toplam Puan</b>		

### 3.5.1.7. Müşavirin seçimi ve ücret ile ilgili görüşmeler

Sözleşme ve mevzuat gereklerini, iş programlarını, ödeme şart ve düzenlemelerini ve taraflar arası risk paylaşımını da dikkate alan ve üzerinde karşılıklı anlaşmaya varılan hizmet kapsamına dayanarak ücret yapısı üzerinde görüşmek üzere en fazla puanı alan firma davet edilir.

Eğer en fazla puanı alan firma ile anlaşmaya varılamazsa, görüşmeler kesilir ve sıradaki ikinci firma ile görüşmelere başlanır. Böylece, anlaşmaya varılıncaya kadar listede aşağıya doğru inilir.

### 3.6. Türkiye’de Müşavirlik Hizmetleri

Uluslararası Müşavir Mühendisler Federasyonu (FIDIC) tarafından 1998 yılında düzenlenen bir konferans, müşavir mühendisleri bir araya getirmiştir. Bu konferansta ortaya çıkan bir gerçek Türkiye’deki büyük ölçekli kabul edilen müşavirlik örgütlenmelerinin, dünya ölçeklerine göre küçük ve orta sınıfta kalmasıdır. Türkiye’deki ekonomik trendler göz önüne alındığında, müşavir mühendislik firmalarının büyümeye çalışmasının gerçekten zor olduğu anlaşılmaktadır (8).

Milli Eğitim Bakanlığı, müşavirlik hizmetlerini ilk kez, 4306 sayılı kanun, diğer bir deyişle Sekiz Yıllık Kesintisiz İlköğretim kanunuyla kullanmıştır. Uygulanan bu yeni sistemin sonuçları incelendiğinde başarılı olduğu görülmektedir. İhale edilen işlerin % 90’ı zamanında teslim alınmıştır. 4306’la gelen ihale usullerinde, işin ne zaman biteceğini, kaç mal olacağı biliniyordu. Müşavir firmalarla birlikte yaptıkları iş planlarına göre ödeme planları düzenlendi. Ödemeler de zamanında yapıldığı için, bugüne kadar herhangi bir problemle karşılaşılmanmıştır.



**Çizelge 4. Firmalarda Çalışan Teknik Personel Sayıları**

No	Firma Adı	İnş. Y.Müh.	Y.Mim.	Mak. Y.Müh.	Elk. Y.Müh.	İnş.Müh.	Mimar	Elk. Müh.	Mak. Müh.	Tekniker	Teknisyen	Sürveyan	Dr.Müh	Diğer Tek. Personel	Diğer Personel	Top.Çalışan Sayısı
1	A	2	1	1	2	1	1	1	1	1						11
2	B	28	1	1	2	33	2	2	2	4	6	5		17	31	134
3	C	20		2	5	21	1	4	4		18		1	13	21	110
4	D					1	1			1					2	5
5	E	2	3			8	12	1	3	3	3				20	55
6	F	1				6	2	1	1	1					5	17
7	G	2				2					5				1	10
8	H	4									3				2	9
9	I	3		3	1	3	5	2	1	1				8	14	41
10	J	2								1		2			2	7
11	K					10	3			12					10	35
12	L					2				1	4				1	8
13	M	5							1	1		1			3	11
14	N					3				1	1					5
15	O	1						1								2
16	Ö	4	1		1	1		1	1	2	2					13
17	P				1	6					5			3		15
18	R					2	1				3				2	8
19	S	3				2				1	1			5	24	36
20	Ş	2				5	3			2	5				43	60
21	T	5	2	1	1	12	8	2	5	4	10	12		1	15	78
22	U	17				62	4	3	1	20	20	20	1	13	39	200
23	V	1				5				3				1	2	12
24	Y	4		2		4	3	3	8	5	2		2	21	48	102
25	Z	8	2	1	4	13	6	2	4	10	12			1		63

Toplu Konut İdaresi, çeşitli aşamalarda ihtiyaç duyacağı teknik müşavirlik hizmetlerini, genellikle tek bir müşavir eliyle sağlamayı yeğlemiştir, ancak, özel bilgi ve beceri gerektiren konularda, müşavire dışarıdan hizmet alma şartı ve seçeneği sunmuştur. Toplu Konut İdaresinin tüm projelerinde teknik müşavir kullanılmakla beraber, müşavirin projeye dahil olma noktalarında da farklılıklar oluşmuştur. Bazen müşavirlik hizmetleri projenin en başından itibaren alınırken, bazen yüklenici ihalelerinin sonuçlanması, yer tesliminin yapılmasından sonra müşavir devreye girmektedir.

#### 4. ANKET UYGULAMASI

Bu çalışmada doğrudan mevcut mühendislik müşavirlik kuruluşlarımızdan bilgi toplanmasının uygun olacağı düşünülerek, bu kuruluşlar hakkında bilgi toplama aracı olarak anket düzenlenmiştir. Hazırlanan anket 33 sorudan oluşmakta olup, sorular, açık sorular, çoktan seçmeli sorular ve derecelmeli sorular olarak üç değişik tipte

düzenlenmiştir. Anketteki sorular, firmanın teknik personel sayısı, bugüne kadarki yaptığı işlerin yaklaşık sayısı, faaliyet alanları, toplam personel sayıları, üye oldukları kuruluşlar, başka firmalarla olan ortak işleri, yurtdışı tecrübeleri, kalite güvence belgesine sahiplik durumu ve Avrupa Birliği standartlarına hazırlık durumu gibi, firmaların genel profilini ortaya çıkaran sorulardır. Bu anketler toplam 67 firmaya götürülmüş, bunlardan 25 adedinden cevap gelmiştir. Anket alınan firmaların sorulara vermiş oldukları cevaplar aşağıda gösterilmiştir.

**Çizelge 5. Firmaların faaliyet alanları**

Faaliyet Alanı	Firma Sayısı
Tasarım	18
Teknik Eğitim	1
Fizibilite Çalışmaları	13
İnsan Kaynakları	-
Proje Yönetimi	12
Yönetim Danışmanlığı	4
İnşaat Kontrollüğü	15
Diğer	4

**Çizelge 6. Hukuki ve ekonomik olarak Avrupa Birliği standartlarına hazır mısınız?**

Seçenekler	Toplam İçerisindeki Payı	
	Sayı	%
Evet	11	44
Çalışmalar devam ediyor	7	28
Hayır	5	20
Cevapsız	2	8
Toplam	25	100

**Çizelge 7. Danışmanlık düzeyinde akademik destek almıyor mu?**

Seçenekler	Toplam İçerisindeki Payı	
	Sayı	%
Evet	17	68
Hayır	6	24
Cevapsız	2	8
Toplam	25	100

**Çizelge 8.** Yurt dışında yapılmış işler var mıdır?

Seçenekler	Toplam İçerisindeki Payı	
	Sayı	%
Evet	8	32
Hayır	17	68
Toplam	25	100

**Çizelge 9.** Kalite Güvence Belgesi var mı?

Seçenekler	Toplam İçerisindeki Payı	
	Sayı	%
Var	1	4
Çalışmalar devam ediyor	9	36
Yok	15	60
Toplam	25	100

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizde müşavirliğin, eğitimi ve tarifi olmadığından, her yeni kurulan mühendislik mimarlık tasarım firmalarının, şirket unvanının sonunda müşavirlik sıfatını da görmekteyiz. Bu nedenle müşavirlik firmaları, bir kurum tarafından, hizmet içi eğitim verilip belgelendirilirse, daha nitelikli müşavirler ortaya çıkar. Ayrıca oluşan bilgi birikimi de bu böyle bir kurum yardımıyla arşivlenebilir.

Devlet İhale Kanunu'nda teknik müşavirliğin tanımı ayrıntılı olarak yapılmalı, müşavirin yetki ve sorumluluklarının neler olduğu belirlenmelidir. Müşavir-İdare-Yüklenici üçgeni içinde görev ve sorumluluklar netleştirilmelidir.

Gelişmiş ülkelerde müşavirlik firmaları, devletlerinin kredi imkanlarını yurtdışına götürmekte, bu yolla iş alabilmektedir. Ülkemizdeki müşavirlik firmalarına da yurtdışındaki işlerde, müşavirlik projeleri için kredi açılmalı, diğer sektörlerde tanınan teşvik tedbirleri teknik müşavirlik sektörüne de tanınmalıdır. Ayrıca, yıllara sari işlerde, müteahhit firmalara sağlanan vergi avantajları müşavirlere de sağlanmalıdır.

Bayındırlık bakanlığı mevzuatında başta sözleşme tasarısı ve genel şartname olmak üzere, FIDIC şartnameleri doğrultusunda kapsamlı değişiklikler yapılmalıdır. Teknik müşavirlik hizmetleri için kullanılacak sigortanın FIDIC tavsiyeleri doğrultusunda, ABD, Kanada, Almanya, İngiltere gibi gelişmiş ülkelerde uygulanmakta olan profesyonel sorumluluk sigortası kullanılmalıdır.

Müşavirlik ihalelerinde, Maliyet Esaslı seçim yerine, Kalite Esaslı seçim yöntemi kullanılmalıdır. Böylece yetersiz firmalar kendilerini geliştirmek zorunda kalacaklardır.

## 6. KAYNAKLAR

1. TMMMB, "Teknik Müşavir ve Teknik Müşavirlik Hizmetleri, Yapıda Denetim ve Profesyonel Sorumluluk Sigortası Paneli", Ankara, 1998.

2. FIDIC Yayınları, "İşveren Müşavir Arasında Yapılacak Tip Hizmet Sözleşmesi", 1999.
3. Tanalı,Z, "Müşavir Mühendislik/Mimarlık Hizmetleri ve Fidic", Türk Müşavir Mühendis Mimarlar Birliği Yayınları, 1/1989, s. 6, Ankara, 1989.
4. Özturan,İ., "Uluslararası İnşaat İhalelerinde "FIDIC" Model Sözleşmeleri Karşısında Bayındırlık İşleri Genel Şartnamesi Kökenli Sözleşmeler Nasıl Yeterli Hale Getirilebilir", İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler III. Teknik Kongre, Ankara, 879-887,15-16 Eylül 1997.
5. Griffiths,M., "Profesyonel Sorumluluk Sigortası, Yapıda Denetim ve Profesyonel Sorumluluk Sigortası Paneli", Ankara, 1998.
6. Hicks,T.G., Mueller,S.F., "Standart Handbook of Consulting Engineering Practice", Mc Graw Hill Publications, pp.221, 1996.
7. Aytemiz,B., "The Integration of Consulting Services to Mass Housing Production", METU The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 1996.
8. Doğançay,H., "Müşavir Mühendisler Geleceğe Hazırlanıyor", Türk Müşavir Mühendis Mimarlar Birliği Yayınları, 1/199, s. 4, Ankara, 1999.

## SEYHAN NEHRİ ÜZERİNDEKİ SU YAPILARINDAN KAYNAKLANAN SU YÜZÜ PROFİLLERİNİN MODELLENMESİ

**İsmail KAYA**

*DSİ, 6. Bölge Müdürlüğü, Adana/Türkiye*

**Recep YURTAL**

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

**Galip SEÇKİN**

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

**ÖZET :** *Bu çalışmada, Seyhan Nehrinin Adana ili şehir merkezindeki Seyhan Regülatörü ile Şehir İçi Kabartma Yapısı arasında bulunan çeşitli tipteki su yapılarının (Seyhan Regülatörü de dahil) meydana getirdiği kabarmalar ile su yüzü profili hesaplamaları incelenmiş ve nehir analizi yapılmıştır. Çalışma kapsamında, Enerji Yöntemi'nin kullanıldığı HEC-RAS bilgisayar paket programı kullanılarak su yüzü profili hesaplamaları yapılmıştır. Sonuçlar su yapılarından dolayı oluşan kabarma miktarının 1m ye kadar yükselebildiğini göstermiştir.*

### MODELING OF THE WATER SURFACE PROFILES CAUSED BY WATER STRUCTURES ON SEYHAN RIVER

**ABSTRACT :** *In this study, backwater and water surface profiles caused by different types of water structures (including Seyhan Diversion Weir) between Seyhan Diversion Weir and The City Weir Structure on Seyhan River in Adana are examined and analysed. HEC-RAS computer package program including Energy Method is used for water surface profile computations. The results showed that backwater increased up to 1 m due to water structures.*

## 1. GİRİŞ

Şiddetli yağışlardan veya ani kar erimelerinden sonra hızla yükselen sular akarsu yatağını çevreleyen düz araziye taşar. Doğal akarsular üzerinde inşa edilen köprüler, genellikle akarsuyun normal zamanlarda su taşıdığı kanal kısmını köprü açıklığı ile örter, nadiren su taşıyan taşkın yatakları kısmını ise yaklaşım seddeleri ile geçerler. Taşkın esnasında, köprü yaklaşım seddeleri köprünün bulunduğu kesitte akarsu kesitini daraltır ve sel debilerinin bu daralmış kesite daralarak girmesine, köprüden çıktıktan sonra da normal akarsu yatağına açılmasına neden olurlar. Bundan dolayı taşkın durumundaki bir doğal akarsu akımı köprü ile daraltılmış kesitinde, köprü bulunmayan kesite göre daha fazla enerji kayıplarına maruz kalır. Bu fazladan enerji kayıplarını karşılayabilmek için köprü kesitinde, köprü açıklığı kadar menbada kalan kesitte, akım derinliği bir miktar artar.

Seyhan Nehrinin Adana ili şehir merkezindeki 6 km lik kısmında birçok su yapısı mevcuttur. Bunlar; Seyhan Regülatörü, Taşköprü, Girne Köprüsü ve Demiryolu Köprüsü'dür. Seyhan Nehri uzun yıllar boyunca aşırı yağışlar ve kar erimelerinden dolayı taşkınlara sebep olmuştur. Bu taşkınlar hakkında aşağıda özet bir bilgi verilmektedir.

Taşkın büyüklüklerinin tahmini ve taşkın durumunda su yapılarından kaynaklanacak kabarmaların ve su yüzü profillerinin hesabı taşkınlardan korunma ve planlama açısından oldukça önemlidir. Bu çalışma taşkın durumunda Seyhan Nehri'nin Adana İli Şehir Merkezindeki 6 km lik kısmında su yüzü profillerinin tahmini üzerinedir. Su yüzü profil hesapları için dünyada yaygın bir şekilde kullanılan HEC-RAS Paket programı kullanılmıştır (1-3).

## 2. SEYHAN HAVZASINDA MEYDANA GELEN TARİHİ TAŞKINLAR

D.S.İ. Genel Müdürlüğü'nde Seyhan Nehri üzerindeki taşkın envanteri ile ilgili çalışmalar 1955 yılında başlamış ve günümüze kadar devam etmiştir. Eldeki imkanlar oranında daha önceki taşkınlar içinde geriye doğru 20 yıllık bir araştırma yapılmıştır. Ancak 1935-1945 yılları arasındaki taşkınlar hakkında bilgilerimiz yeterli olmaktan uzaktır. 1935-1945 yılları arasındaki taşkınlar için gazetelerin koleksiyonları taranmış ve ilgili tüm haberler çıkarılmıştır (4). Bu taşkınlardan bazıları şunlardır: **5 Aralık 1937 Taşkını:** Seyhan Nehrindeki en yüksek debinin 2550 m<sup>3</sup>/s olduğu taşkında 45000 hektar arazi ile 15 köy sular altında kalmıştır. **9 Kasım 1947 Taşkını:** Bu taşkında, Adana'nın kenar mahalleleri ile Yüreğir Ovası sular altında kalmış ve sular 50000 dönüm araziye kaplayarak 11 kişinin ölümüne sebep olmuştur. **8-22 Şubat 1948 Taşkını:** 7 Şubat 1948 gününden itibaren 20 Şubat' a kadar devam eden şiddetli yağışlar Seyhan Nehri'nin taşmasına sebep olarak büyük zararlar meydana getirmiştir. Şiddetli yağışların sebep olduğu taşkın suları Adana şehrinin sokaklarını kaplamıştır. Hıdırlı seddelerinin yarılması ile sular Seyhan ovasına yayıldığından şehrin daha fazla zarar görmesi kendiliğinden önlenmiştir. Bu dönemde Adana'da 65.5 mm yağış gözlenmiştir. 70.000 hektar arazi sular altında kalmış, 115 köyü su basmış, 170 ev yıkılmış ve 26 kişi ölmüştür. **12-17 Mayıs 1950 Taşkını:** Seyhan Nehrinin taşması sonucu Adana sokakları ile Çukurova yer yer sular altında kalmış, zirai mahsul büyük ölçüde zarar görmüş ve bir kişi ölmüştür. Bu dönemde Adana'da 41.7 mm yağış gözlenmiştir. **2 Aralık 1957 Taşkını:** 30 Kasım günü başlayarak 7 Aralık' a kadar devam eden şiddetli ve sürekli

yağışlar, özellikle 2 Aralık günü büyük bir artış göstermiş ve Adana'da 102.5 mm'ye ulaşmıştır. Bu şiddetli yağışlar kısa bir süre içerisinde akışa geçerek aynı günde 3600 m<sup>3</sup>/s ' lik bir debiye ulaşmış ve Seyhan Nehri'nin taşmasına sebep olmuştur. Taşkın son 50 yılın en büyük taşkını olmasına rağmen, baraj ile kuşaklama kanalı ve seddeler tamamlandığı için zararları önemli ölçüde az olmuştur. Ancak seddeler arasında 5000 hektar, kuşaklama kanalında 2000 hektar arazi ile Çukurova'nın bir kısım yerleri olmak üzere toplam 20000 hektar arazi sular altında kalmış ve maddi zarar meydana gelmiştir.

**25 Aralık 1968 – 2 Ocak 1969 Taşkını:** Adana ovasında ve genel olarak Seyhan havzasında 24-29 Aralık 1968 günleri sürekli ve etkili yağışlar görülmüştür. Bu süre içerisinde Adana'da 26 Aralık 1968 tarihinde 110.1 mm yağış gözlenmiştir (5). Yedek dolu savaktan 1.31 m yüksekliğinde 823 m<sup>3</sup>/s debi akmış ve 26 Aralık 1968 günü baraj gölüne 4894 m<sup>3</sup>/s akım girmiştir. Taşkın suları sağ ve sol sahil sulama şebekeleri, Adana'nın merkez ilçe ve köyleri ile bir kısım mahallelerini ve Karataş ilçesine bağlı bazı köyleri etkisi altına almış ve toplam 255.000 dekar arazi sular altında kalmış ve 28.907.544 TL maddi hasar meydana gelmiştir.

**27 Mart-6 Nisan 1980 Taşkını:** Mart ayının son haftasında özellikle 26-27 Mart 1980 günleri meydana gelen şiddetli yağışlar ve mevsim ortalamasının üzerine çıkan sıcakların havzadaki karın erimesine neden olması ile 27 Mart 1980' den itibaren Seyhan Barajı'ndaki su seviyesinde artış başlamıştır. 28 Mart 1980 günü saat 9<sup>00</sup> da pik sarfiyat 6000 m<sup>3</sup>/s civarında hesap edilmiştir (6). Taşkın sonucu Seyhan sağ ve sol sahil seddeleri çeşitli yerlerden yırtılmış ve ovaya su yayılmıştır. Toplam 47.000 hektar arazi sular altında kalmış ve ekili olan arazi zarar görmüştür. Adana merkezde 25 mahalle ve 21 köyde 668 konut ve 4 işyeri, Karataş ilçesinde 26 köyde 500 konut, 5 işyeri ve bir cami zarar görmüştür. Ayrıca Adana Belediyesi kanalizasyon şebekesi taşkın nedeniyle ters yönde çalışması sonucu bazı mahallelerde evlerin alt katlarını su basmıştır. Adana – Ankara Karayolu Pozantı ilçesi civarında hasar görmüş bir köprü yıkılmış ve yol beş gün trafiğe kapalı kalmıştır. Yine Adana Orman Başmüdürlüğü'ne ait tomruklardan 10.000 m<sup>3</sup>'ü sele kapılarak kaybolmuştur. Alınan önlemler ve Sıkıyönetim Komutanlığı'nın personel ve helikopter yardımı ile can kaybı önlenmiştir. Sadece tomruk toplarken vatandaşın biri suyu düşmüş ve boğularak ölmüştür.

**28 Mart 1980 Taşkını:** Taşkın 28 Mart 1980 günü başlamış ve 3 Nisan 1980 tarihine kadar devam etmiştir. Feke ilçe merkezinde Asmaca Çayı ve Kelekeçi Deresi taşkına neden olmuştur. Taşkında 123 ev ve işyeri zarar görmüş ve Asmaca Çayı üzerinde bulunan iki köprü yıkılmıştır.

**17 Haziran 1990 Taşkını:** 17 Haziran 1990 tarihindeki şiddetli sağanak yağış sonucu Sarıçam Deresi taşkına neden olmuştur. Dere yatağı üzerindeki taşkın izlerinden yararlanarak taşkın pik debisi 426,35 m<sup>3</sup>/s olarak bulunmuştur. Taşkında 286 konut zarar görmüş, 9 adet büyükbaş ve 112 adet küçükbaş hayvan telef olmuştur (7).

### 3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Önceki çalışmalar iki grupta incelenmiştir. Birincisi, ülkemizde HEC-RAS bilgisayar paket programı kullanılarak yapılan çalışmalar, ikincisi, Seyhan Nehri Adana şehir içi kısmında su yüzü profilleri hesaplanarak yapılan tasarım çalışmalarıdır.

### 3.1. HEC-RAS Bilgisayar Paket Programı İle Yapılan Çalışmalar

Yazıcılar (8), HEC-RAS bilgisayar programını kullanarak Bartın Nehri üzerinde taşkın zararlarının önlenmesi amacı ile bir çalışma yapmış ve Bartın Nehri ile ilgili çeşitli çözüm önerileri sunmuştur. Bu çalışma sonucunda köprülerin, su yüzü profiline etkisinin beklenildiği kadar yüksek olmadığı sonucuna varılmıştır.

Seçkin ve ark. (9) tarafından, dikdörtgen ayaklara sahip bir köprü yapısı etrafındaki bir boyutlu akım analizi için HEC-RAS (1997) ve ISIS (1997) bilgisayar programları kullanılmış ve bileşik kesite sahip deneysel bir düzenek üzerinde elde edilen bulgularla karşılaştırılmıştır. HEC, WSPRO, USBPR ve ARCH BRIDGE yöntemleri ile çözüm yapılan bu bilgisayar programları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılarak sonuçlar irdelenmiştir. Çalışma, kritik akım için deneysel köprü modeline dayanmaktadır. Sonuç olarak, HEC-RAS paket programı içerisinde yer alan HEC (Enerji) yönteminin deneysel olarak ölçülen kabarma yüksekliğini yaklaşık olarak hesaplayabildiği görülmüştür. USBPR yöntemi ölçülen değerlerden çok daha büyük, ARCH BRIDGE yöntemi daha küçük, WSPRO yöntemi ise oldukça büyük değerler vermiştir.

### 3.2. Seyhan Nehri Adana Şehir İçi Kısımında Yapılan Çalışmalar

Seyhan Nehri Adana şehir içi geçişi ile ilgili en kapsamlı çalışma DSİ 6. Bölge Müdürlüğü tarafından yapılmış ve Seyhan Nehri Şehir İçi Düzenleme Projesi Yapırlık Raporu (10) adı altında yayımlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında mevcut Seyhan Regülatörünün mansabında yeni bir regülatör (Seyhan Nehri Şehir İçi Kabartma Yapısı) tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Bu iki regülatör arasında kalan bölümünde, taşkın piki esas alınarak seddeler ve istinat duvarları projeleri ve imatları yapılmış ve nehir yatağı yeniden tanzim edilmiştir. Bu çalışmada su yüzü profilleri Standart Adım Yöntemi ile hesaplanmış ve projelendirme bu esaslara göre yapılmıştır. Seyhan Nehri üzerinde bulunan köprülerin (Demir Yolu Köprüsü, GİRNE Köprüsü ve Taş Köprü) meydana getirdiği kabarma miktarları, önceki yıllarda taşkın esnasında ölçülen debi kot değerlerinden alınmıştır. Köprülerde bulunan kabarma miktarlarının kesitlere etkisi de yeniden hesaplanarak su yüzü profilleri oluşturulmuştur.

Köprü plan ve enkesitleri (Demir Yolu Köprüsü, GİRNE Köprüsü ve Taş Köprü) ilgili kuruluşlardan temin edilemediğinden, bu köprülerin plan ve enkesitleri, DSİ 6. Bölge Müdürlüğü tarafından röleve ve plankote alınmak suretiyle hazırlanmıştır. Ayrıca, Seyhan Nehri üzerinde 16 noktada akarsu enkesiti çıkarılmıştır (11-13) (Şekil 1). Bu bilgiler temin edildikten sonra sağ ve sol sahil istinat duvarları ile Seyhan Nehri Şehir İçi Kabartma Yapısı projeleri hazırlanmış ve tatbikata geçilmiştir. Ayrıca, mevcut olan sağ ve sol sahil seddeleri de yükseltilmiştir. Bu imalatlar bittikten sonra Seyhan Nehrinin kesitleri de yeniden düzenlenmiştir. Bütün bu çalışmalar 1994 (14) yılında tamamlanmıştır.

### 4. HEC-RAS Enerji Yöntemi

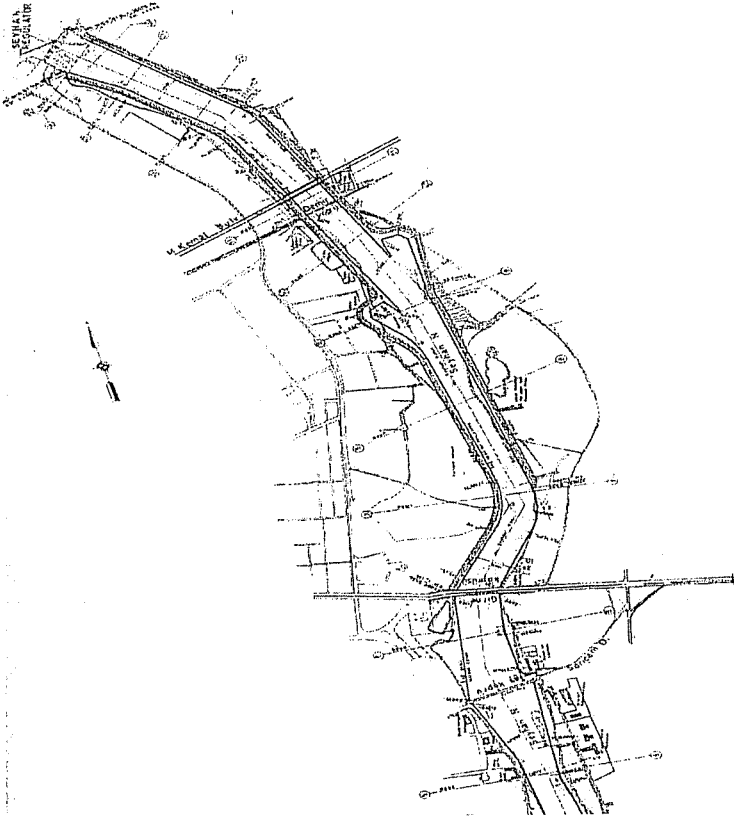
U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center (HEC) tarafından geliştirilen HEC-RAS bilgisayar paket programı (1-3) su yapılarından dolayı oluşan su yüzü profil hesabı için Enerji Yöntemi, Momentum Yöntemi, Yarnell Yöntemi (sadece köprü geçişleri için) ve WSPRO Yöntemi'ni (sadece köprü geçişleri için) kullanmaktadır. Bu çalışmada sadece Enerji Yöntemi tercih edilmektedir. Çünkü bu



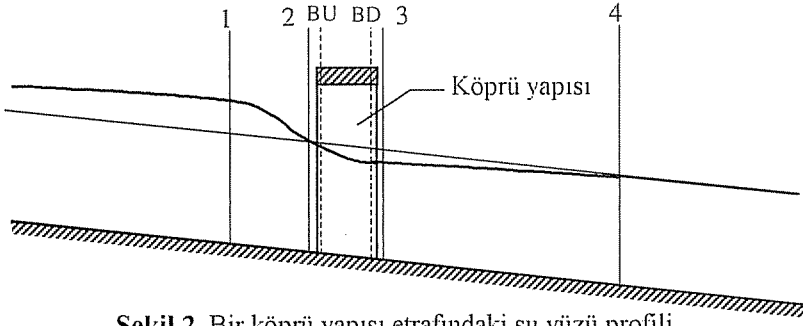
yöntemle her türlü akım tipi ve su yapısı tipi modellenebilmektedir. HEC-RAS Enerji Yöntemi daralma ve açılma kesitleri arasında su yüzü profilinin hesabı için Standard Adım Yöntemi'ni kullanmaktadır:

$$WS_U + \alpha_U \frac{V_U^2}{2g} = WS_d + \alpha_d \frac{V_d^2}{2g} + LS_f + C \left| \alpha_U \frac{V_U^2}{2g} - \alpha_d \frac{V_d^2}{2g} \right| \quad (1)$$

Denklemden,  $u$  memba kesiti,  $d$  mansap kesiti,  $WS$  su yüzü kotu,  $\alpha$  hız yükü düzeltme katsayısı,  $V$  ortalama hız,  $g$  yerçekimi ivmesi,  $L$  memba ve mansap kesitleri arasındaki mesafe,  $S_f$  iki kesit arasındaki ortalama sürtünme eğimi ve  $C$  daralma kesiti için daralma katsayısı, açılma kesiti için açılma katsayısıdır. Köprü kesitlerinde daralma ve açılma katsayıları için bütün HEC yayınlarında sırasıyla 0.3 ve 0.5 katsayıları, diğer kesitlerde ise daralma ve açılma katsayıları sırasıyla 0.1 ve 0.3 olarak tavsiye edilmektedir. Bu yöntemde hesaplar, nehrin en mansap kesitindeki akım derinliğinin ve debinin bilinmesiyle yapılmaktadır. Bir köprü yapısı etrafında 6 adet kesitin yerleşim planı Şekil 2'de görüldüğü gibi olmalıdır.



Şekil 1. Seyhan Nehri Adana Şehir İçi Kısım



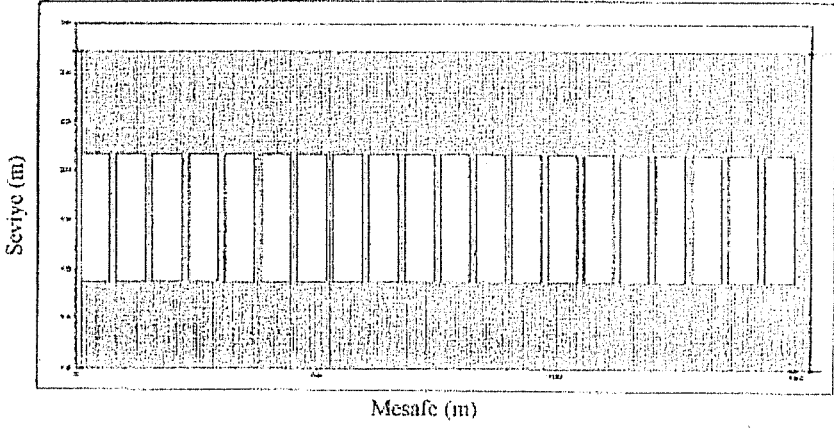
Şekil 2. Bir köprü yapısı etrafındaki su yüzü profili

Şekil 2'de 1 kesiti maximum kabarmanın olduğu yeri, 4 kesiti akımın köprü kesitinden geçtikten sonra üniform su derinliğine kavuştuğu yeri, 2 kesiti hemen köprü'nün mamba tarafını, 3 kesiti hemen köprü'nün mansap tarafını, BU ve BD kesiti ise köprü yapısının mamba ve mansap kesitlerini temsil etmektedir.

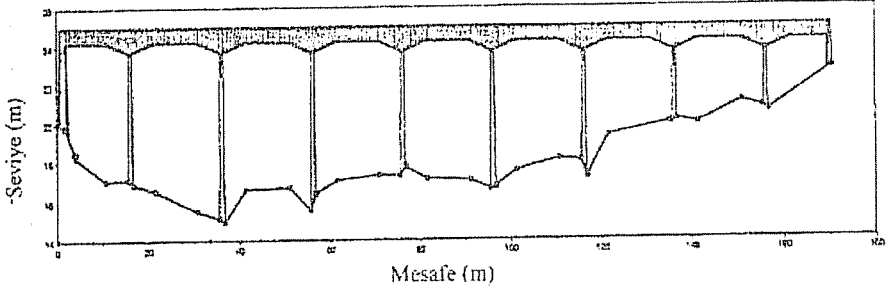
##### 5. UYGULAMA ALANI VERİLERİNİN DERLENMESİ

Bu çalışma kapsamında, Seyhan Nehrinin şehir içindeki, Seyhan Regülatörü (Şekil 3) ile Seyhan Nehri Şehir İçi Kabartma Yapısı arası dikkate alınmıştır. Bu çalışmada üç türlü veri gerekmektedir. Bunlar; yer şekillerini belirten topoğrafik veriler, akış ile ilgili hidrolik veriler ve su yapılarının (regülatör, köprüler, vs.) tip ve boyutlarını gösteren verilerdir. Bütün bu veriler DSİ 6. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

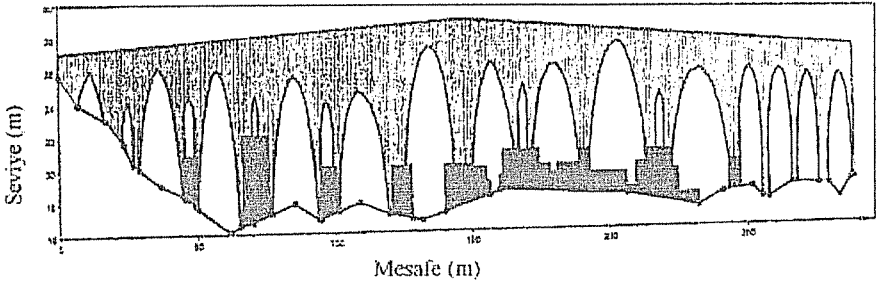
Seyhan Nehrinin enkesit ve boy kesitinin olduğu topoğrafik verilerle ilgili olarak 1980 yılında, DSİ 6. Bölge Müdürlüğü tarafından yukarıda belirtilen çalışma alanında 16 adet enkesit alınmış ve çalışma alanının boy kesiti çıkarılmıştır. Yine 1986 yılında, Seyhan Nehrinin, Taş Köprü (Şekil 5) ve Girne Köprüsü (Şekil 4) ile Taş Köprü ve Kız Lisesi aralarının plankoteleri alınmıştır. Hidrolik veriler, DSİ 6. Bölge Müdürlüğü'nün hazırlamış olduğu Seyhan Nehri Şehir İçi Düzenleme Projesi Yapırlık Raporu'ndan alınmıştır. Burada, Seyhan Nehri ve Sarıçam Deresinden gelen  $Q_{500} = 1800 \text{ m}^3/\text{s}$  tekerrür periyodlu debi kullanılmıştır. Çalışma alanında bulunan, Demir Yolu Köprüsü, Girne Köprüsü ve Taş Köprü'nün orijinal projeleri bulunamadığından, DSİ 6. Bölge Müdürlüğü tarafından 1980 yılında bu köprülerin röleleri alınmış, köprü plan ve kesitleri aslına uygun olarak yeniden düzenlenmiştir. Mustafa Kemal Paşa Bulvarı Köprüsü rölevesi ise 1994 yılında alınmıştır. Seyhan Nehri Şehir İçi Kabartma Yapısı ve sağ ve sol sahil istinat duvarları inşaatı 1994 yılında bitirilmiş ve nehir yatağı da tanzim edilmiştir. Bu yeni duruma göre, 1994 yılında çalışma alanında DSİ 6. Bölge Müdürlüğü tarafından yeniden enkesitler alınmış ve Seyhan Nehrinin boy kesiti çıkarılmıştır. Sarıçam Deresi, 1995 yılında ıslah edilmiş ve yeni duruma göre kesitler belirlenmiştir (15). Bu veriler de yine DSİ 6. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. 1999 yılında bu çalışma kapsamında, çalışma alanında değişik yerlerden enkesitler alınmış ve bu kesitler 1994 yılındaki kesitlerle birleştirilerek yeni bir veri grubu oluşturulmuştur.



Şekil 3. Seyhan Regülatörü kesiti



Şekil 4. Girne Köprüsü enkesiti

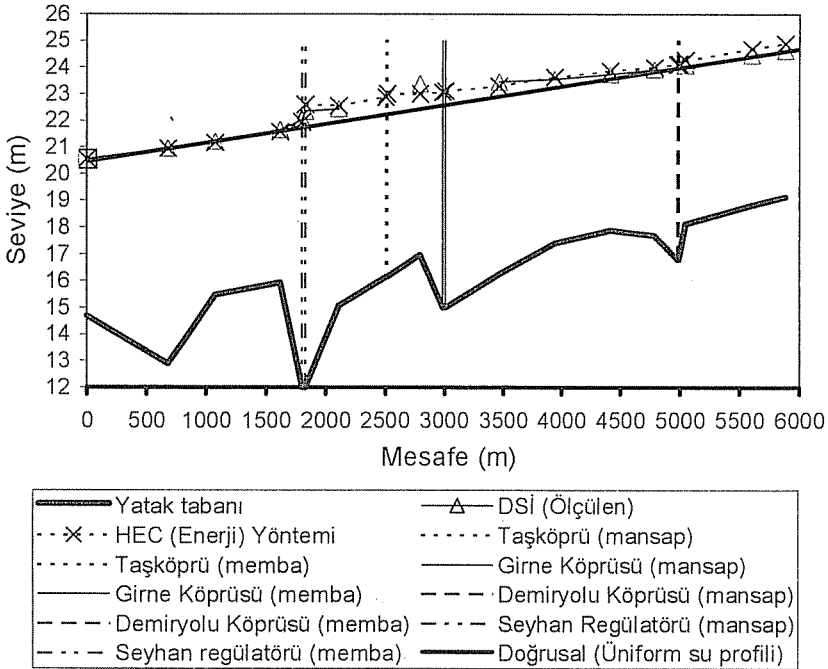


Şekil 5. Taşköprü enkesiti

## 6. SEYHAN NEHRİ ÜZERİNDE YAPILAN UYGULAMA

Seyhan Nehrinde uygulama alanına ait verilerin derlenmesinden sonra, çalışma dört aşamalı olarak yapılmıştır. Birinci aşamada, 1980 yılında uygulama alanından alınan nehir enkesitleri kullanılarak, nehir tabii halde iken, üzerinde kabarmaya sebep olacak herhangi bir su yapısı olmaması durumundaki su yüzü profilleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, Standart Adım Yönteminin kullanıldığı HEC-RAS bilgisayar paket programı ile yapılmıştır.

İkinci aşamada, 1980 yılında çalışma alanından alınan nehir enkesitlerine ek olarak Demir Yolu Köprüsü, Girne Köprüsü ve Taş Köprü ve Seyhan Regülatörü ile ilgili veriler kullanılmış ve bu yapıların meydana getirdiği kabarma miktarları ile su yüzü profilleri hesabı yapılmıştır (Şekil 6). Şekil 6'da DSİ tarafından 1980 taşkınında ölçülen su yüzü profilleri görülmektedir. Fakat bu su derinlikleri ölçüldüğünde Seyhan Regülatörü henüz inşa edilmemişti. Hesapla tesbit edilen su yüzü profilleri ise Seyhan Regülatörü de hesaba katılarak tesbit edilmiştir.



Şekil 6. Seyhan nehri üzerinde bulunan Seyhan Regülatörü, Demiryolu Köprüsü, Girne Köprüsü ve Taşköprü'nün meydana getirdiği tahmini su yüzü profili

## 7. SONUÇLAR

Enerji Yönteminin kullanıldığı HEC-RAS bilgisayar paket programı ile yapılan genel nehir analizinde, regülatör yapısı da dahil, çeşitli tipteki köprü yapılarının meydana getirdiği kabarma miktarları ve su yüzü profili hesaplamaları yapılarak bir taşkın durumunda Seyhan Nehri'nin Adana Şehir İçi kısmında oluşabilecek su yüzü profilleri

tahmini olarak modellenmiştir. Su yapılarından dolayı oluşan su yüzü profillerinin üniform su derinliğinden, bazı kesitlerde, 1m kadar daha fazla derinliğe sahip olduğu Şekil 6'da görülmektedir. Maksimum debi baz alınarak gerçekleştirilen bu modellenmenin, ileride olabilecek muhtemel bir taşkın durumunda mevcut taşkın seddelerinin yeterli olup olmadığını saptanmasına önemli bir kaynak olacağı düşünülmektedir.

## 8. TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmaya maddi katkıda bulunan TÜBİTAK'a, değerli katkılarından dolayı teşekkür ederler.

## 9. KAYNAKLAR

1. HEC-RAS, "Flow Transitions in Bridge Backwater Analysis", Res. Document No.42, U.S. Army Corps Of Engineers, Davis, CA, 1995a.
2. HEC-RAS, "River Analysis System Hydraulic Reference Manual", U.S. Army Corps Of Engineers, Davis, CA, 1995b.
3. HEC-RAS, "River Analysis System User's Manual", U.S. Army Corps Of Engineers, Davis, California, 1995c.
4. DSİ, "Seyhan Taşkın Raporu", DSİ Etüt ve Plan Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1981.
5. DSİ, "Türkiye Akarsu Havzaları Taşkın Yıllığı", Etüt ve Plan Daire Başkanlığı, Ankara, 1977.
6. DSİ, "Türkiye Akarsu Havzaları Taşkın Yıllığı", Etüt ve Plan Daire Başkanlığı, Cilt V, Ankara, 1998c.
7. DSİ, "Türkiye Akarsu Havzaları Taşkın Yıllığı", Etüt ve Plan Daire Başkanlığı, Cilt VII, Ankara, 1998e.
8. Yazıcılar,F., "Water Surface Profile Computations In Floodplain Channels", Master Tezi (ODTÜ), s.185, Ankara, 1997.
9. Seçkin,G., Atabay,S., Erduran,K. ve Yurtal,R., "Akarsular Üzerindeki Köprülerin Sebep Olduğu Kabarmaların Tayini", IMO Teknik Dergi, 11(4):2231-2240, 2000.
10. DSİ, "Seyhan Nehri Şehir İçi Düzenleme Projesi Yapılabilirlik Raporu", DSİ 6.Bölge Müdürlüğü, Adana, 1986.
11. DSİ, "Seyhan Nehri Enkesitleri", DSİ 6. Bölge Müdürlüğü, Adana, 1980a.
12. DSİ, "Seyhan Nehri Demir Yolu Köprüsü Rölevesi", DSİ 6. Bölge Müdürlüğü, Adana, 1980b.
13. DSİ, "Seyhan Nehri Girne Köprüsü Rölevesi", DSİ 6. Bölge Müdürlüğü, Adana, 1980c.
14. DSİ, "Seyhan Nehri Enkesitleri", DSİ 6. Bölge Müdürlüğü, Adana, 1994.
15. DSİ, "Sarıçam Deresi Islah Revizyon Projesi Plan ve Profili", 6.Bölge Müdürlüğü, Adana, 1995.



## DONATILI ZEMİNLERE OTURAN YÜZEYSEL TEMELLERİN ANALİZİ

**Ahmet ARSLAN**

*DSİ 6. Bölge Müdürlüğü, Adana/Türkiye*

**Mustafa LAMAN**

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

**ÖZET :** *Son yıllarda "Donatılı Zemin" kavramı üzerinde geliştirilen uygulamalar gittikçe artmaktadır. Bu teknik geleneksel yöntemlere oranla daha hızlı daha efektif ve daha ekonomik alternatif çözümler önermektedir. Bu çalışmada model boyutunda teorik ve deneysel çalışmalar yapılarak donatılı zeminler üzerine oturan yüzeysel temellerin analizi incelenmiştir.*

*Anahtar Kelimeler: Donatı, Donatılı Zemin, Ansys, Plaxis, Sonlu Elemanlar*

## ANALYSIS OF SHALLOW FOUNDATIONS RESTING ON REINFORCED SOILS

**ABSTRACT :** *There has been considerable research and application conducted on the reinforced soils in recent years. These techniques offer the problem more swift, effective, and cost-effective solutions. In this study, many theoretical and experimental studies have been carried out to develop models in order to investigate shallow foundation resting on reinforced soils.*

*Keywords: Reinforcement, Reinforced Soils, Ansys, Plaxis, Finite Elements*

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak inşaat yapımı tekniklerinde de önemli ilerlemeler katedilmiş olup, bu gelişmelerden bazıları Geoteknik Mühendisliğine önemli katkılar sağlamış ve sağlamaktadır. Donatılı zemin kavramı bu gelişmelere paralel olarak ilk defa 1960 lı yıllarda Fransız H.Vidal (1) tarafından ortaya atılmış ve sonraları diğer bilim adamları tarafından geliştirilerek günümüzde uygulamaları oldukça yaygınlaşmıştır. Uygulamalar özellikle baraj, yol, dolgu, şev, istinad yapılarında yoğunlaşmakla birlikte son yıllarda yapı temellerinde temel zemininin güçlendirilmesi amacıyla metal, geosentetik malzemeler gibi çeşitli donatılar kullanılmıştır.

Hızlı kentleşmeden dolayı uygun yerleşim alanlarının hızla azalması taşıma gücü ve oturma yönünden zayıf olan temel zeminlerinin de iyileştirilme zorunluluğunu ortaya koymaktadır. Geleneksel çözüm yöntemi olarak derin temel uygulaması kullanılmakta fakat bunun pahalı olması nedeniyle zemin iyileştirme yöntemlerinden donatılı zeminin diğerlerine göre ucuz ve kolay uygulanabilirliği nedeni ile uygulama sahası hızla genişlemektedir.

Bu çalışmada, yüzeysel temellerin inşaa edileceği, taşıma gücü ve oturma yönünden zayıf zeminlerin donatı yerleştirilerek güçlendirilmesi, teorik ve deneysel olarak araştırılmıştır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Donatılı zemin, tanım olarak, çekmeye dayanıklı lif, çubuk, şerit veya levha formunda donatı elamanları yerleştirilerek elde edilen kompozit bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Gerek metal donatılar ve gerekse polimer geotekstil veya geogridler ile donatılı zeminlerin geoteknik mühendisliği uygulamalarındaki kullanımı son yıllarda bir çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de hızla artmaktadır. İstinad duvarı, dolgu, temel inşaatı, şev ve zemin stabilizasyonu, çöp depolama tesisleri, dinlendirme havuzları, tünel ve baraj inşaatı gibi bir çok geoteknik uygulamasında donatılı zemin tekniği ile geleneksel yöntemlere oranla daha efektif, hızlı, kolay ve ekonomik çözümler geliştirilebilmektedir.

Donatılı zeminler üzerine oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesi, oturması, göçme mekanizması, göçme yüzeyi şekilleri konularında son yıllarda deneysel çalışmalar yayınlanmıştır. Bu çalışmalar; zemin cinsi (kohezyonlu, kohezyonsuz), donatı cinsi (metal, geotekstil veya geogrid), donatıların zemin içerisine yerleştirilme doğrultusu (yatay, düşey veya belli bir eğimde), yük uygulama şekli, temel şekli, (şerit, dikdörtgen, kare veya daire) kriterlerine bağlı olarak farklı gruplarda toplanmışlardır (2).

Yetimoğlu (2) bildirdiğine göre, konu ile ilgili ilk detaylı bilimsel çalışmaları yapmıştır. Kohezyonsuz zeminler üzerinde yapılan çalışmalarda sıklık oranı  $Dr \geq \%75$  sabit tutulmuştur. Donatı tabaka sayısının (N) ve temel alt yüzeyi ile birinci donatı tabakası arasındaki mesafesini (u) değiştirip taşıma kapasitesi açısından optimum donatı yerleşim düzenini araştırmışlardır. Ayrıca donatılı ve donatısız zeminlerdeki deney sonuçlarının karşılaştırılması için ilk kez taşıma kapasitesi oranı tanımlanmışlardır.

$$BCR:q/a_0$$

(1)



Burada;

BCR : Taşıma kapasitesi oranı.

$q, q_0$  : Sırasıyla donatılı ve donatısız zeminin yük oturma eğrisinde belli bir oturma değerine karşılık gelen düşey gerilmeler.

Donatı tabaka sayısının ( $N$ ) artması ile nihai taşıma kapasitesinin ve yük oturma eğrisinin rijitliğinin de arttığı bulunmuştur.  $N > 6$  olması durumunda taşıma kapasitesi oranının sabit bir değere ulaştığı belirlenmiştir. Deney sonunda donatıların incelenmesinde göçmenin donatı kopması ile değil tamamıyla en üst donatı tabakası üzerinde zemin kayması ile oluştuğu görülmüştür.

Donatılı zeminlere oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesi, oturması ve göçme mekanizması konularında literatürde yayınlanmış teorik çalışmalar sınırlıdır. Araştırmalar neticesinde, analitik çalışmalar dayandıkları teorik ilkelere göre beş ana grupta toplanmaktadır.

- i- Ankraj Teorisi
- ii-Sınırlandırılan Deformasyon Teorisi
- iii-Kompozit Malzeme Teorisi
- iv-Yarı-Ampirik Teoriler
- v-Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizler

Ankraj teorisi temel dışında kalan donatıların zemin içerisine ankre edilmesi prensibine dayanmaktadır. Dolayısı ile donatıların düşey yerdeğiştirmelere karşı koyacak yeterli ankraj boyuna sahip olmaları gerekir. Temel yüklerinden dolayı zemin kütlelerinde ve donatılarda doğan kuvvetler elastisite teorisine dayalı çözümler kullanılarak hesaplanmaktadır. Sistemin stabilitesi ise limit denge yöntemi ile analiz edilir.

Sınırlandırılan deformasyon teorisi, temel kenarları altındaki kayma zonu içerisinde kalan donatıların, potansiyel çekme deformasyonlarını sınırlandırarak zeminin basınç mukavemetini artırması prensibine dayanır. Dolayısıyla, ankraj teorisindeki aksine, düşey kayma zonu içerisinde kalan, diğer bir ifadeyle, uzunluğu temel genişliğine eşit olan donatılar, zeminin taşıma kapasitesinde asıl faktördürler. Sistemin stabilitesi ise, ankraj teorilerindeki benzer şekilde limit denge yöntemi ile analiz edilir.

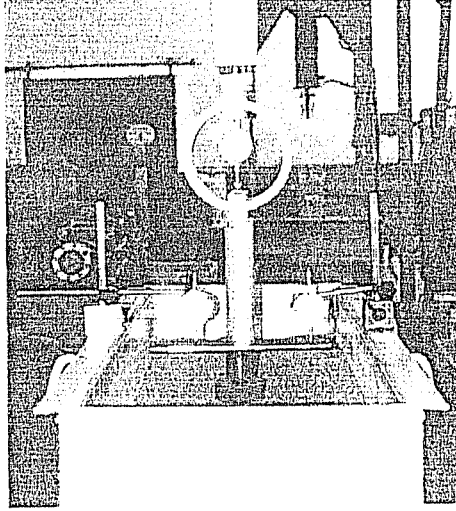
Kompozit malzeme teorisinde donatılı temel zemini kompozit bir malzeme gibi düşünülmüş, dolayısı ile donatılar ile zeminin mekanik olarak çalışacağı kabul edilmiş ve donatı sıyrılması gözönüne alınmamıştır. Donatılı temel zemini, sonsuz kalınlık ve genişlikte izotrop ve elastik varsayılarak, üniform yüklü şerit bir temelin bölgesel göçmesi analiz edilmiş ve nihai taşıma kapasitesinin önerilen formülle hesaplanabildiği savunulmuştur.

Yarı-ampirik teoriler de genellikle donatısız zeminler için bilinen klasik taşıma kapasitesi teorilerinin, deneysel gözlemlere dayanarak donatılı zeminlere uyarlanmasıdır.

Donatılı zeminlere oturan temellerin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi konusunda çalışmaların, son yıllarda bilgisayar programlarındaki gelişmelere paralel olarak hız kazandığı görülmektedir (3,4). Sonlu elemanlar yöntemi ile analizde genellikle düzlem deformasyon şartlarında çözümler yapılmıştır. Sonlu elemanlar metodunda temel mantık yapı etrafındaki zeminin çok fazla sayıda sonlu elemanlara bölünmesi ve böylece gerçek yapının parçaları olan alt yapıların kullanılmasıdır. Bu elemanlar bir, iki veya üç boyutlu olabilirler (3,5).

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında geliştirilen ve Şekil 1'de görülen düzenek kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Laboratuvarda Kurulmuş Model Deneysel Düzenek

Deneysel çalışmalarda 8.5 cm çapında hazırlanan dairesel kesitli metal, model temel olarak kullanılmıştır.

Çizelge 1. Model Boyutları

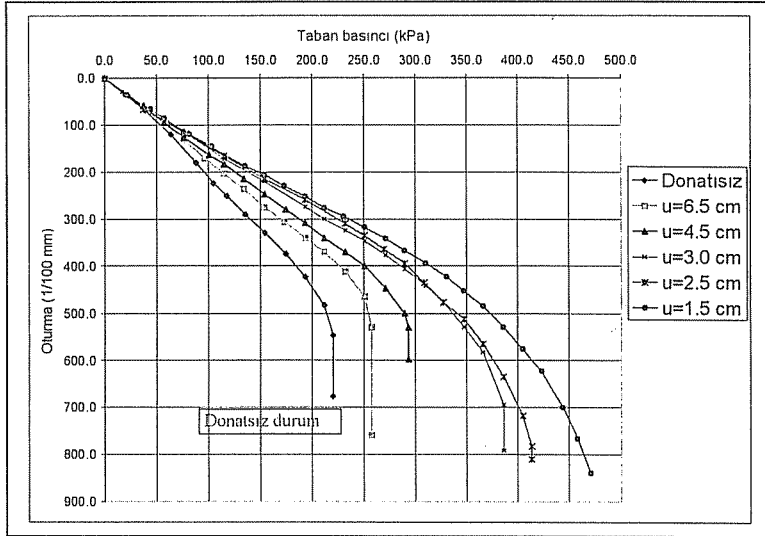
Kasa Boyutları (cm)			Dairesel Temel Çapı
X	Y	Z	D (cm)
100	60	42.5	8.50

Laboratuvar çalışmalarında iki farklı durum dikkate alınmış olup, bunlar donatısız ve donatılı zeminde yapılan çalışmalardır. Deneyler kuru birim ağırlığı  $\gamma_k=1.70 \text{ gr/cm}^3$  ve rölatif sıklığı  $D_r=70\%$  olarak hazırlanan kum numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Donatısız olarak yapılan çalışmalarda temel zemininde göçme  $q_0= 2.21 \text{ kgf/cm}^2$  lik taban basıncında gerçekleşmiş ve maksimum oturması 3.55 mm olarak bulunmuştur.

Donatılı olarak yapılan deneylerde de donatısız kum zeminde yapılan tüm hazırlıklar aynı şekilde sürdürülmüştür. Donatı malzemesi Vatek Tekstil Sanayi ve Ticaret A. Ş. tarafından sağlanmıştır. Donatı "Terragrid GS 1000" olarak adlandırılmaktadır. Polypropilen hammaddesinden üretilen geogrid levhaları 1 m genişlikte ve 50~70 m uzunlukta imal edilmektedir. Siyah renkli olan geogrid levhaların ağırlıkları  $5 \pm 0.1 \text{ N/m}^2$ 'dir. Terragrid GS 1000 geogridlerinde boyuna nervürler  $80 \pm 3 \text{ mm}$  uzunlukta, 5 mm genişlikte ve 0.95 mm et kalınlığındadır. 10mm genişlikte olan enine nervürler ise

maksimum 2.6 mm, minimum 2.4 mm kalınlığındadır. Geogrid malzemesi mukavemet özelliklerini tayin etmek amacıyla  $L_0=100$  cm başlangıç boyunda ve 4 nervür (6 cm) genişliğinde numune hazırlanarak deneyler yapılmıştır. Sabit ortam sıcaklığında ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) yürütülen bu deneylerden elde edilmiş eksenel yük-birim uzama ve sünme eğrilerinden  $P=30$  kN/m'lik eksenel çekme kuvvetinde aktığını ve  $P=10$  kN/m'lik proje yükleri  $\epsilon \leq \%3$  sünme ile taşıyabileceğini belirtmiştir.

Burada tek sıra donatı ( $N=1$ ) temel in alt kotundan itibaren farklı derinliklerde ( $u$ ) yerleştirilmek suretiyle deneyler yapılmıştır. Sonuçta en büyük taşıma kapasitesi oranını (BCR) veren optimum değer temel genişliğine bağlı olarak  $u_{opt}=0.30B$  bulunmuştur. Deneyde göçme anındaki basınç  $q=4.07$  kgf/cm<sup>2</sup> ve çökme değeri ise 5.06 mm bulunmuştur. Şekil 2 üzerinde donatısız haldeki çökme değerleri ile birinci donatı tabakası ile temel arındaki mesafe " $u$ " nun farklı aralıklarda göçtüğü taban basıncı ve düşey deplasman değerleri grafik halinde verilmiştir. Grafik incelendiğinde " $u$ " nun azalması ile taşıma kapasitesi değerlerinin arttığı görülmektedir. Donatısız ve donatılı olarak yapılan çalışmalar neticesinde temel ile ilk donatı tabakası arasındaki optimum mesafenin  $u_{opt}=0.30B$  alınarak göçme oluncaya kadar yükleme yapılmış ve göçme basıncı  $q=4.07$  kgf/cm<sup>2</sup> bulunmuştur. Buna göre tek tabaka donatı yerleştirilmesi ile taşıma kapasitesi açısından %84 oranında bir artış sağlanmıştır (6).



Şekil 2. Farklı " $u$ " Derinliklerinde Deney sonuçları grafiği

#### 4. DONATILI ZEMİNLERE OTURAN YÜZEYSEL TEMELLERİN SAYISAL ÇÖZÜMLERİ

Laboratuvar çalışmalarının sayısal çözümlerle kontrol edilmesi amacıyla, Sonlu elemanlar yöntemi ile çözümler yapan ANSYS ve PLAXIS bilgisayar paket programları kullanılmıştır. Öncelikle laboratuvarında kurulmuş olan modelin sınır etkisi, olup olmadığı araştırılmıştır. Daha sonra deney sonuçları ile sayısal çözümlerin karşılaştırılması farklı modeller kullanılmak suretiyle donatılı ve donatısız haldeki davranışlarının tespiti amacıyla araştırmalar yapılmıştır.

Nümerik çalışmalarda temel zemini için laboratuvarında çeşitli mühendislik ve tanımlama deneyleri sonunda elde edilmiş olan değerler kullanılmıştır. Tanımlama deneyleri sonunda kumun üniformluk katsayısı ( $C_u$ ) 1.48, derecelenme katsayısı ( $C_c$ ) 0.83, "Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi" ne göre grup sembolü kötü derecelenmiş kum SP olarak ve Üç eksenli Konsolidasyonlu- Drenajlı (CD) deneylerindende kohezyon değeri ( $c$ ) 0.00 kgf/cm<sup>2</sup> içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) 41.0 derece olarak bulunmuştur (6). Ayrıca analizlerde data olarak istenen kumun elastisite modeli ( $E_{kum}=230$  kgf/cm<sup>2</sup>) hesaplanmış ve orta sıkı kum için kuru birim ağırlık  $\gamma_k=1.70$  gr/cm<sup>3</sup> olarak kullanılmıştır.

İlk olarak ANSYS paket programı ile model deneylerde sınır etkisinin araştırılması için SOLID45 tipi, 8 düğümlü dikdörtgenler prizması (3 boyutlu) şeklinde eleman seçilmiş ve çözümler bu eleman üzerinde gerçekleştirilmiştir. ANSYS paket programında sonlu eleman ağlarının oluşturulmasında kolaylık olması açısından dairesel temel ( $D=8.50$  cm) eşdeğer bir kare temele (7.50 cmx 7.50 cm) dönüştürülerek çözümler yapılmıştır. Sınır etkisinin araştırılmasında lineer elastik malzeme modeli kullanılmış ve malzeme parametreleri olarak  $E_{kum}=230$  kgf/cm<sup>2</sup>,  $E_{temel}=2 \times 10^6$  kgf/cm<sup>2</sup>,  $P=125.40$  kgf. ve temel boyutları da kare temel =  $7.5 \times 7.5$  cm<sup>2</sup>, Temel kalınlığı ( $t$ )= 1.5 cm olarak girilmiştir. Burada P donatısız halde oluşan göçme basıncının ( $q_0$ ) tekil yüke dönüştürülmüş halidir.

Sınır etkisi araştırmasında model kasası dar kenarı incelenmiş ve temel genişliğinin dört katı (4B) uzunluğu ile temel genişliğinin onbeş katı (15B) ye kadar olan uzunluklar arasında maksimum oturmalar izlenmiş ve sınır etkisinin olmadığı kasa genişliği ile derinlik sınır etkisinin olmadığı mesafeler bulunmuştur. Elde edilen değerler neticesinde model kasa genişliği ve derinliğinin yeterli olduğu tespit edilmiştir. Buna göre model kasası dar kenarının sınır etkisi 5B ve derinlik sınır etkisi ise 4B derinliğinde sona ermiştir. Şekil 3'de çökme konturları görülmektedir.

Lineer elastik malzeme modeli temel zemin malzemesini tam olarak yansıtmadığından sayısal çözümler ile laboratuvarında elde edilen maksimum çökme değerine hangi elastisite modülünde ulaşıldığı araştırılmıştır.  $E_{kum}=230$  kgf/cm<sup>2</sup> yerine  $E_{kum}=30$  kgf/cm<sup>2</sup> olarak kullanılması durumunda ancak laboratuvarında elde edilen çökme değerine yaklaşılmıştır. Sayısal çözümler neticesinde lineer elastik modelde elde edilen elastisite modülü ile deney elastisite modülü arasındaki oran  $E_{sayısal}/E_{deney}=1/8$  olarak bulunmuştur.

Burada çökme değeri -3.5121 mm olarak bulunmuştu. Yine lineer elastik malzeme modelininin kullanılması ile donatısız kum zeminde PLAXIS paket programında  $q_0=2.21$  kgf/cm<sup>2</sup>  $E_{kum}=30$  kgf/cm<sup>2</sup> ve  $E_{temel}=2 \times 10^6$  kgf/cm<sup>2</sup> parametreleri kullanılarak maksimum çökme değeri -4.118 mm bulunmuştur.

Ayrıca donatılı olarak lineer elastik malzeme modeli kullanılarak PLAXIS paket programında aşağıdaki parametreler ile

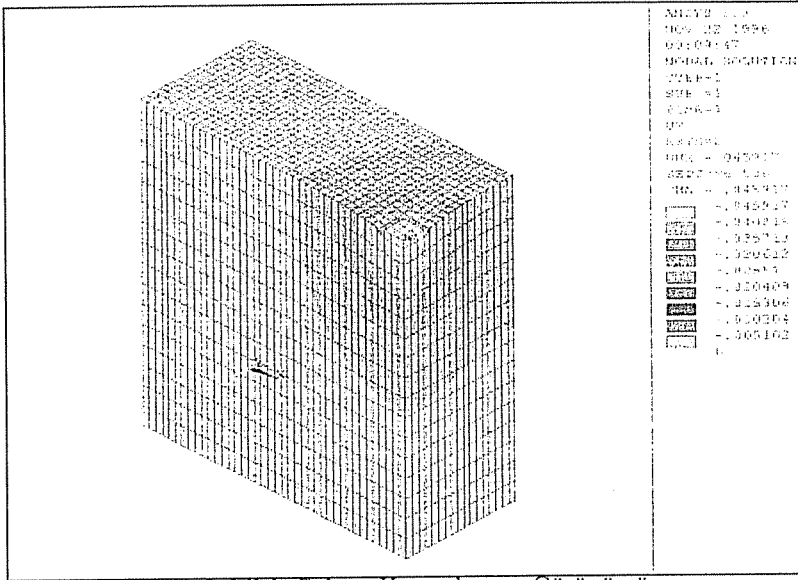
$$u_{opt}=0.30B$$

$$q = 4.07 \text{ kgf/cm}^2,$$

$$E_{kum}=30 \text{ kgf/cm}^2$$

$$E_{temel}=2 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$$

q: Laboratuvarında donatılı olarak yapılan deneyde elde edilen göçme basıncı



Şekil 3. Çökme Konturlarının Görünümü

maksimum çökme değeri -4.089 mm bulunmuştur. Elde edilen tüm sayısal ve deneysel sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelgedeki değerlerin incelenmesi ile lineer elastik malzeme modelinde donatının önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

Çizelge 2. Deney ve Sayısal Çözümlerin Karşılaştırılması

LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI		SAYISAL ÇÖZÜM SONUÇLARI			
Deney Sonunda Oluşan Göçme Basıncı Değerleri (kgf/cm <sup>2</sup> )		Lineer Elastik Malzeme Modeli İle Sayısal Çözümler			
		ANSYS PAKET PROGRAMI		PLAXIS PAKET PROGRAMI	
Donatısız	Donatılı	Donatısız	Donatılı	Donatısız	Donatılı
q <sub>0</sub>	q	Sayısal Çözümlerde Donatısız Halde Oluşan Göçme Basıncı Değeri q <sub>0</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> ) kullanılmıştır.			
2,21	4,07	2,21		2,21	
OLUŞAN MAKSİMUM DEFORMASYONLAR (mm)					
-3,55	-5,06	-3,5121	Çözüm yok	-4,118	-4,089

## 5. TEMEL ZEMİNİ İÇİN MOHR-COULOMB MODELİNİN KULLANILMASI

Mohr-Coulomb modeli zeminlerin modellenmesinde lineer elastik modele göre daha iyi sonuç verdiği bilinmektedir. Bu model ile PLAXIS programında öncelikle donatısız zemin koşulları göz önüne alınarak çözümler yapılmış ve model deneylerde kullanılan parametreler programa data olarak girilmiştir. Bu parametreler

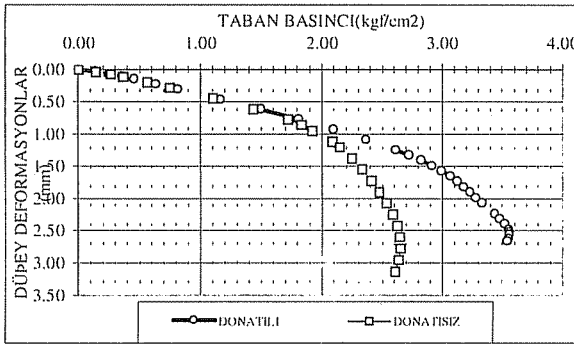
$$E_{kum}=230 \text{ kgf/cm}^2$$

$$E_{temel}=2 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$$

$$c=0.30 \text{ kgf/cm}^2, \quad \phi=41^\circ \text{ şeklindedir.}$$

PLAXIS programının adım adım çalışması nedeniyle başlangıç gerilmesi olarak büyük bir değer olan  $q=4.07 \text{ kgf/cm}^2$  seçilmiştir. Göçme  $q_0=2.15 \text{ kgf/cm}^2$  değerinde oluşmuş ve o andaki düşey deformasyon  $-1.203 \text{ mm}$  olarak bulunmuştur.

İkinci olarak donatılı durum göz önüne alınmış temel ile birinci donatı tabakası ( $N=1$ ) arasındaki mesafenin optimum değerine ( $U_{opt}=0.30B$ ) tek sıra donatı yerleştirilmek suretiyle laboratuvarında bulunan donatılı zeminin göçme değeri ( $q=4.07 \text{ kgf/cm}^2$ ),  $E_{kum}=230 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $E_{temel}=2 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $c=0.30 \text{ kPa}$ ,  $\phi=41^\circ$  ve  $U_{opt}=0.30B$  değerleri kullanılarak çözüm yapılmıştır. Çözümler neticesinde göçme,  $q=3.07 \text{ kgf/cm}^2$  basıncında oluşmuş ve çökme değeri ise  $-1.653 \text{ mm}$  olarak bulunmuştur. Donatısız ve donatılı olarak yapılan çözümler grafik halinde Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Donatılı ve Donatısız Çözümlerin Karşılaştırılması (Mohr-Coulomb) Malzeme Modeli

Bu sonuçlara göre, bilgisayar modellemesi ile tek tabaka donatının ( $U_{opt}$ ) derinliğine yerleştirilmesi ile göçme basıncı değerinin %43 oranında arttığı bulunmuştur. Deplasman değerlerinin karşılaştırılması için ise aynı taban basıncı değerindeki düşey deplasman değerlerine bakmak gereklidir. Bu amaçla donatısız ve donatılı çözümlerde  $2.15 \text{ kgf/cm}^2$  basıncı değerindeki deplasmanlar dikkate alınmıştır. Donatısız halde  $-1.203 \text{ mm}$ , donatılı halde  $-0.9625 \text{ mm}$  deplasman değerleri bulunmuştur. Bu sonuçlara göre tek tabaka donatı yerleştirilmesi ile oturma değeri %25 oranında azalmaktadır (Şekil 4).

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Birinci donatı tabakası derinliğinin ( $u$ ) taşıma kapasitesine etkisi, tek ( $N=1$ ) ve çok ( $N>1$ ) tabaka donatılı kumlarda birbirinden farklıdır. Tek tabakalı donatılı kumlarda donatı boyutundan bağımsız olarak taşıma kapasitesinin maksimum olduğu bir optimum " $u$ " değeri elde edilmiş ve deneylerde  $u_{opt} \cong 0.30B$  bulunmuştur.

Deneyler neticesinde donatısız zeminde oluşan taşıma gücü değeri tek tabaka donatı uygulaması ile yaklaşık %84 oranında artmıştır.

Nümerik çözümler neticesinde derinlik sınır etkisi temel genişliğinin dört katı ( $4B$ ), kasa genişliği sınır etkisi, temel genişliğinin beş katı  $5B$  olması durumunda sınır etkisi oluşmamaktadır. Bu durumda, deney model boyutlarının sınır etkisi açısından yeterli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca tek tabaka donatı kullanılması durumunda, aynı basınç değerinde donatısız zemine göre çökme değeri %25 daha az bulunmuştur.

Lineer elastik malzeme modelinde zemin için deneyde bulunan  $E_{kum}=230 \text{ kgf/cm}^2$  değeri yerine  $E_{kum}=30 \text{ kgf/cm}^2$  alınması durumunda model deneylerine yakın sonuçlar bulunmaktadır. Buradan  $E_{sayısal}/E_{deney}$  arasındaki oran  $1/8$  olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmada lineer elastik malzeme kabulü ile bulunan sonuçlara göre Mohr-Coulomb modelinin daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.

## 7. KAYNAKLAR

1. Vidal,H., "Development and Future Reinforced Earth", Symposium of Earth Reinforcement, Pittsburgh, USA, 1978.
2. Yetimoğlu,T., "Gogrid-Donatılı Kum Zemine Oturan Temellerin Taşıma Kapasitesi", Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul, 1994.
3. Sigutri,A. ve Birand,A., "Donatılı Zemin Üzerindeki Şerit Temellerin Davranışının Modellenmesi", Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara, 1992.
4. H.S,Yu. ve S.W,Sloan, "Finite Element Limit Analysis of Reinforced Soils", Computers and Structures, V.63, No.3, p.567-577, 1997.
5. Laman,M., "The Moment Carrying Capacity of Short Pile Foundation in Clay", Ph. D. Liverpool University, 1995.
6. Arslan,A., "Donatılı Zeminler Üzerine Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü, Adana, 2001.





## SONLU VE SONSUZ ELEMAN MODELİ İLE ÜÇ BOYUTLU YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİ ANALİZİ

Selçuk KAÇIN

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

Hüseyin R. YERLİ

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

**ÖZET:** Bu çalışmada, elastik ve/veya visko-elastik üç boyutlu yapı-zemin etkileşimi problemleri, sonlu ve sonsuz elemanlar kullanılarak incelenmiştir. Yapı ve yapıya yakın bölge kuadratik sonlu elemanlar ile modellenmiş, uzak bölge ise dalga yayılma şartlarını sağlayan sonsuz elemanlar ile modellenmiştir. Bu yöntemle harmonik yükleme etkisindeki sistemler incelenmiştir. Harmonik yükleme durumunda çözüm kompleks uzayda yapılmıştır. Sonlu-sonsuz eleman modeli kullanılarak elde edilen sonuçlar, daha önce başka yöntemlerle çözülmüş literatürde mevcut çözümlerle karşılaştırılmıştır.

### THREE DIMENSIONAL SOIL-STRUCTURE INTERACTION ANALYSIS WITH FINITE AND INFINITE ELEMENT MODEL

**ABSTRACT :** In this study, elastic and/or visco-elastic three dimensional Soil-Structure Interaction (SSI) problems are investigated by coupling of finite and infinite elements. By this model, problems are analysed by discretizing the near field with quadratic finite elements and the far field extending to infinity with infinite elements. The method is used for harmonic loading case. In the case of harmonic loading the formulation is performed in complex domain. The results of several sample problems are solved by the model proposed in this study are compared with those available in the literature.

## 1. GİRİŞ

Yapı-zemin etkileşimi problemlerinin çözümü son elli yıl içerisinde mühendisler tarafından incelenen oldukça popüler bir konudur. Özellikle, nükleer santraller, barajlar, yeraltı tünelleri, yeraltı depoları, askeri sığınaklar ve hizmet yeteneği bakımından özel yapıların dinamik analizi yapılırken, yapı ile zemin arasındaki etkileşim önemli etkilere yol açabilmektedir. Bu nedenle, bu tür yapıların analizleri yapılırken yapı ile zemin arasındaki etkileşim mutlaka hesaplarda gözönüne alınmalıdır.

Deprem mühendisliği açısından da yapı ile zemin arasındaki etkileşim oldukça önemlidir. Yeraltında meydana gelen depremler ve patlamalar gibi etkilerden dolayı yeryüzündeki yapılarda oldukça önemli etkiler oluşmaktadır. Ayrıca yeryüzündeki dinamik yüklerden dolayı yeraltındaki yapılarda meydana gelen etkileri de hesaplamak için yapı-zemin etkileşimi problemlerinin çözülmesi gerekmektedir. Yeraltındaki ve yeryüzündeki bu etkilerin bulunması ve bunlara göre yapıların güvenli bir şekilde inşa edilmesi gerekmektedir.

Yapı-zemin etkileşimi problemleri incelenirken sonsuza uzanan zemin iki bölge halinde düşünülmektedir. İlk kısım yakın bölge, ikinci kısım ise uzak bölge olarak adlandırılmaktadır. Yapı ve yakın bölgenin modellenmesi için sonlu elemanlar kolaylıkla uygulanmaktadır. Ancak uzak bölge için kullanılan sonlu elemanlara uygun, kesilmiş sınırlar için özel yapay sınır şartları veya özel etkileşim elemanları kullanılabilir. Yakın bölgenin sınırlarına uygulanan model dalga yayılma şartlarını sağlayacak şekilde seçilmelidir. Gerçekte dalgalar yayılarak sonsuza gitmektedirler. Yakın bölgenin sınırlarında bu davranışı idare edecek bir model uygulanmalıdır. Zemin içinde hareket eden dalgaların sonlu elemanlarla modellenmiş bölgenin yapay sınırından geçmesi için, dalgaların sınırdan geçme şartının matematiksel modelde sağlanmış olması gerekmektedir. Bundan dolayı, yapı-zemin etkileşimi problemlerinde, yapay sınırdan enerji geçişi matematiksel olarak gerçekçi bir şekilde ifade edilmelidir.

Yapı-zemin etkileşimi problemlerinde bu şartları sağlayan farklı modeller uygulanmaktadır. Zemin için seçilen sonlu bölgenin sınırlarına geçiren yapay sınırlar kullanılması bu yöntemlerden bir tanesidir (1,2). Geçiren yapay sınırlar dalga geçirimsizliği açısından mükemmel olamamakla birlikte, belirli durumlarda yeterli bir çözüm sağlayabilmektedir. Dalga yayılışının sayısal modellemesinde yapay sınır şartlarının kullanılması durumunda gerçekte olmayan dalga yansımaları olabilmektedir. Yapay sınırlar kaynaktan ne kadar uzakta seçilirse o kadar iyi sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca uzak bölgenin yapay sınırlarla modellenmesi durumunda yakın bölgenin modellenmesi için çok sayıda sonlu elemana ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda da bilinmeyen sayısı çok artmakta ve sistemin çözümü zorlaşmaktadır.

Bir diğer yöntem ise yakın bölge ve yapı için sonlu elemanlar yöntemi, uzak bölge içinse sınır elemanlar yönteminin kullanılmasıdır (3,4). Yarı analitik olan Sınır Eleman Metodu, yayılma şartını sağlamak için sonsuza uzanan bölge üzerinde temel çözümü analitik olarak yapan bir modeldir. Bu model yapı ve zeminin modellenmesinde hem zaman hem de frekans uzaylarında kullanılabilir (5). Yarı analitik bir yöntem olması sebebiyle özellikle lineer problemlerde daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. Lineer olmayan problemler ve homojen olmayan ortamlar için Sınır Eleman Metodu avantajlı olmamaktadır. Ayrıca, Sınır Eleman Metodunda elde edilen sistem denklem

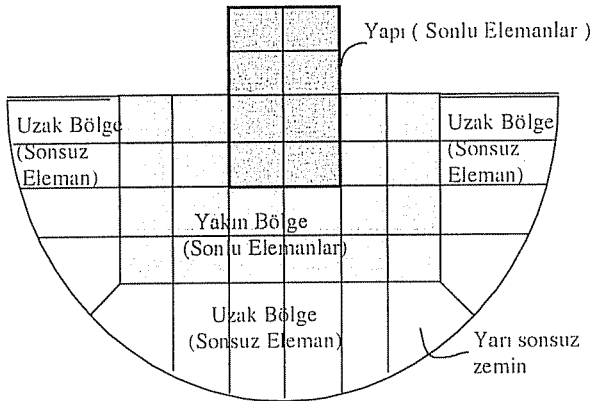
takım simetrik olmadığından sayısal çözümleri daha zahmetli olmaktadır. Özellikle üç boyutlu sistemlerde bu çözümler, oldukça uzun zaman ve büyük hafıza gerektirmektedir. Son yıllarda bu iki metodun birlikte kullanıldığı pek çok çalışma yapılmıştır (4,6). Sonlu Eleman ve Sınır Eleman Metodlarının birlikte kullanılması ile birbirlerine göre avantajlı yanları ele alınmakta ve böylece çok küçük bir zemin bölgesinin sonlu elemanlarla modellenmesi ile istenilen hassasiyette sonuçlar elde edilebilmektedir.

Yapı-zemin etkileşimi problemlerinin çözümünde efektif olarak kullanılan bir diğer yöntem ise yakın bölge için sonlu elemanlar, uzak bölge için ise sonsuz elemanların kullanılmasıdır (7,8). Uzak bölge olarak anılan yer sonlu eleman ağının bittiği sınırlardır. Burada kullanılan sonsuz elemanlar, ortamda yayılan ve sonsuza giden dalgaları idealize edecek şekilde seçilmektedir. Sonsuz elemanlar için şekil fonksiyonları kullanılarak, rijitlik ve kütle matrisleri oluşturulmakta ve sonlu elemanlarla birlikte kolaylıkla uygulanabilmektedir. Bu yöntem uygulandığında sistemi idare eden denklem takımı, simetrik ve bant tipi matrislerden oluşmaktadır. Bu özellik üç boyutlu problemlerde hem matrislerin saklanması için gereken hafıza sorununu hem de çözüm için geçen süreyi azaltmaktadır.

Bu çalışmada yapı-zemin etkileşimi problemlerinin çözümünde yakın bölge için yirmi düğümlü kuadratik sonlu elemanlar kullanılmış, uzak bölge için ise buna uygun sonsuz elemanlar kullanılarak zemin modellenmiştir. Kullanılan bu model ile statik durum ve harmonik yüklemeye etkisi altındaki yapı-zemin etkileşimi problemleri çözülmüştür.

## 2. HARMONİK YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİ

Burada, yapı-zemin etkileşim sistemleri (sonlu bir boyuta sahip olan üst yapı ile yarı sonsuz zemin) sonlu ve sonsuz elemanlar kullanılarak incelenmektedir (Şekil 1). Yarı sonsuz geometriye sahip zemin, kaynağa yakın bölgede yirmi düğümlü kuadratik sonlu elemanlarla modellenirken, uzak bölgeler için ise kuadratik sonlu elemanlara uygun oniki düğümlü sonsuz eleman modeli uygulanmıştır.



Şekil 1. Yapı-zemin etkileşimi modeli

Kullanılan sonsuz elemanlar dalga yayılma şartlarını sağlayacak şekilde seçilmiştir. Yakın bölge için kullanılan sonlu elemanlar ile uzak bölge için uygulanan sonsuz eleman modelinin birlikte kullanılması oldukça kolaydır ve ek bir işlem gerektirmemektedir. Sonsuz elemanların katkıları, eleman matrisleri yardımıyla sistem rijitlik ve sistem kütle matrislerine kolayca eklenebilmektedir.

Elastodinamikten bilindiği üzere, sönümün ihmal edildiği durumlarda sistem hareket denklemi aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$[M]\{\ddot{U}\} + [K]\{U\} = \{F(t)\} \quad (1)$$

Burada,  $[K]$  ve  $[M]$  sistem rijitlik ve kütle matrislerini;  $\{F(t)\}$ ,  $\{U\}$  ve  $\{\ddot{U}\}$  ise sırasıyla sistem yük, deplasman ve ivme vektörlerini temsil etmektedir. Harmonik yükleme durumunda, sistem yük vektörünün,

$$\{F(t)\} = \{F_0\}e^{i\omega t} \quad (2)$$

formunda olduğu kabul edilmektedir. Burada  $\{F_0\}$  harmonik yüklemenin genlik vektörünü,  $\omega$  yüklemenin frekansını göstermektedir. Bununla birlikte, sisteme ait deplasmanların çözümünde aynı frekansla harmonik olduğu kabul edildiğinden,

$$\{U\} = \{U_0\}e^{i\omega t} \quad (3)$$

şeklinde elde edilmektedir.  $\{U_0\}$  deplasman genlik vektörüdür. Benzer olarak ivme vektörü (3) ifadesi kullanılarak,

$$\{\ddot{U}\} = -\omega^2 \{U_0\}e^{i\omega t} \quad (4)$$

şeklinde elde edilir. (2), (3) ve (4) eşitlikleri, (1) denkleminde yerlerine yazılırsa

$$([K] - \omega^2 [M])\{U_0\} = \{F_0\} \quad (5)$$

şeklinde, harmonik yükleme durumu için sistem hareket denklemi elde edilir. Görüldüğü gibi sistem denklemi ikinci mertebeden diferansiyel denklem takımı yerine; lineer, cebrik denklem takımına dönüşmektedir. Sistem denklem takımının çözümünden deplasman genlik vektörü bulunup, (3) ve (4)'te yerine konulduğunda sistem deplasman ve ivme vektörleri elde edilmiş olur. Eğer sistemde sönüm varsa (bu çalışmada harmonik yükleme hali için sadece histeretik sönüm kullanılmaktadır), elastik-viskoelastik anolojisi kullanılarak (5)'te görülen sistem denklem takımı,

$$((1 + 2iz)[K] - \omega^2 [M])\{U_0\} = \{F_0\} \quad (6)$$

şeklinde modifiye edilerek kullanılmaktadır. Burada, "z" histeretik sönüm oranını,  $i$  ise kompleks sayıyı ( $\sqrt{-1}$ ) temsil etmektedir.

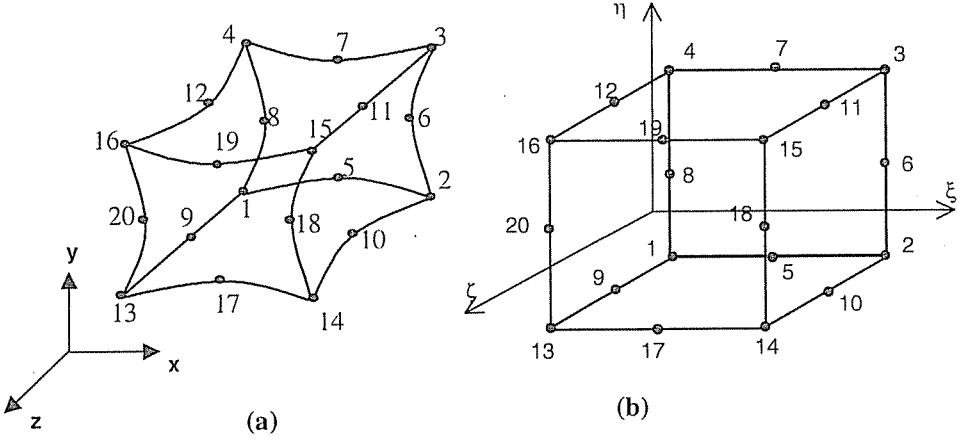
### 3. SONLU ELEMAN SEÇİMİ

Bu çalışmada, kuadratik yirmi düğümlü, izoparametrik sonlu eleman kullanılmaktadır (9). Bu elemana ait eleman rijitlik ve kütle matrisleri;

$$[k]_{(60 \times 60)} = \int_{\zeta=-1}^{+1} \int_{\eta=-1}^{+1} \int_{\xi=-1}^{+1} [B]^T [D] [B] |J| d\xi d\eta d\zeta \quad (7)$$

$$[m]_{(60 \times 60)} = \int_{\zeta=-1}^{+1} \int_{\eta=-1}^{+1} \int_{\xi=-1}^{+1} \rho [N]^T [N] |J| d\xi d\eta d\zeta$$

şeklinde elde edilir. Referans koordinatlarında yazılan bu ifadelerdeki sonlu integraller 3 noktalı Gauss-Legendre sayısal integrasyon yöntemi kullanılarak hesaplanmaktadır.

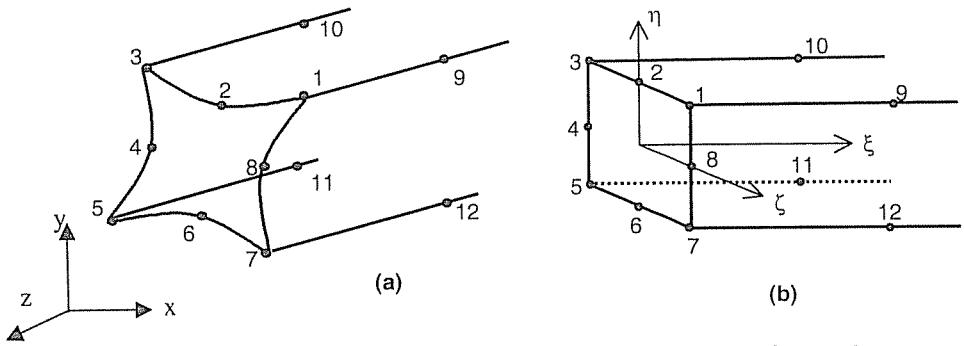


**Şekil 2.** Yirmi düğümlü kuadratik sonlu eleman a) Gerçek eleman b) Referans elemanı

(7) ifadesi ile her bir eleman için elde edilen eleman rijitlik ve kütle matrisleri kullanılarak kodlama tekniği yardımıyla, sistem rijitlik ve sistem kütle matrisleri oluşturulur.

#### 4. SONSUZ ELEMAN SEÇİMİ

Bu çalışmada, yarı sonsuz ortamların modellenmesinde, uzak bölgelerde sonsuz elemanlar kullanılmaktadır. Sonsuz eleman formülasyonu, dalga yayılma şartlarını sağlayacak şekilde düzenlenmiştir. Burada kullanılan sonlu elemanla uyumlu, Şekil 3'te görülen 12 düğümlü sonsuz elemanlar kullanılmaktadır (10).



**Şekil 3.** Oniki düğümlü sonsuz eleman (a) Gerçek eleman (b) Referans elemanı

Şekil 3'de görüldüğü üzere, bu elemanda bir doğrultu sonsuza giderken ( $0 \leq \xi \leq \infty$ ) diğer doğrultular sonlu bir boyuta sahiptir ( $-1 \leq \eta \leq +1$ ,  $-1 \leq \zeta \leq +1$ ). Gerçek eleman ile referans elemanı arasındaki geometrik dönüşüm,

$$x = \sum_{i=1}^{12} M_i x_i \quad y = \sum_{i=1}^{12} M_i y_i \quad z = \sum_{i=1}^{12} M_i z_i \quad (8)$$

şeklinde tariflenmektedir. Yukarıda görülen  $M_i$  geometrik şekil fonksiyonlarıdır (10). Sonsuz elemanın herhangi bir noktasındaki deplasmanların dönüşümü, interpolasyon şekil fonksiyonları ve düğüm noktaları deplasmanları kullanılarak şu şekilde yazılabilir.

$$u = \sum_{i=1}^8 N_i u_i \quad v = \sum_{i=1}^8 N_i v_i \quad w = \sum_{i=1}^8 N_i w_i \quad (9)$$

Oniki düğümlü sonsuz elemana ait interpolasyon şekil fonksiyonları dalgaların sonsuzda sıfıra gitmesini sağlayacak şekilde, azalan fonksiyonlu olarak,

$$N_i = P(\xi, \omega) L_i(\eta, \zeta) \quad i = 1, 2, 3, \dots, 8 \quad (10)$$

formunda seçilmektedir. Burada görülen  $L_i(\eta, \zeta)$  ifadeleri,

$$\begin{aligned} L_1 &= \frac{1}{4}(1-\eta)(1-\zeta)(-1-\eta-\zeta) & L_2 &= \frac{1}{2}(1-\eta)(1-\zeta^2) \\ L_3 &= \frac{1}{4}(1-\eta)(1+\zeta)(-1-\eta+\zeta) & L_4 &= \frac{1}{2}(1-\eta^2)(1+\zeta) \\ L_5 &= \frac{1}{4}(1+\eta)(1+\zeta)(-1+\eta+\zeta) & L_6 &= \frac{1}{2}(1+\eta)(1-\zeta^2) \\ L_7 &= \frac{1}{4}(1+\eta)(1-\zeta)(-1+\eta-\zeta) & L_8 &= \frac{1}{2}(1-\eta^2)(1-\zeta) \end{aligned} \quad (11)$$

olarak alınmaktadır. Ayrıca  $P(\xi, \omega)$  deplasman yayılma fonksiyonu olup,

$$P(\xi, \omega) = e^{-(\alpha+i\beta)\xi} \quad \beta = \frac{\omega}{c} L \quad (12)$$

şeklinde olduğu kabul edilmektedir. Burada görülen  $\alpha$  ve  $\beta$  sırasıyla deplasman genlik azaltma parametresi ve dalga sayılarını göstermektedir.  $c$  ise dalga hızını temsil etmektedir.  $L$  ise sonsuz eleman için karakteristik boy değeridir. Bu durumda sonsuz elemana ait şekil fonksiyonları matrisi

$$\begin{aligned} [N] &= e^{-(\alpha+i\beta)\xi} \begin{bmatrix} L_1 & 0 & 0 & \dots & L_8 & 0 & 0 \\ 0 & L_1 & 0 & \dots & 0 & L_8 & 0 \\ 0 & 0 & L_1 & \dots & 0 & 0 & L_8 \end{bmatrix} \\ [N] &= e^{-(\alpha+i\beta)\xi} [N^*] \end{aligned} \quad (13)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu ifadeler kullanılarak, eleman rijitlik ve kütle matrisleri referans koordinatlarına dönüşmüş olarak,

$$[k^s]_{(24 \times 24)} = \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} \int_0^{\infty} \left( [B^*]^T [D] [B^*] |J| \right) e^{-2(\alpha+i\beta)\xi} d\xi d\eta d\zeta \quad (14)$$

$$[m^s]_{(24 \times 24)} = \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} \int_0^{\infty} \left( \rho [N^*]^T [N^*] |J| \right) e^{-2(\alpha+i\beta)\xi} d\xi d\eta d\zeta \quad (15)$$

şeklinde elde edilir.

Sonsuz eleman rijitlik ve kütle matrisi ifadeleri içinde yer alan integrallerin hesabı, sonlu yönde Gauss-Legendre integrasyon yöntemiyle, sonsuz yöndeki integraller ise Newton-Cotes yöntemi ile hesaplanmaktadır (8). (14) ve (15) ifadeleri yardımıyla sonsuz elemanların her biri için elde edilen eleman rijitlik ve kütle matrisleri, kodlama tekniği yardımıyla sistem rijitlik ve sistem kütle matrislerinin uygun yerlerine eklenir.

Yarı sonsuz ortamda yapı-zemin etkileşim analizi incelenirken, kaynaktan uzağa yerleştirilen sonsuz elemanların amaçlarından biri de, ortam içinde yayılan dalgaların sonlu elemanların bittiği yerden (sınırdan) geçip sonsuzda sıfır olmasıdır. Bir başka deyişle, dalgaların sınıra çarpıp yansyarak tekrardan ortama dönmelerini engellemektir. Bu çalışmada önerilen sonsuz elemanlarla, ortamda yayılan elastik dalgaların sınırdan geçip sonsuzda sıfır olması sağlanarak, yansımalar önlenmektedir.

## 5. UYGULAMALAR

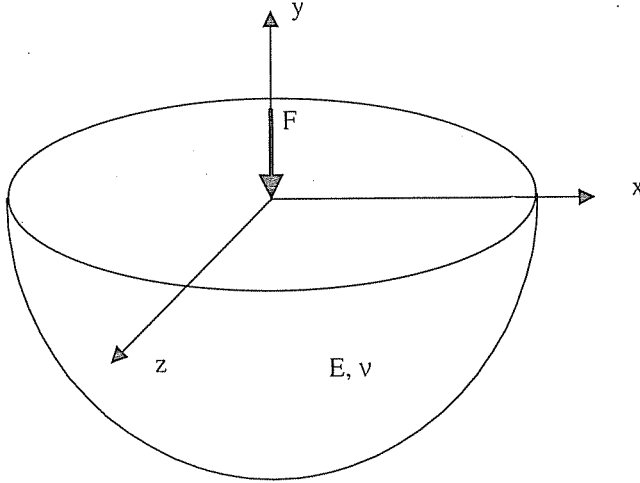
Yukarıda önerilen model ile ilk önce statik yükleme etkisi altındaki bir problem incelenmiştir. Statik yükleme durumunda sistemi idare eden denklem, ivme ve hız değerleri olmadığından ( $\omega=0$  durumu), şu hali almaktadır.

$$[K] \{U_d\} = \{F\} \quad (16)$$

Daha sonra harmonik yükleme etkisi altındaki bir örnek ele alınmıştır.

### 5.1. Boussinesq Problemi

Statik yükleme durumu için ele alınan örnek, Boussinesq problemi olarak bilinen sistemdir. Bu örnekte izotrop, elastik yarı sonsuz ortamın yüzeyine dik statik tekil bir yük etmektedir (Şekil 4). Yarı sonsuz ortama ait malzeme özellikleri,  $E = 5 \times 10^4$  kN/m<sup>2</sup>,  $\nu = 0.3$  ve tekil yük  $F = 3000$  kN olarak seçilmiştir.



Şekil 4. Boussinesq problemi

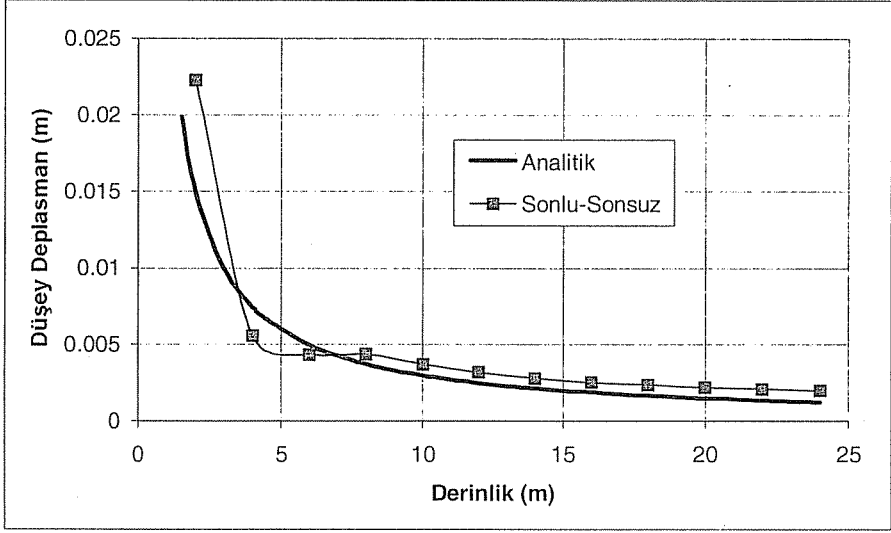
Eksenel dönele simetrik olan bu problemin analitik çözümü Timoshenko ve Goodier (1951)'de verilmektedir. Yükün altında, derinlik boyunca düşey deplasmanın değişimi,

$$(v)_{x=0} = \frac{P}{2\pi E r} (1 + \nu)(3 - 2\nu) \quad (17)$$

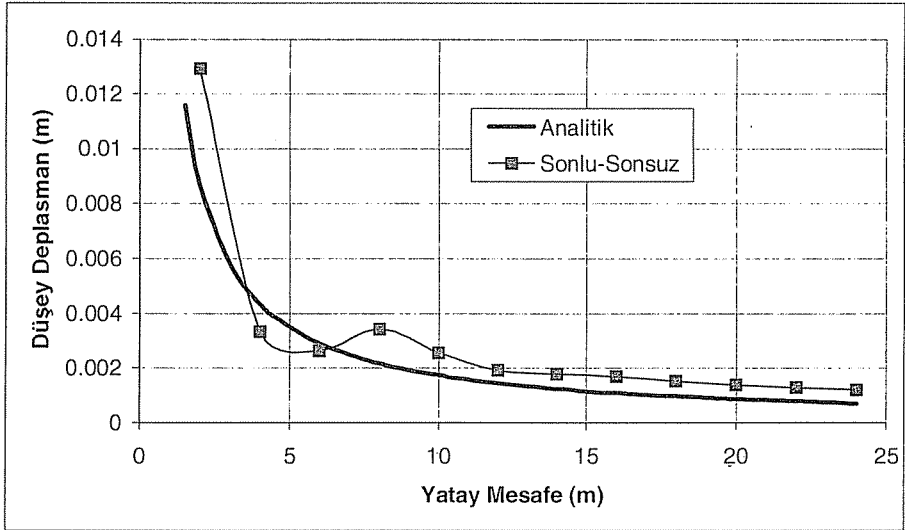
şeklinde verilmektedir. Buradaki r ifadesi, simetri eksenini üzerinde ölçülen uzaklıktır. Yüzeydeki düşey yer değiştirmeler,

$$(v)_{y=0} = \frac{P}{\pi E r} (1 - \nu^2) \quad (18)$$

şeklinde verilmektedir. Bu eşitliklerdeki  $r$  ifadesi, yüzeyde, başlangıçtan itibaren radyal doğrultuda ölçülmektedir. Kesin çözümü bilinen bu problem, sonlu-sonsuz eleman modeliyle çözülmüştür. Yükün hemen altındaki düşey deplasmanın derinlik boyunca değişimi Şekil 5'de verilmektedir.



Şekil 5. Yükün altındaki düşey deplasmanın derinlik boyunca değişimi



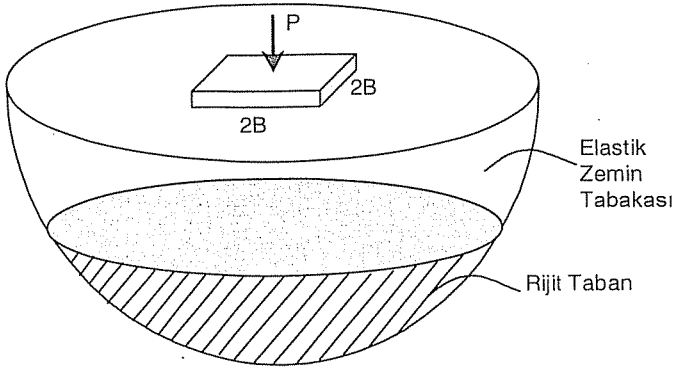
Şekil 6. Yüzeydeki noktaların düşey deplasmanları



Bu problem için yüzeydeki noktaların düşey deplasmanları da karşılaştırılmıştır (Şekil 6). Yukarıdaki şekillerden de görüldüğü gibi 20 düğümlü kuadratik eleman ile bulunan sonuçlar kesin sonuçlara oldukça yakındır. Sonlu-sonsuz eleman modeli ile elde edilen sonuçların analitik sonuçlarla uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

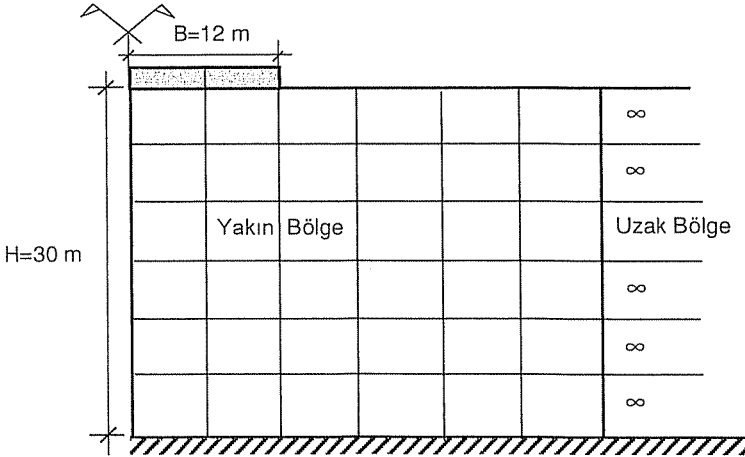
## 5.2. Elastik Zemin Tabakası Üzerinde Rijit Kare Temel Problemi

Tabanı rijit olan elastik bir zemin tabakası üzerinde bulunan kütsüz, rijit,  $2B \times 2B$  boyutlu kare bir temele ait düşey kompleyans değerleri incelenmektedir (Şekil 7). Elastik zemine ait malzeme özellikleri,  $E=24 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ ,  $\nu=1/3$  ve  $\rho=2400 \text{ kg/m}^3$  olarak seçilmiştir.



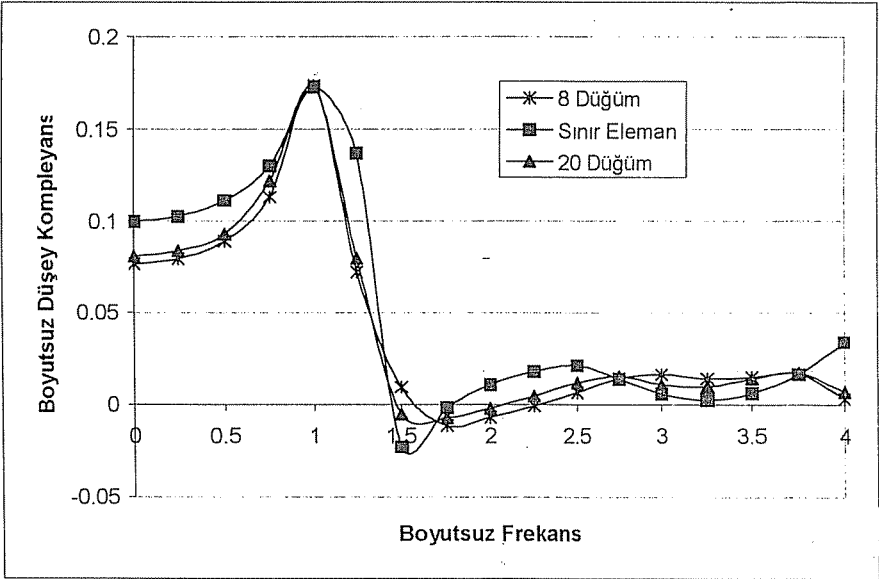
Şekil 7. Rijit tabana oturan zemin tabakası üzerinde rijit kare temel

Elastik tabaka 30 m kalınlığında ve temel yarı genişliği  $B=12 \text{ m}$  olarak alınmıştır. Simetriden dolayı dörtte bir bölge gözönüne alınmıştır (Şekil 8).

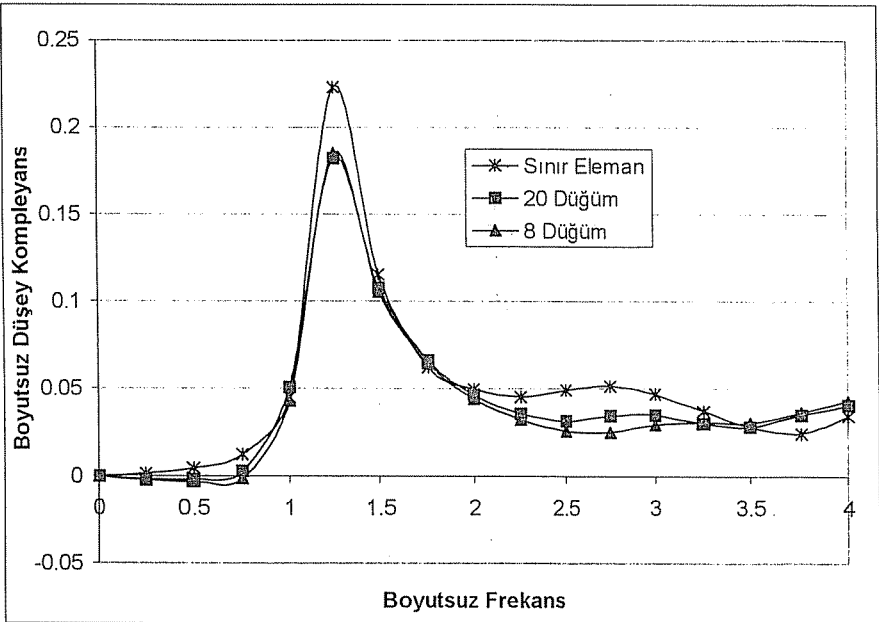


Şekil 8. Zemin tabakası üzerinde rijit kare temel (karşıdan görünüş)

Sonlu-sonsuz eleman modeli kullanılarak düşey komplemans değerleri elde edilmiştir. Şekil 9'da reel kısmın boyutsuz frekansla değişimi, Şekil 10'da ise imajiner kısmın boyutsuz frekansla değişimi verilmiştir.



Şekil 9. Boyutsuz düşey komplemansın reel kısmı



Şekil 10. Boyutsuz düşey komplemansın imajiner kısmı

Bu örnekte görülen sınır eleman sonuçları, Mengi ve diğ. (1994) tarafından hazırlanan sınır eleman metoduna dayalı program kullanılarak elde edilmiştir. 8 düğümlü sonlu-sonsuz eleman sonuçları ise Yerli (1998)'den alınmıştır. Grafiklerden sonuçların birbirleri ile oldukça uyumlu oldukları görülmektedir.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, statik ve harmonik yüklemeye etkisi altındaki üç boyutlu yapı-zemin etkileşimi problemleri incelenmiştir. Harmonik yüklemeye durumu için formülasyon kompleks uzayda geliştirilmiştir. Yapı ve yakın bölge için 20 düğümlü kuadratik sonlu elemanlar kullanılırken uzak bölge için 12 düğümlü sonsuz elemanlar kullanılmıştır. Kullanılan sonsuz elemanlar, dalgaların yayılması ve sonsuzda sıfır olması durumunu dikkate alacak şekilde tasarlanmıştır. Daha önce analitik olarak çözülen veya başka yöntemlerle çözümü yapılan problemler, önerilen modelle çözülmüş ve sonuçların uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir. Ayrıca bu modelin uygulanması durumunda elde edilen denklem takımı simetrik ve bant tipi matrislerden oluşmaktadır. Bu da özellikle üç boyutlu problemlerde oluşan denklem takımlarının çözümünde bilgisayar hafızası ve zamandan önemli ölçüde tasarruf sağlamaktadır.

## 7. KAYNAKLAR

1. Lysmer, J., and Kuhlemeyer, R.L., "Finite Dynamic Model for Infinite Media", *J. Engrg. Mech. Div., ASCE*, 95: (1969) 859-877.
2. Murakami, H., Shioya, S., Yamada, I. and Luco, J.E., "Transmitting Boundaries for Time-Harmonic Elastodynamics on Infinite Domains", *Int. J. Num. Meth. Engrg.*, 17: (1981) 1697-1716.
3. Gaitanaros, A.P. and Karabalis, D.L., "Dynamic Analysis of 3-D Flexible Embedded Foundations by a Frequency Domain BEM-FEM", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 16: (1988) 653-674.
4. Von Estorff, O. and Kausel, E., "Coupling of Boundary and Finite Elements for Soil-Structure Interaction Problems", *Earthquake Engrg. Struc. Dyn.*, 18: (1989) 1065-1075.
5. Karabalis, D.L. and Beskos, D.E., "Dynamic Response of 3-D Rigid Surface Foundations by Time Domain Boundary Element Method", *Earthquake Engrg. Struc. Dyn.*, 12: (1984) 73-93.
6. Von Estorff, O. and Firuzian, M., "Coupled BEM/FEM Approach for Non-Linear Soil-Structure Interaction", *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 24: (2000) 715-725.
7. Chongbin, Z. and Valliappan, S., "A Dynamic Infinite Element for Three-Dimensional Infinite-Domain Wave Problems", *Int. J. Num. Meth. Engrg.*, 36: (1993) 2567-2580.
8. Yerli, H.R., "İki ve Üç boyutlu Yapı-Zemin Etkileşimi Problemlerinin Sonlu ve Sonsuz Elemanlar Kullanılarak Analizi", *Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1998.*
9. Cook, R.D., Malkus, D.S. and Plesha, M.E., "Concepts and Applications of Finite Element Analysis", *John Wiley and Sons, Singapore, 1989.*

10. Kaçın,S., “Üç boyutlu Yapı-Zemin Etkileşimi Problemlerinin Kuadratik Sonlu ve Sonsuz Elemanlar Kullanarak Statik ve Dinamik Analizi”, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2002.

11. Timoshenko,S. and Goodier,J.N., “Theory of Elasticity”, McGraw-Hill, New York, 1951.

12. Mengi,Y., Tanrıku, A.H. and Tanrıku, A.K., “Boundary Element Method for Elastic Media - An Introduction”, ODTÜ Basım İşliğı, Ankara, 1994.

## ZAMANLA KEYFİ DEĞİŞEN YÜKLEME ETKİSİ ALTINDAKİ ÜÇ BOYUTLU YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİ ANALİZİ

Selçuk KAÇIN

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

Hüseyin R. YERLİ

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

**ÖZET :** Bu çalışmada, elastik ve/veya visko-elastik üç boyutlu yapı-zemin etkileşimi problemleri, sonlu ve sonsuz elemanlar kullanılarak incelenmiştir. Yapı ve yapıya yakın bölge kuadratik sonlu elemanlar ile modellenmiş, uzak bölge ise dalga yayılma şartlarını sağlayan sonsuz elemanlar ile modellenmiştir. Bu yöntemle zamanla keyfi olarak değişen yükleme etkisindeki sistemler incelenmiştir. Zamanla keyfi olarak değişen yükleme durumunda çözüm Laplace dönüşüm uzayında yapılmıştır. Sonlu-sonsuz eleman modeli kullanılarak bulunan sonuçlar, literatürde mevcut çözümler ile karşılaştırılmıştır.

### THREE DIMENSIONAL SOIL-STRUCTURE INTERACTION ANALYSIS UNDER THE EFFECT OF TRANSIENT LOADING

**ABSTRACT :** In this study, elastic and/or visco-elastic three dimensional Soil-Structure Interaction (SSI) problems are investigated by coupling of finite and infinite elements. By this model, problems are analysed by discretizing the near field with quadratic finite elements and the far field extending to infinity with infinite elements. The method is used for transient loading problems. In the case of transient loading the formulation is performed in Laplace domain. The results of several sample problems are solved by the model proposed in this study are compared with those available in the literature.

## 1. GİRİŞ

Yapı mühendisliği açısından yapı ile zemin arasındaki etkileşim oldukça önemlidir. Özellikle dinamik analiz yapılırken, yapı ile zemin arasındaki etkileşim önemli etkilere yol açabilmektedir. Bu nedenle, bu tür yapıların analizleri yapılırken yapı ile zemin arasındaki etkileşim mutlaka hesaplarda gözönüne alınmalıdır.

Yeryüzündeki bazı dinamik aktivitelerden (dinamik makina yükleri, trafik yükü, rüzgar yükü, çarpışmalar vb.) dolayı yeraltındaki yapılarda meydana gelen etkileri hesaplamak için yapı-zemin etkileşimi problemlerinin çözülmesi gerekmektedir. Yeraltındaki ve yeryüzündeki dinamik yüklerden dolayı meydana gelen etkiler yapı-zemin etkileşimi gözönüne alınarak hesaplanmalı ve bunlara göre yapıların güvenli bir şekilde inşa edilmelidir.

Yapı-zemin etkileşimi problemlerinde iki önemli bileşen vardır. Sonlu bir boyuta sahip olan yapı ve sonsuza uzanan zemin. Bu tip problemlerin analizinde, sonlu elemanlar yöntemi oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemle yapıda oluşan kuvvetler ve gerilmeler kolayca hesaplanabilmektedir. Bununla birlikte, sonsuza uzanan zemin için önemli bir problem mevcuttur. Analiz sırasında sonsuza uzanan zeminin ne kadarının gözönüne alınacağı ve alınan bu zemin parçasının sınırları oldukça önemlidir. Çünkü, zemin içerisinde, dinamik etkiye yol açan dalgalar kaynaktan sonsuza doğru gitmektedir. Sonsuza uzanan ortamın, belirli bir kısmını gözönüne almakla, zemin için yapay bir sınır belirlenmiş olmaktadır. Bundan dolayı, yapı-zemin etkileşimi problemlerinde, yapay sınırdan enerji geçişi matematiksel olarak gerçekçi bir şekilde ifade edilmelidir.

Yapı-zemin etkileşimi problemlerinin çözümünde, ortamda yayılan dalgaların sonsuzda sıfır olmasını sağlayacak etkili bir yöntem, yakın bölge için sonlu elemanlar, uzak bölge içinse sonsuz elemanların kullanılmasıdır (1). Burada uzak bölge olarak anılan yer sonlu eleman ağının bittiği sınırlardır. Burada kullanılan sonsuz elemanlar, ortamda yayılan ve sonsuza giden dalgaları idealize edecek şekilde seçilmektedir. Bu yöntem uygulandığında sistemi idare eden denklem takımı simetrik ve bant tipi matrisler oluşmaktadır. Bu özellik üç boyutlu problemlerde hem matrislerin saklanması bakımından hafıza problemlerini azaltmakta hem de çözümü kolaylaştırmaktadır.

Bu çalışmada, yapı-zemin etkileşimi problemlerinin çözümünde, yakın bölge için kuadratik sonlu elemanlar kullanılmış, uzak bölge için sonsuz elemanlar kullanılarak sistem modellenmiştir. Kullanılan bu modelle zamanla keyfi değişen yükleme etkisi altındaki yapı-zemin etkileşimi problemleri çözülmüştür. Yapı-zemin etkileşimi problemleri zaman uzayında ele alındığı gibi, dönüşüm teknikleri (Laplace ve Fourier) kullanılarak dönüşmüş uzayda da incelenmektedir. Bu çalışmada, üç boyutlu yapı-zemin etkileşimi problemlerinin formülasyonu Laplace dönüşüm uzayında yapılmaktadır. Dönüşüm uzayında çözüm bulunduğundan sonra zaman uzayına geçiş için Durbin'in sayısal ters Laplace dönüşüm metodu kullanılmaktadır (2). Sonlu eleman formülasyonu sonucu bulunan sonlu ve sonsuz eleman matrisleri sayısal olarak hesaplanmaktadır.

## 2. YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİ

Üç boyutlu elastodinamik yapı-zemin etkileşimi problemlerinin zamanla keyfi değişen yükleme etkisi altındaki davranışları incelenmektedir. Burada, yapı-zemin

etkileşim sistemleri (sonlu bir boyuta sahip olan üst yapı ile yarı sonsuz zemin) sonlu ve sonsuz elemanlar kullanılarak incelenmektedir. Yarı sonsuz geometriye sahip zemin, kaynağa yakın bölgede yirmi düğümlü kuadratik sonlu elemanlarla modellenirken, uzak bölgeler için ise oniki düğümlü sonsuz elemanlar kullanılmıştır. Kullanılan sonsuz elemanlar dalga yayılma şartlarını sağlayacak şekilde seçilmiştir. Yakın bölge için kullanılan sonlu elemanlar ile uzak bölge için uygulanan sonsuz eleman modelinin birlikte kullanılması oldukça kolaydır ve ek bir işlem gerektirmemektedir.

Zamanla keyfi olarak değişen yüklenme durumunda formülasyonun tamamı, Laplace dönüşüm uzayında yapılmaktadır. Laplace dönüşüm uzayında sistem hareket denklemi, viskoelastik malzemelerin de gözönüne alınabilmesi için,

$$\left( (1+gs) [\bar{K}] + s^2 [\bar{M}] \right) \{ \bar{U}_d \} = \{ \bar{P}(s) \} \quad (1)$$

formunda yazılabilir. Burada  $\{ \bar{P}(s) \}$  vektörü, dıştan etkiyen yükün Laplace dönüşümünü temsil etmektedir. Davranışı ifade eden hareket denklemi, zaman uzayında ikinci mertebeden diferansiyel denklem takımı iken, Laplace dönüşüm uzayında kompleks katsayılı lineer cebrik denklem takımı haline dönüşmektedir. Yine bu denklemde görülen  $g$  viskoz sönüm oranını temsil etmektedir. Laplace dönüşüm uzayında elde edilen bu kompleks katsayılı, lineer cebrik denklem takımı bir dizi  $s$  parametresi için çözümlenerek davranış bulunmaktadır. Daha sonra ters Laplace dönüşüm alınarak, zaman uzayında aranan büyüklükler hesap edilmektedir (1).

(1) bağıntısında görülen, sistem rijitlik ve kütle matrisleri, hem sonlu hemde sonsuz elemanlardan gelen katkıları içermektedir. Bu matrisler, yakın ve uzak bölgelere ait sistem matrislerinin toplamı şeklinde düşümlürse, yakın bölgeye ait olan sistem matrisleri, Laplace dönüşüm parametresinden bağımsızdır. Bu nedenle sonlu elemanların kullanıldığı yakın bölgede sistem matrislerinin bir defa oluşturulması yeterli olmaktadır.

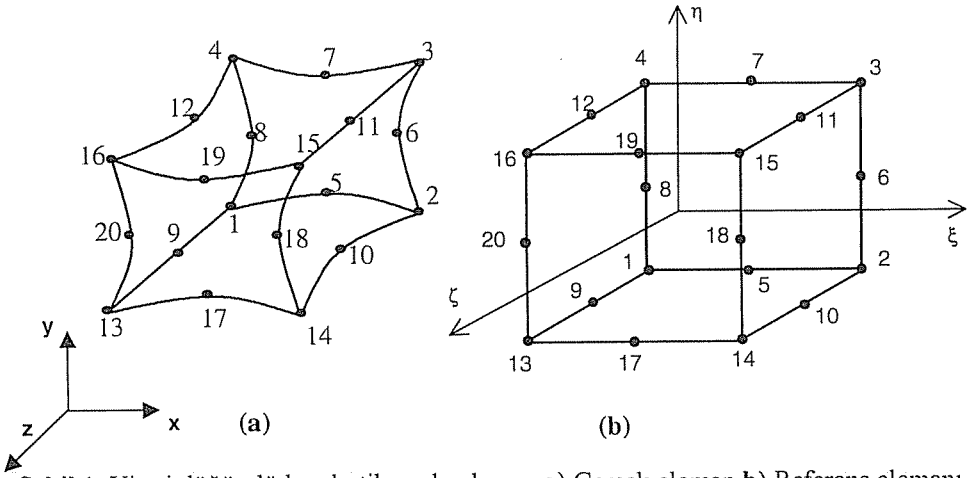
### 3. SONLU ELEMAN SEÇİMİ

Bu çalışmada kuadratik yirmi düğümlü, izoparametrik eleman kullanılmıştır (Şekil 1). Bu elemana ait eleman rijitlik ve kütle matrisleri referans koordinatlarında;

$$[k]_{(60 \times 60)} = \int_{\xi=-1}^{+1} \int_{\eta=-1}^{+1} \int_{\xi=-1}^{+1} [B]^T [D] [B] |J| d\xi d\eta d\zeta \quad (2)$$

$$[m]_{(60 \times 60)} = \int_{\xi=-1}^{+1} \int_{\eta=-1}^{+1} \int_{\xi=-1}^{+1} \rho [N]^T [N] |J| d\xi d\eta d\zeta$$

olarak elde edilir. Bu ifadelerde görülen şekil fonksiyonları kuadratik yirmi düğümlü elemana ait şekil fonksiyonlarıdır (3). Burada görülen  $|J|$ , Jacobian matrisinin determinantını,  $[B]$  ise şekil değiştirme matrisini ifade etmektedir. Yukarıdaki sonlu integraller Gauss-Legendre sayısal integrasyon yöntemi kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu çalışmada üç noktalı Gauss integrasyon kullanılmıştır.

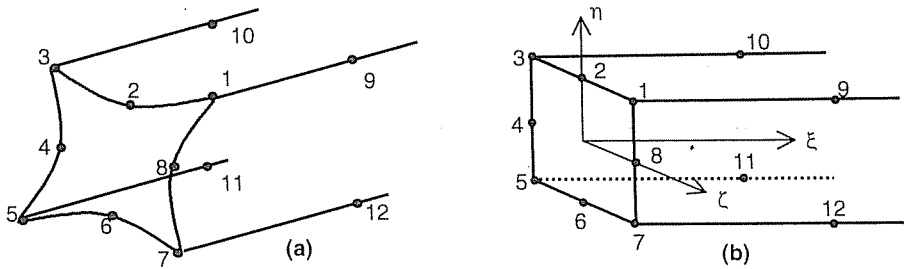


Şekil 1. Yirmi düğümlü kuadratik sonlu eleman a) Gerçek eleman b) Referans elemanı

(2) ifadesi ile her bir sonlu eleman için elde edilen eleman rijitlik ve kütle matrisleri kullanılarak kodlama tekniği yardımıyla, sistem rijitlik ve sistem kütle matrisleri oluşturulur.

#### 4. SONSUZ ELEMAN SEÇİMİ

Bu çalışmada yarı sonsuz ortamların modellenmesinde, uzak bölgelerde sonsuz elemanlar kullanılmaktadır. Sonsuz eleman formülasyonu, dalga yayılma şartlarını sağlayacak şekilde düzenlenmiştir. Kuadratik 20 düğümlü sonlu eleman modeline uygun olan 12 düğümlü sonsuz elemanlar kullanılmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Oniki düğümlü sonsuz eleman (a) Gerçek eleman (b) Referans elemanı

Şekil 2'de görüldüğü üzere, bu elemanda bir doğrultu sonsuza giderken ( $0 \leq \xi \leq \infty$ ) diğer doğrultular sonlu bir boyuta sahiptir ( $-1 \leq \eta \leq +1$ ,  $-1 \leq \zeta \leq +1$ ). Gerçek eleman ile referans elemanı arasındaki geometrik dönüşüm,

$$x = \sum_{i=1}^{12} M_i x_i \quad y = \sum_{i=1}^{12} M_i y_i \quad z = \sum_{i=1}^{12} M_i z_i \quad (3)$$



şeklinde tariflenmektedir. Yukarıda görülen  $M_i$  geometrik şekil fonksiyonlarıdır (4). Sonsuz elemanın herhangi bir noktasındaki deplasmanların dönüşümü, interpolasyon şekil fonksiyonları ve düğüm noktaları deplasmanları cinsinden şu şekilde yazılabilir.

$$\bar{u} = \sum_{i=1}^8 \bar{N}_i \bar{u}_i \quad \bar{v} = \sum_{i=1}^8 \bar{N}_i \bar{v}_i \quad \bar{w} = \sum_{i=1}^8 \bar{N}_i \bar{w}_i \quad (4)$$

Oniki düğümlü sonsuz elemana ait interpolasyon şekil fonksiyonları dalgaların sonsuzda sifıra gitmesini sağlayacak şekilde, azalan fonksiyonlu olarak,

$$\bar{N}_i = \bar{P}(\xi, s) L_i(\eta, \zeta) \quad i = 1, 2, 3, \dots, 8 \quad (5)$$

formunda seçilmektedir. Burada görülen  $L_i(\eta, \zeta)$  ifadeleri,

$$\begin{aligned} L_1 &= \frac{1}{4}(1-\eta)(1-\zeta)(-1-\eta-\zeta) & L_2 &= \frac{1}{2}(1-\eta)(1-\zeta^2) \\ L_3 &= \frac{1}{4}(1-\eta)(1+\zeta)(-1-\eta+\zeta) & L_4 &= \frac{1}{2}(1-\eta^2)(1+\zeta) \\ L_5 &= \frac{1}{4}(1+\eta)(1+\zeta)(-1+\eta+\zeta) & L_6 &= \frac{1}{2}(1+\eta)(1-\zeta^2) \\ L_7 &= \frac{1}{4}(1+\eta)(1-\zeta)(-1+\eta-\zeta) & L_8 &= \frac{1}{2}(1-\eta^2)(1-\zeta) \end{aligned} \quad (6)$$

olarak alınmaktadır. Ayrıca  $\bar{P}(\xi, s)$ , Laplace dönüşüm uzayında deplasman yayılma fonksiyonu olup,

$$\bar{P}(\xi, s) = e^{-(\alpha+\beta)\xi} \quad \beta = \frac{s}{c} L \quad (7)$$

şeklinde olduğu kabul edilmektedir. Burada görülen  $\alpha$  ve  $\beta$  sırasıyla deplasman genlik azaltma parametresi ve dalga sayılarını göstermektedir. Kompleks bir sayı olan  $s$ , Laplace parametresini,  $c$  dalga hızını temsil etmektedir.  $L$  ise sonsuz eleman için karakteristik boy değeridir.

Daha önce (5) nolu denklemde verilen şekil fonksiyonlarının referans koordinatlarına göre türevleri

$$\begin{aligned} \bar{N}_i &= L_i e^{-(\alpha+\beta)\xi} \\ \bar{N}_{i,\xi} &= -(\alpha+\beta) L_i e^{-(\alpha+\beta)\xi} \\ \bar{N}_{i,\eta} &= L_{i,\eta} e^{-(\alpha+\beta)\xi} \\ \bar{N}_{i,\zeta} &= L_{i,\zeta} e^{-(\alpha+\beta)\xi} \end{aligned} \quad (8)$$

olur. Bu tariflere göre şekil fonksiyonları matrisi,

$$\begin{aligned} [\bar{N}] &= e^{-(\alpha+\beta)\xi} \begin{bmatrix} L_1 & 0 & 0 & \dots & L_8 & 0 & 0 \\ 0 & L_1 & 0 & \dots & 0 & L_8 & 0 \\ 0 & 0 & L_1 & \dots & 0 & 0 & L_8 \end{bmatrix} \\ [\bar{N}] &= e^{-(\alpha+\beta)\xi} [\bar{N}^*] \end{aligned} \quad (9)$$

şeklinde elde edilmektedir. Bu form gözönüne alınırsa, eleman kütle matrisi referans koordinatlarına dönüşmüş olarak,

$$\left[ \bar{m}^S \right]_{(24 \times 24)} = \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} \int_0^{\infty} \left( \rho \left[ \bar{N}^* \right]^T \left[ \bar{N}^* \right] |J| \right) e^{-2(\alpha+\beta)\xi} d\xi d\eta d\zeta \quad (10)$$

olarak bulunur. Şekil değiştirme matrisi ise, şekil fonksiyonlarının türevleri kullanılarak,

$$\left[ \bar{B} \right]_{(6 \times 12)} = e^{-(\alpha+\beta)\xi} \left[ \bar{B}^* \right] \quad (11)$$

şekline dönüşür. Bu durumda, referans koordinatlarında eleman rijitlik matrisi,

$$\left[ \bar{k}^S \right]_{(24 \times 24)} = \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} \int_0^{\infty} \left( \left[ \bar{B}^* \right]^T [D] \left[ \bar{B}^* \right] |J| \right) e^{-2(\alpha+\beta)\xi} d\xi d\eta d\zeta \quad (12)$$

şeklinde bulunmaktadır. Eleman matrisleri, (10) ve (12)'de görüldüğü formda elde edildikten sonra, sonlu yönde 3 noktalı Gauss-Legendre, sonsuz yönde ise 12 noktalı Newton-Cotes integrasyon yöntemi uygulanarak sayısal olarak hesaplanmaktadır (1). (10) ve (12) ifadeleri yardımıyla sonsuz elemanların her biri için elde edilen eleman rijitlik ve kütle matrisleri, kodlama tekniği yardımıyla sistem rijitlik ve sistem kütle matrislerinin uygun yerlerine eklenir.

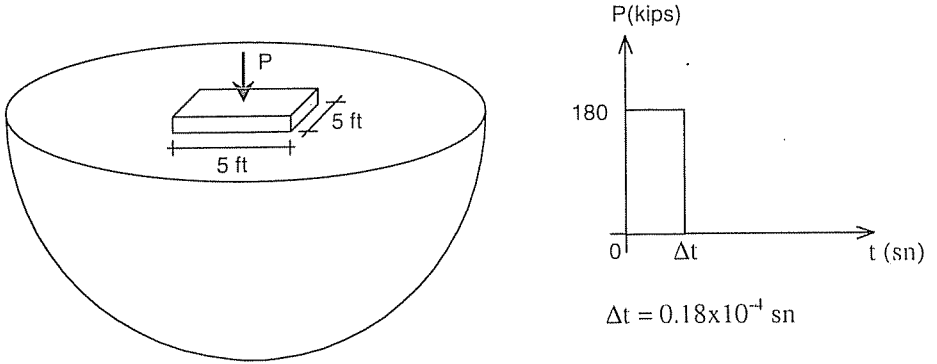
Yarı sonsuz ortamda yapı-zemin etkileşim analizi incelenirken, kaynaktan uzağa yerleştirilen sonsuz elemanların amaçlarından biri de, ortam içinde yayılan dalgaların sonlu elemanların bittiği yerden (sınırdan) geçip sonsuzda sıfır olmasıdır. Bir başka deyişle, dalgaların sınıra çarpıp yansiyarak tekrardan ortama dönmesini engellemektir. Bu çalışmada önerilen sonsuz elemanlarla, ortamda yayılan elastik dalgaların sınırdan geçip sonsuzda sıfır olması sağlanarak, yansımalar önlenmektedir.

## 5. SAYISAL UYGULAMALAR

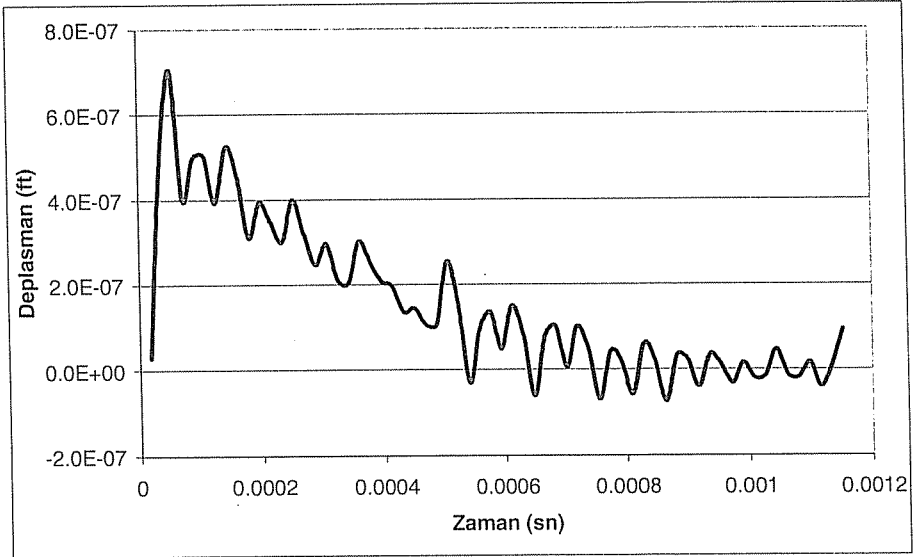
Bu çalışmada önerilen sonlu-sonsuz eleman modelinin kullanılması ve güvenilirliğinin tespiti için iki farklı örnek ele alınmıştır. Önerilen model ile bulunan sonuçlar, literatürde mevcut olan sonuçlarla ve SASSI paket program sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

### 5.1. Elastik Zemin Üzerinde Rijit Kare Temel

Elastik yarı sonsuz zemin üzerinde bulunan kütsüz, rijit bir kare temel ani dikdörtgen tipi dinamik düşey yüklemeye maruz bırakılmıştır (Şekil 3). Bu örnek daha önceden Karabalis ve Beskos (1984) tarafından çözülmüş olup zemine ait malzeme özellikleri ve yüklemeye oradan alınmıştır. Burada, elastik zeminin malzeme özellikleri,  $E=2.58984 \times 10^9$  lb/ft<sup>2</sup>,  $\nu=1/3$  ve  $\rho=10.368$  lbs<sup>2</sup>/ft<sup>4</sup> olarak kullanılmaktadır. Sistemin geometrisi ve yüklemesi aşağıdaki şekilde görülmektedir. Bu yüklemenin etkisinde, temelin altındaki noktanın düşey deplasmanının zamanla değişimi incelenmektedir (Şekil 4). Sistemin ve yüklemenin simetri özelliğinden dolayı dörtte bir bölge, 216 adet sonlu ve 108 adet sonsuz eleman ile modellenmiştir. Sonsuz elemanlarda deplasman azaltma parametresi  $\alpha=0.69$  seçilmiştir. Direk ve ters Laplace dönüşümleri için  $aT=6$  olarak seçilmiştir.



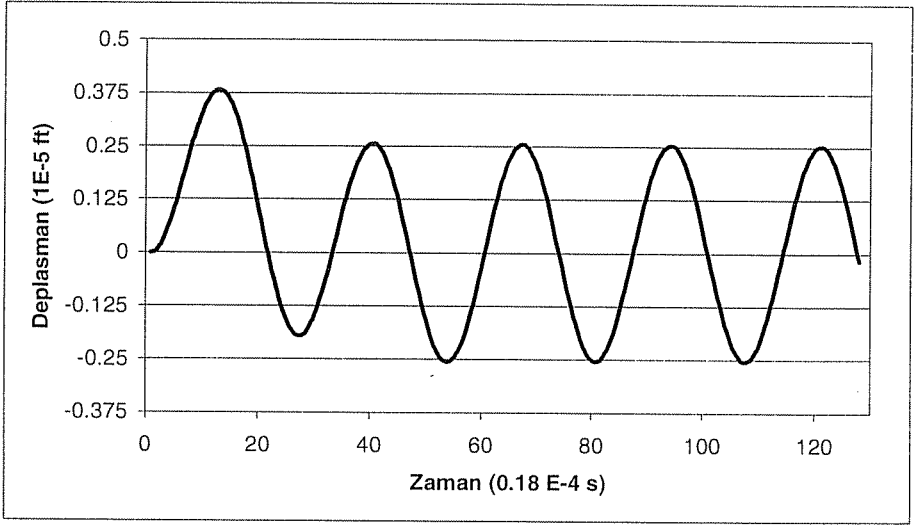
Şekil 3. Elastik zemin üzerinde rijit kare temelde zamanla değişen keyfi yük



Şekil 4. Temel altındaki noktanın deplasmanı

Sonuçlar grafik olarak karşılaştırıldığında, Karabalis ve Beskos (1984)'teki sonuçlarla oldukça uyumlu oldukları gözlemlenmiştir.

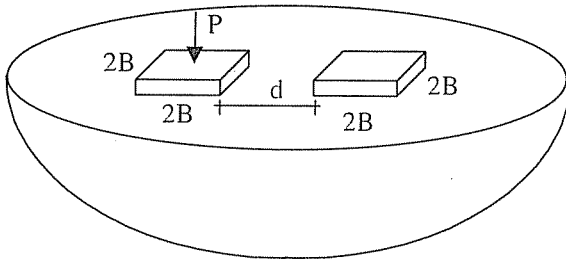
Aynı problem dinamik yükün sinüzoidal olması hali için de çözülmüştür. Bu çözümde  $P(t) = 180 \sin(13000t)$  kips olarak seçilmiştir. Sinüzoidal yüklemeye dolayı bulunan dikey deplasmanın zamanla değişimi aşağıda grafikte verilmiştir (Şekil 5). Ayrıca bu problem harmonik yüklemeye özelliğinden dolayı yukarıda verilen frekans ( $\omega=13000$  rad/s) ve genlik değeri ( $P_0=180$  kips) için çözümlenerek  $u=0.24225 \times 10^{-5}$  ft olarak bulunmuştur [1]. Kuadratik sonlu sonsuz elemanlar kullanılması durumunda ise  $u=0.254436 \times 10^{-5}$  ft bulunmuştur. Bu değerler incelendiğinde sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Temel altında, sinüzoidal yükten dolayı oluşan deplasman

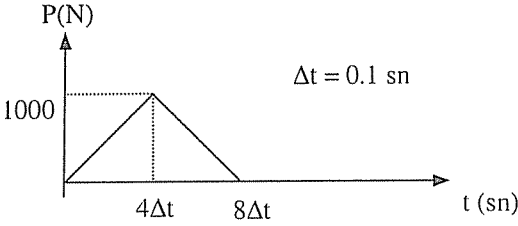
### 5.2. Elastik Yarı Sonsuz Zemin Üzerinde İki Temel

Üç boyutlu yapı zemin etkileşimi konusunun önemli problemlerinden biride, birden çok sayıda yapının veya yapı temelinin etkileşimi durumudur. Bu problemde dinamik analiz yapılırken ele alınan yapının yanında yer alan diğer bir yapının, incelenen sisteme etkisi araştırılmaktadır (Şekil 6). Yüklem yapıldığı temel aktif temel, diğer temel ise pasif temel olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 6. Elastik zemin üzerinde iki temel olması durumu

Ele alınan örnekte  $2B \times 2B$  boyutlarında yanyana iki temel incelenmiştir. Temel genişliği  $B=10$  m alınmıştır. Zeminin malzeme özellikleri;  $E = 24 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup>,  $\rho = 2400$  kg/m<sup>3</sup> ve  $\nu=1/3$  olarak alınmıştır. Kütleli temellerin ise  $E = 9 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup> ve  $\nu=1/3$  olarak alınmıştır. Aktif temele etki eden yük  $P = 1 \times 10^6$  N olarak seçilmiştir. Problemin çözümü için kullanılan sonlu-sonsuz eleman ağında 160 sonlu ve 112 sonsuz eleman bulunmaktadır. Sisteme etki eden yükün zamanla değişimi aşağıdaki gibidir.

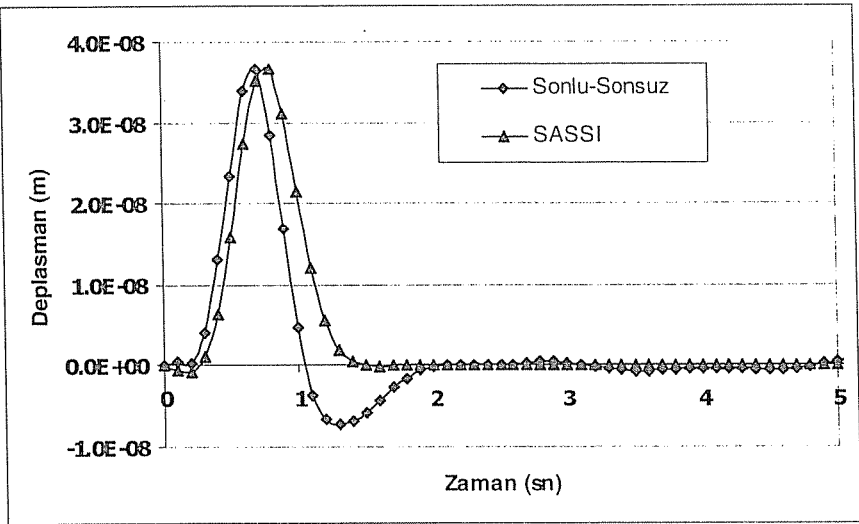


Şekil 7. Yükün zamanla değişimi

Elastik yarı sonsuz zemin üzerindeki iki temelden birinin tam merkezine etki eden bu yük, adım tipi üçgen yüklemedir. Bu örnekte  $\Delta t = 0.1$  sn seçilmiştir. Yük 0.8 sn etki etmektedir. Bu yükleme etkisi altında diğer temelin (pasif temel) merkezindeki deplasman incelenmiştir.

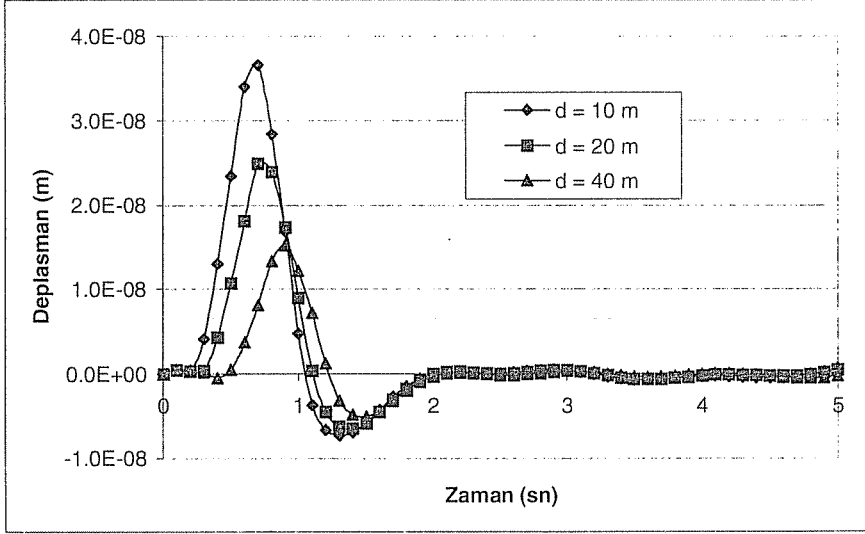
Bu problem aynı zamanda SASSI paket programıyla da çözülmüştür (6,7). SASSI, yapı zemin etkileşimi problemleri için altyapılara ayırma yöntemi ve yapay sınır şartlarını kullanarak çözüm yapan bir paket programdır. Özellikle nükleer santrallerin analizi için hazırlanmıştır. SASSI programıyla bu problem çözülmek istendiğinde direk olarak keyfi yükleme için çözüm yapılamamıştır. Bunun için ilk önce harmonik birim yükleme için deplasmanı aranan noktalardaki çözümler (kompleyans) elde edilmiştir. Daha sonra yükün Fourier dönüşümü ile kompleyans değerleri Fourier dönüşüm uzayında çarpılıp, Ters Fourier dönüşümü alınarak zaman uzayındaki çözümler elde edilmiştir.

Şekil 6'da görülen sistemde P yükü Şekil 7'de tarif edildiği gibi etki etmektedir. Temeller arasındaki mesafe  $d = 10$  metre için bu çalışmada hazırlanan programla ve SASSI ile elde edilen pasif temelin orta noktasındaki deplasman sonuçlarının değişimi aşağıda verilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Pasif temelin orta noktasındaki deplasmanın zamanla değişimi

Hazırlanan programla ve SASSI programıyla elde edilen sonuçların birbiriyle uyum içerisinde oldukları görülmektedir. Ayrıca bu örnek için, iki temel arasındaki d mesafesinin değişiminin sistemdeki etkisi incelenmiştir. Bunun için farklı d değerleri için çözümler yapılmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Pasif temelin orta noktasındaki deplasmanın farklı d değerleri için değişimi

Şekil 9'dan görüldüğü gibi iki temel arasındaki d mesafesi arttıkça deplasmanın maksimum değeri azalmaktadır. Ayrıca beklendiği gibi temeller arasındaki mesafe arttıkça hareket daha geç başlamaktadır.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, zamanla keyfi değişen yükleme etkisi altındaki üç boyutlu yapı-zemin etkileşimi problemleri incelenmiştir. Bu yükleme durumu için formülasyon Laplace dönüşüm uzayında geliştirilmiştir. Yapı ve yakın bölge için 20 düğümlü kuadratik sonlu elemanlar kullanılırken uzak bölge için 12 düğümlü sonsuz elemanlar kullanılmıştır. Kullanılan sonsuz elemanlar, dalgaların yayılması ve sonsuzda sıfır olması durumunu dikkate alacak şekilde tasarlanmıştır. Daha önce analitik olarak çözülen veya başka yöntemlerle çözümü yapılan problemler, önerilen modelle çözülmüş ve sonuçların uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir. Ayrıca bu modelin uygulanması durumunda elde edilen denklem takımı simetrik ve bant tipi matrislerden oluşmaktadır. Bu da özellikle üç boyutlu problemlerde oluşan denklem takımlarının çözümünde bilgisayar hafızası ve zamandan önemli ölçüde tasarruf sağlamaktadır.

## 7. KAYNAKLAR

1. Yerli,H.R., “İki ve Üç boyutlu Yapı-Zemin Etkileşimi Problemlerinin Sonlu ve Sonsuz Elemanlar Kullanılarak Analizi”, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1998.
2. Durbin,F., “Numerical Inversion of Laplace Transforms: An Efficient Improvement to Dubner and Abate’s Method”, *The Computer Journal*, 17(4):(1974) 371-376.
3. Cook,R.D., Malkus,D.S. and Plesha,M.E., “Concepts and Applications of Finite Element Analysis”, John Wiley and Sons, Singapore, 1989.
4. Kaçın,S., “Üç boyutlu Yapı-Zemin Etkileşimi Problemlerinin Kuadratik Sonlu ve Sonsuz Elemanlar Kullanarak Statik ve Dinamik Analizi”, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2002.
5. Karabalis,D.L. and Beskos,D.E., “Dynamic Response of 3-D Rigid Surface Foundations by Time Domain Boundary Element Method”, *Earthquake Engrg. Struc. Dyn.*, 12: (1984) 73-93.
6. Lysmer,J., Tabatabaie,M., Vahdani,S. and Ostadan,F., “SASSI-a System for Analysis of Soil-Structure Interaction”, Report UCB/GT/81-02, Geot. Engng., University of California, Berkeley, 1981.
7. Lysmer,J., Tabatabaie,M., Vahdani,S. and Ostadan,F., “SASSI 2000-a System for Analysis of Soil-Structure Interaction-User Manual”, Geot. Engng., University of California, Berkeley, 2000.





## SERİ BAĞLI MODEL NİTRİFİKASYON VE DENİTRİFİKASYON PROSESİNDE EVSEL ATIKSULARDAN AZOT GİDERİMİ

Eda ÖZGÜDEN

DSİ VI. Bölge Müdürlüğü, Adana/Türkiye

Zeliha SELEK ve Ahmet YÜCEER

Ç.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** Bu çalışmada, seri bağlı, model nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesinde, evsel atıksulardan azot bileşiklerinin giderilmesi araştırılmıştır. Bu amaçla, nitrifikasyonu gerçekleştirmek için uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi; denitrifikasyonu gerçekleştirmek için ise yukarı akışlı anaerobik filtre kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar, zayıf ve sert evsel atıksuyu temsil eden iki farklı organik yükte ve artan MLSS konsantrasyonlarında gerçekleştirilmiştir. Sonuçta; nitrifikasyon prosesinde %88 ile %100  $NH_4-N$ , %86 ile %100 TKN ve %80 ile %97  $KOİ$  giderme verimleri elde edilmiştir. Nitrifikasyon prosesi çıkış atıksuyuyla beslenen denitrifikasyon prosesinde ise %90 ile %95  $NO_3$  ve %51 ile %59  $KOİ$  giderme verimleri elde edilmiştir. Nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesi veriminin MLSS konsantrasyonlarının artırılmasından etkilenmediği ancak organik yükün artırılmasıyla sistem veriminin azaldığı tespit edilmiştir.

### NITROGEN REMOVAL FROM THE MUNICIPAL WASTEWATER WITH SERIAL CONNECTED MODEL NITRIFICATION AND DENITRIFICATION PROCESS

**ABSTRACT :** In this study, nitrogen removal from municipal wastewater with serial connected model nitrification-denitrification process was examined. For this purpose, extended activated sludge process for nitrification and upflow anaerobic filter for denitrification were used. Experiments were carried out under various organic loading which represent weak and strong municipal wastewater and various MLSS conditions. It was found that under nitrification conditions between %88 and %100  $NH_4-N$  removal, %86 and %100 TKN removal, %80 and %97 COD removal were obtained. For denitrification process between %90 and %95  $NO_3$  removal, %51 and %59 COD removal were obtained. It was also observed increased MLSS concentration did not affect the removal efficiencies. But under high organic load conditions removal efficiency of the system was decreased.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde gerek evsel, gerekse endüstriyel atıksuların arıtıldıktan sonra alıcı ortama verilmesi su kaynaklarını korumak açısından önem kazanmaktadır. Atıksu arıtım süreci incelendiğinde, biyolojik arıtıma çalışmalarının daha çok organik madde giderimine yönelik olduğu, azot bileşiklerinin giderilmesi konusunda ise daha az çalışmanın olduğu görülmektedir. Ancak son yıllarda yapılan gözlemler ve kazanılan deneyimler, organik madde gideriminin yararlı kullanım amaçlı alıcı ortam kalitesini tutturmaya yetmediğini göstermektedir. Azot bileşikleri, alıcı ortamlarda ötrofikasyon, oksijen tüketimi ve zehirlilik gibi problemlere neden olmaktadır (1.2). Bu nedenle azot kontrolü gün geçtikçe su kalitesi yönetiminde daha fazla önem kazanmaktadır.

Azot giderimi, evsel atıksulardan kompleks endüstriyel atıksulara kadar çeşitli atıksulara uygulanmaktadır. Azot konsantrasyonu yüksek düzeylerde bulunan endüstriyel atıksularda (örneğin gübre, rafineri, et ve süt, sentetik elyaf, kömür gazlaştırma, patlayıcı madde endüstrileri) nitrifikasyon ve denitrifikasyon uygulaması yaygın olduğu halde, evsel atıksularda bu uygulamalara az rastlanmaktadır (3).

Azot giderme proses alternatifleri genel olarak, fizikokimyasal ve biyolojik olmak üzere iki kategoride değerlendirilebilir. Fizikokimyasal yöntemlerden amonyak sıyırma, kırılma noktası klorlaması ve seçici iyon değiştirme yöntemleri dezavantajları nedeniyle tercih edilmemektedir. Evsel atıksulardan azot gideriminde en etkili ve ucuz yöntem biyolojik nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleridir (4,5).

Nitrifikasyon, atıksuda mevcut amonyum iyonlarının bakterilerle nitrat iyonlarına dönüştürülmesidir. Nitrifikasyon iki basamakta gerçekleşir. İlk basamakta amonyum *Nitrosomonas* ile nitrite; ikinci basamakta da nitrit, *Nitrobakter* ile nitrate dönüşmektedir. Denitrifikasyon ise, hetotrofik bakterilerin son elektron alıcısı olarak nitrat azotunu kullanmaları suretiyle karbonlu organik maddeleri tüketmesidir. Denitrifikasyon, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Achromobacter* ve *Bacillus* gibi birçok bakteri tarafından gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada evsel atıksulardan azot giderimi incelenmiştir. Bu amaçla pilot ölçekli ve seri bağlı nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesinde giderim verimlerine yönelik deneyler yapılmıştır. Nitrifikasyonu gerçekleştirmek için uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi, denitrifikasyonu gerçekleştirmek için ise yukarı akışlı anaerobik filtre kullanılmıştır.

## 2.MATERYAL ve METOD

### 2.1. Deney Düzenegi

Bu model çalışmada nitrifikasyon ve denitrifikasyon olmak üzere iki ayrı reaktör kullanılmıştır. Nitrifikasyon için uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi; denitrifikasyon için ise yukarı akışlı anaerobik filtre kullanılmıştır. Nitrifikasyon prosesi için kullanılan reaktör pleksiglastan yapılmış olup, havalandırma ve çökeltme bölümleri bir arada bulunmaktadır. İki bölüm, yüksekliği ayarlanabilen bir perde ile birbirinden ayrılmıştır. Havalandırma bölümü 5,09 L, çökeltme bölümü 1,91 L olmak üzere toplam hacmi 7L'dir. Atıksu reaktöre 1 adet peristaltik pompa sayesinde gelmektedir. Giriş atıksu debisi peristaltik pompa sayesinde sabit tutulmuştur.

Denitrifikasyon prosesinde kullanılan reaktör ise 1,5 L hacminde plastik bir şişeden yapılmıştır. Yüksekliği 30 cm ve çapı da 8,5 cm.'dir. Filtre malzemesi olarak yaklaşık

0,5 cm çapındaki seramik parçaları kullanılmıştır. Reaktör içi su dolu bir akvaryumda ısıtıcı ile sıcaklığı 35-38°C'de tutulmuştur. Nitrifikasyon prosesi çıkış atıksuyu bu reaktöre peristaltik pompa sayesinde gelmekte ve akış yönü alt tarafından üste doğrudur. Şekil 1 ve Şekil 2'de nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri görülmektedir.

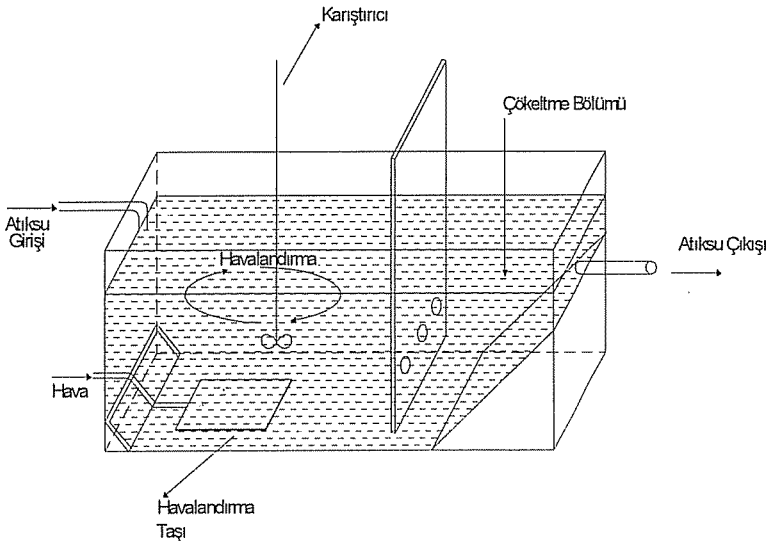
## 2.2. Atıksu Özellikleri

Bu çalışmada nitrifikasyon prosesi giriş akımında zayıf ve sert evsel atıksuya eşdeğer iki farklı sentetik atıksu kullanılmıştır. Bu amaçla çeşme suyuna 240 mg/L glikoz, 60 mg/L maya ekstraktı, 90 mg/L  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 25 mg/L  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 1 mg/L  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 1 mg/L  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 1 mg/L  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 290 mg/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 785 mg/L  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  ve 280 mg/L  $\text{NaHCO}_3$  ilave edilmiştir. Bu hazırlanan sentetik atıksu, 320 mg/L  $\text{KOİ}$ , 150 mg/L  $\text{BOİ}_5$ , 22 mg/L TKN, 20 mg/L  $\text{NH}_4\text{-N}$  ve 550 mg/L alkalinite içermekte olup, zayıf nitelikli evsel atıksuya eşdeğerdir. Sert evsel atıksu ise zayıf nitelikli evsel atıksuyun kimyasal özelliği 4 katı olacak şekilde ayarlanmıştır.

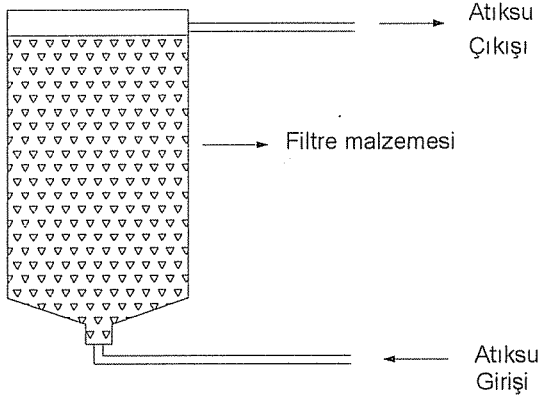
Denitrifikasyon prosesinde ise nitrifikasyon prosesinden çıkan atıksu kullanılmıştır. Denitrifikasyon prosesinde organik karbon eksikliğinin giderilmesi için,  $\text{KOİ}/\text{NO}_x\text{-N}$  oranı 5 olacak şekilde metanol ilave edilmiştir (6).

## 2.3. Atıksu Analizleri

Deneysel çalışmalar sırasında Kimyasal Oksijen İhtiyacı ölçümleri MN filterphotometer Nanocolor 100D Spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür.  $\text{KOİ}$  analizinde metot, atıksu numunesinin 148°C'de potasyumdikromat ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), sülfürik asit ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ve gümüş sülfat ile 2 saat oksidasyonu neticesinde  $\text{Cr}^{+3}$ 'ün fotometrik olarak saptanmasına dayanmaktadır. Bu metot oldukça hassas olup standart sapması



Şekil 1. Nitrifikasyon Prosesi



Şekil 2. Denitifikasyon Prosesi.

$\mp 0,004$ 'tür. (MN Filterphotometer Nanocolor 100D- Test29). Nitrat analizi için, Bausch&Lomb spektrofotometrede Trufill Ref.Cat. No.630-050 markalı hazır kitler kullanılarak ölçüm yapılmıştır. Toplam Kjeldahl Azotu (TKN), amonyum azotu ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), alkalinite, MLSS ve MLVSS ölçümleri standart metotlara uygun olarak yapılmıştır. PH: WTW 330 pH meter. çözülmüş oksijen YSI Model 51B oksijenmetre ile ölçülmüştür. MLSS ve MLVSS ölçümünde Whatman GF/C filtre kağıtları kullanılmıştır. Hata payını en aza indirmek için deneyler üç defa tekrarlanmıştır.

DeneySEL çalışma 12 aylık bir periyot süresince yürütülmüştür. Çalışmanın ilk 3 aylık periyodunda; nitrifikasyon prosesinde kullanılacak atıksuyun bakteri adaptasyonu için sentetik atıksu ve doğal evsel atıksu belli oranlarda karıştırılmış ve sürekli havalandırılmıştır. Aktif çamur geliştirilmesi aşamasında nitrifikasyon ünitesi için; faaliyet halindeki bir arıtma tesisinin biyolojik ünitesinden aşı olarak yararlanılmıştır. Denitrifikasyon prosesinde ise çamur adaptasyonunu sağlamak için reaktör doğal evsel atıksu ile beslenmiştir. Adana'da bira endüstrisi atıksularını arıtan anaerobik arıtma tesisinden temin edilen çamur ve inek dışkısından da aşı olarak yararlanılmıştır.

Nitrifikasyon prosesinin giriş atıksu debisi 4.5-5.5 L/gün arasında tutulmuştur. Reaktörün sıcaklığı 25-32°C arasında, çözülmüş oksijen konsantrasyonu 2mg/L'nin üzerinde ve pH'ta 7,5-8,5 arasında tutulmuştur. Nitrifikasyon bakterileri tarafından giderilen alkaniteyi sisteme geri kazandırmak için sodyumbikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) ilave edilmiştir.

Denitrifikasyon prosesinin bekletme süresi (HRT) 4,4-4,8 saat arasında sabit tutulmuştur. Reaktörün sıcaklığı 35-38°C'de, çözülmüş oksijen konsantrasyonu 0.2 mg/L'nin altında ve pH 7-8 arasında tutulmuştur.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

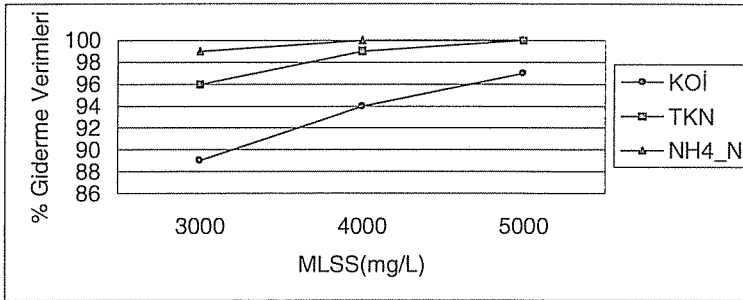
Çalışmanın başlangıcından itibaren 3 ay süreyle nitrifikasyon prosesinde çamurun adaptasyonu ve geliştirilmesi amacıyla yüksek azot konsantrasyonu içeren sentetik atıksu ile besleme yapılmıştır. Zayıf evsel atıksuda ortalama organik yük 0,022 Kg.TKN/m<sup>3</sup>.gün, F/M oranı 0,016 kg TKN/kg.MLVSS.gün; sert evsel atıksuda ise

ortalama organik yük 0,09 Kg.TKN/m<sup>3</sup>.gün, F/M oranı 0,07 kg TKN/kg.MLVSS.gün tutulmuştur. Deneysel sonuçları 15 gün boyunca takip edilmiştir. Bu süre içinde ilk 3 günün çıkış değerleri, bir önceki çalışmanın değerlerini temsil edebileceğinden dikkate alınmamıştır.

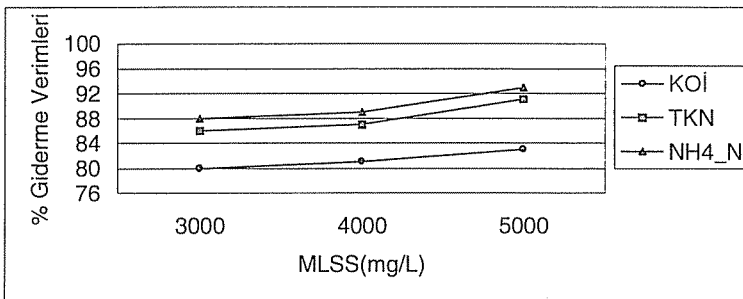
Zayıf evsel atıksuda yapılan çalışmalarda; MLSS 3000 mg/L'de NH<sub>4</sub>\_N, TKN ve KOİ giderme verimleri sırasıyla %99, %96 ve %90; MLSS 4000 mg/L'de %100, %99 ve %94; MLSS 5000 mg/L'de ise %100, %100 ve %97 olarak elde edilmiştir.

Daha sonra sert evsel atıksuda artan MLSS konsantrasyonlarında çalışılmıştır. MLSS 3000 mg/L'de NH<sub>4</sub>\_N, TKN ve KOİ için giderme verimleri sırasıyla %88, %86 ve %80; MLSS 4000 mg/L'de %89, %87 ve %81; MLSS 5000 mg/L'de ise %93, %91 ve %83 olarak elde edilmiştir.

MLSS'in nitrifikasyon prosesinin artma verimine olan etkisi Şekil 3-4'de grafik olarak verilmiştir. Grafiklere genel olarak bakıldığında, MLSS konsantrasyonunun artmasıyla NH<sub>4</sub>\_N, TKN ve KOİ, giderim verimlerinde artış olduğu ancak bu artışların o kadar önemli olmadığı görülmektedir. Zayıf evsel atıksuda NH<sub>4</sub>\_N için %1, TKN için %2 ve KOİ için yaklaşık %4'dür (Şekil 3). Sert evsel atıksuda ise NH<sub>4</sub>\_N için %3, TKN için %3 ve KOİ için yaklaşık %2'dir (Şekil 4). Evsel atıksuların aktif çamur prosesinde nitrifikasyonuna etki eden faktörlerin belirlenmesinde, MLSS'in artmasıyla azot gideriminde önemli bir artma olmadığı bildirilmiştir (7).



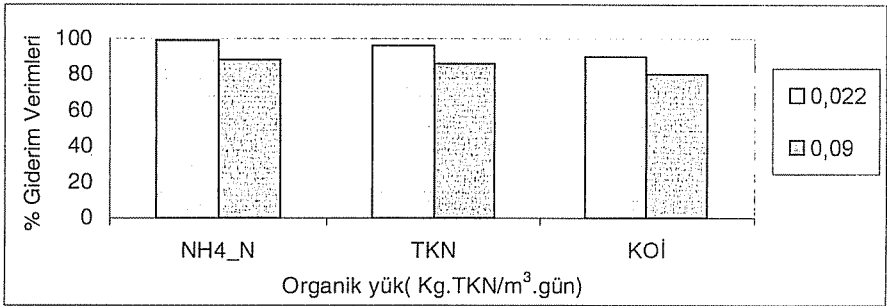
Şekil 3. Nitrifikasyon Prosesinde Zayıf Evsel Atıksuda MLSS'in KOİ, TKN ve NH<sub>4</sub>\_N Giderme Verimine Olan Etkisi



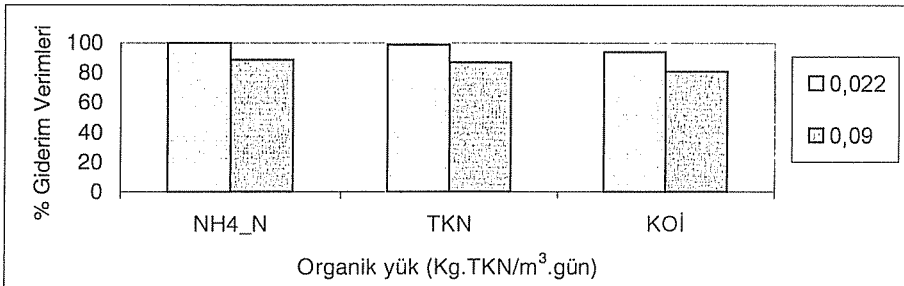
Şekil 4. Nitrifikasyon Prosesinde Sert Evsel Atıksuda MLSS'in KOİ, TKN ve NH<sub>4</sub>\_N Giderme Verimine Olan Etkisi

Bu çalışmada organik yükün 0,022 Kg.TKN/m<sup>3</sup>.gün'den 0,09 Kg.TKN/m<sup>3</sup>.gün'e artırılmasıyla MLSS=3000 mg/L' de NH<sub>4</sub>\_N, TKN ve KOİ giderme verimleri sırasıyla %99, %96 ve %90'dan, %88, %86 ve %80'e ; MLSS=4000 mg/L' de %99, %96 ve %90'dan, %88, %86 ve %80'e ve MLSS=5000 mg/L'de ise %100, %100 ve %97'den, %93, %91 ve %83'e düşmektedir (Şekil 5-7). F/M oranının 0.016 Kg.TKN/Kg.MLVSS.gün' den 0,07 Kg.TKN/Kg.MLVSS.gün' e artırılmasıyla giderme verimleri NH<sub>4</sub>\_N'de %100'den %90'a; TKN'de %97'den %88'e ve KOİ'de %92'den %81'e düşmektedir. Daha önce yapılan bir çalışmada F/M oranının 0,135 Kg.TKN/Kg.MLVSS.gün'den 0,3 Kg.TKN/Kg.MLVSS.gün' e artırılmasıyla giderme verimleri NH<sub>4</sub>\_N'de %98'den %73'e; TKN'de %99'dan %88'e ve KOİ'de %97'den %88'e düştüğü tespit edilmiştir (8).

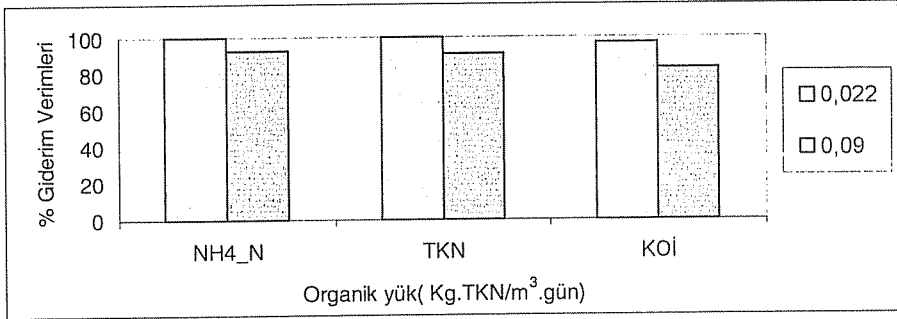
Balakrishnan ve ark.(1969), evsel atıksuların aktif çanur prosesinde nitrifikasyonuna etki eden faktörleri incelemesi sonucunda; organik yükün artırılmasıyla nitrifikasyon derecesinde önemli bir azalma olduğunu; amonyum azotu beslemesi 40 mg/L'den 130 mg/L'ye çıkarılmasıyla giderme verimi %90'den %44'e kadar düştüğünü bildirmişlerdir. Çeçen ve Gönenç (1995), 2 adet seri yukarı akışlı batık filtrede farklı azot yüklerinde (30-400 mg/L) nitrifikasyon ve denitrifikasyon oranlarını incelemişlerdir. 30 mg/L NH<sub>4</sub>\_N beslemesiyle %100'e varan giderme verimleri elde edilirken; NH<sub>4</sub>\_N konsantrasyonunun 400 mg/L'ye artırılmasıyla giderme verimi %78'e kadar düştüğünü bildirmişlerdir.



Şekil 5. MLSS=3000 mg/L'de Nitrifikasyon Prosesinde Organik Yükün NH<sub>4</sub>\_N, TKN ve KOİ Giderme Verimlerine Etkisi



Şekil 6. MLSS=4000 mg/L'de Nitrifikasyon Prosesinde Organik Yükün NH<sub>4</sub>\_N, TKN ve KOİ Giderme Verimlerine Etkisi



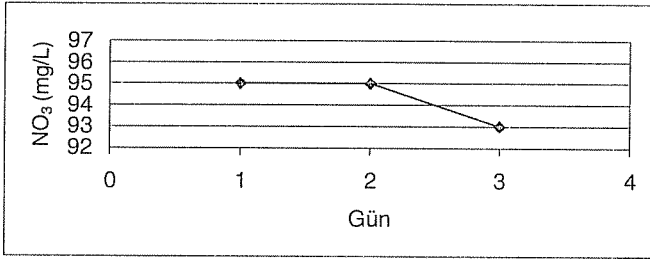
**Şekil 7.** MLSS=5000 mg/L'de Nitrifikasyon Prosesinde Organik Yükün NH<sub>4</sub>\_N,TKN ve KOİ Giderme Verimlerine Etkisi

Bu çalışmada, denitrifikasyon prosesi nitrifikasyon prosesiyle seri bağlı olup, nitrifikasyon prosesi çıkış atıksuyu ile beslenmektedir. Zayıf evsel atıksuyla çalışılan nitrifikasyon prosesinde, MLSS 3000, 4000 ve 5000 mg/L olmasıyla denitrifikasyon prosesinde KOİ'de %59, %55 ve %56; NO<sub>3</sub>' te ise %95, %95 ve %93'lük giderme verimleri elde edilmiştir. Aynı şekilde sert evsel atıksuda MLSS 3000, 4000 ve 5000 mg/L olmasıyla KOİ'de %51, %51 ve %52; NO<sub>3</sub>' te ise %91, %91 ve %90'lük giderme verimleri elde edilmiştir (Şekil 8-11). Bu sonuçlar incelendiğinde MLSS artışlarının denitrifikasyon prosesi veriminde önemli bir değişiklik yaratmadığı gözlenmektedir. Ancak atıksuyun organik yükünün artırılmasıyla hem KOİ hem de NO<sub>3</sub> giderme veriminde azalma olmuştur. Bu da organik yükün artmasıyla sistem veriminde beklenen bir azalmadır.

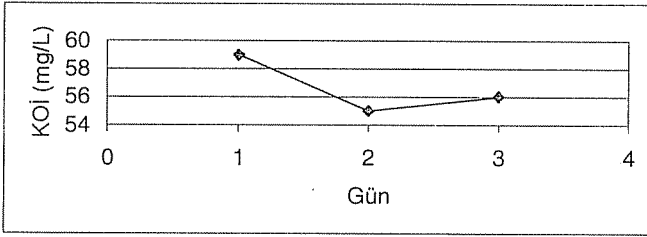
Damlatmalı filtrede, 3 farklı hidrolik yükte (1, 2 ve 4), denitrifikasyonun performansı üzerinde yapılan bir çalışmada elde edilen maksimum giderme verimi en az yükleme oranında yani 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.saat'te (NO<sub>2</sub>+ NO<sub>3</sub>)\_N'de %93 ve KOİ'de %64 olarak elde edilmiştir (9).

Denitrifikasyonun tamamlanması için; bakterilerin karbon ve enerji kaynağı olarak ortamda organik karbonun bulunması gerekmektedir. Nutrient giderimi amacıyla yapılan bir çalışmada denitrifikasyonda dış karbon kaynağı olarak metanol ve etanol kullanılmış, yapılan deneysel çalışmaların sonucunda da her iki karbon kaynağının istenilen sonuçları sağladığı bildirilmiştir (10).

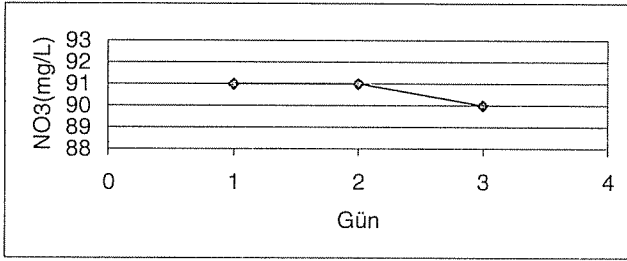
Bu çalışmada; nitrifikasyon prosesinden çıkan atıksuya denitrifikasyon prosesine girmeden önce karbon ihtiyacını karşılamak için daha önce yapılan bir çalışma (6), referans alınarak, KOİ/NO<sub>x</sub>\_N oranı 5 olacak şekilde metanol ilave edilmiştir. Ancak bu metanol ilavesinden dolayı sistemin çıkış KOİ konsantrasyonu artmaktadır. Bu sorun nitrifikasyon-denitrifikasyon proseslerinde karşılaşılan genel bir problemdir.



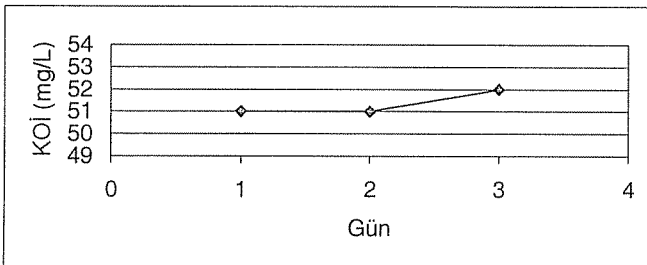
Şekil 8. Zayıf Evsel Atıksuda Denitrifikasyon Prosesinde NO<sub>3</sub> Giderme Verimleri



Şekil 9. Zayıf Evsel Atıksuda Denitrifikasyon Prosesinde KOİ Giderme Verimleri



Şekil 10. Sert Evsel Atıksuda Denitrifikasyon Prosesinde NO<sub>3</sub>\_N Giderme Verimleri



Şekil 11. Sert Evsel Atıksuda Denitrifikasyon Prosesinde KOİ Giderme Verimleri



#### 4. SONUÇLAR

Seri bağlı model nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesinde evsel atıksulardan azot giderimi amacıyla yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1- Yapılan bu model çalışmanın nitrifikasyon prosesinde, zayıf evsel atıksuda (0,022 Kg.TKN/m<sup>3</sup>.gün), MLSS=3000, 4000 ve 5000 mg/L'de sırasıyla NH<sub>4</sub>-N' de %99, %100 ve %100; TKN'de %96, %99 ve %100; KOİ'de %90, %94 ve %97 giderme verimleri elde edilmiştir. Sert evsel atıksuda ise (0,09 Kg.TKN/m<sup>3</sup>.gün), MLSS=3000, 4000 ve 5000 mg/L'de sırasıyla NH<sub>4</sub>-N'de %88, %89 ve %93; TKN'de %86, %87 ve %91 ve KOİ'de %80, %81 ve %83 giderme verimleri elde edilmiştir.

2- Nitrifikasyon prosesinde MLSS konsantrasyonunun artırılmasının arıtma verimini fazla etkilemediği ancak organik yükün 0,022 Kg.TKN/m<sup>3</sup>.gün'den 0,09 Kg.TKN/m<sup>3</sup>.gün'e artırılmasıyla arıtma veriminin azaldığı tespit edilmiştir.

3- Nitrifikasyon prosesinde; zayıf evsel atıksuda (0,022 Kg.TKN/m<sup>3</sup>.gün) ve MLSS=5000 mg/L'de maksimum giderme verimleri elde edilmiştir.

4- Denitrifikasyon prosesinde zayıf evsel atıksuda (0,022 Kg.TKN/m<sup>3</sup>.gün) MLSS=3000, 4000 ve 5000 mg/L'de sırasıyla NO<sub>3</sub>'te %95, %95 ve %93; KOİ'de %59, %55 ve %56 giderme verimleri sırasıyla elde edilmiştir. Sert evsel atıksuda (0,09 Kg.TKN/m<sup>3</sup>.gün) ise MLSS= 3000,4000 ve 5000 mg/L'de sırasıyla NO<sub>3</sub>'te %91, %91 ve %90; KOİ'de %51, %51 ve %52 giderme verimleri elde edilmiştir.

5- Denitrifikasyon prosesinin de, nitrifikasyon prosesinde olduğu gibi MLSS konsantrasyonunun artırılmasıyla arıtma verimini etkilemediği ancak organik yükün artırılmasıyla arıtma veriminin azaldığı tespit edilmiştir.

6- Yapılan bu model çalışmadan elde edilen deneysel sonuçlara göre, nitrifikasyon prosesi için uzun havalandırılmalı aktif çamur prosesinin; denitrifikasyon için ise yukarı akışlı biyolojik filtrenin seri olarak başarılı bir şekilde kullanılabilceği görülmektedir.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Fang,H.Y., "Nitrification of Ammonia-Nitrogen in Wastewater", *Wat. Res.* 27(12): 1761-1765, 1993.
2. Koren,D.W., Gould,W.D., Bedard,P., "Biological Removal of Ammonia and Nitrate from Simulated Mine and Mill Effluents", *Hydrometallurgy* 56:127-144, 2000.
3. Klangduen,P. ve Jürg,K., "Study of Factors Affecting Simultaneous Nitrification and Denitrification (SND)", *Wat. Sci. Tech.*, 39(6): 61-68, 1999.
4. Metcalf ve Eddy, "Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse", McGraw-Hill Inc., Third Edition, 1991.
5. Huang,T., Macinnes,J.M., Cliffe,K.R., "Nitrogen Removal From Wastewater by a Catalytic Oxidation Method", *Wat. Res.*, 35(9):2113-2120, 2001.
6. Çeçen,F., Gönenç,İ.E., "Criteria for Nitrification and Denitrification of High-Strength Wastes in Two Upflow Submerged Filters", *Wat. Env. Res.*,67(2):132s, 1995.
7. Balakrishnan,S., Eckenfelder,W.W., "Nitrogen Relationships in Biological Treatment Processes I. Nitrification in Activated Sludge Process", *Wat. Res.*,3(1):73-83, 1969.
8. Gupta,S.K ve Sharma,R., "Biological Oxidation of High Strength Nitrogenous Wastewater", *Wat. Sci. Tech.*,30(3): 593-600, 1996.

9. Rudiger,A., Sekoulov,I., "Denitrification in Trickling Filters", Technical Uni. of Hamburg. Env. Sci. and Tech. Eissendorfer Str.42. 2100 Hamburg 90 Federal Republic of Germany, 1989.

10. Nyberg,U., Andersson,B., Aapegren,H., "Long-Term Experinces External Carbon Sources for Nitrogen Removal", Malmö Water&Sewage Works, S-205 80 Malmö/Sweden, 1994.

## SEKA BOLU MÜESSESESİ ATIKSU ARITMA TESİSİ İŞLETİLMESİNDE KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM UYGULAMALARI

**Zeliha SELEK**

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

**Aydın CİNT**

Köy Hizmetleri 3. Bölge Müdürlüğü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** SEKA Bolu Müessesesi atıksu arıtma tesisinin işletilmesi sırasında birçok sorunla karşılaşmış ve bu sorunlara çözümler üretilmeye çalışılmıştır. Uygulanan çözümler neticesinde tesis daha sağlıklı çalışır hale getirilmiştir. Bu çalışmada, söz konusu arıtma tesisinin işletilmeye başlanmasından itibaren karşılaşılan sorunlar ve bu sorunların çözümüne ait uygulamalar ele alınmıştır. Elde edilen tecrübeler neticesinde gerek arıtma tesislerinin daha uygun projelendirilmesi, gerekse mevcut tesislerin iyileştirilmesi amacıyla yönelik öneriler sunulmuştur.

### PROBLEMS ENCOUNTERED IN SEKA BOLU WASTEWATER TREATMENT PLANT OPERATION AND SOLUTION PROPOSALS

**ABSTRACT :** During the operation of SEKA Bolu cellulose and paper factory wastewater treatment plant, numbers of problems were encountered and suggestions were made for possible solutions of these problems. After application of solutions, the treatment plant was made work more efficiently than used to be. In this research, problems of the treatment plant encountered from the very beginning and possible solutions for these problems were examined. From the experiences obtained this work, suggestions were made for planning other treatment plants and their operations leading to increase their performance.

## 1. GİRİŞ

SEKA Bolu A.Ş. 1963 yılından itibaren lif levha, lamine levha ve 1980'li yıllardan itibaren de dekor baskı üretim faaliyetlerini sürdürmektedir. SEKA Bolu A.Ş.'nin atıksularını: üretimlerden kaynaklanan proses sularının yanı sıra, fabrika içi banyo vs. yıkanma suları ve lojmanlardan kaynaklanan evsel sular oluşturmaktadır. Söz konusu atıksular başta hiçbir arıtma işlemine tabi tutulmadan Mudurnu Deresine deşarj edilmekte, oradan da Büyüksu çayına karışmakta iken, fabrika tarafından neden olunan kirlenmeyi önlemek amacıyla arıtma tesisi kurma çalışmaları başlatılmış ve 1988 yılında inşaatı tamamlanarak işletmeye açılmıştır. Tesis, günlük 2.500 m<sup>3</sup> lük işletme atıksuları ile günlük 50 m<sup>3</sup> evsel atıksu arıtacak kapasitede fiziko-kimyasal ve iki kademeli aktif çamur sistemi şeklinde projelendirilmiştir. Tesiste arıtılan su, "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği" ile "Su Ürünleri Tüzüğü"nde; Askıda Katı Madde (AKM), Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Çökebilir Katı Madde ve Balık Bio Deneyi (ZSF) parametreleri için boşaltma değerlerine uygun olarak Mudurnu deresine verilmektedir. Ancak, tesisin işletilmeye başlatılmasından itibaren bir çok sorunla karşılaşmış ve bu sorunlara çözümler üretilmeye çalışılmıştır.

## 2. AMAÇ

Bu çalışmada, SEKA Bolu Müessesesi arıtma tesisinin işletilmeye başlanmasından itibaren karşılaşılan sorunlar ve bu sorunların çözümüne ait uygulamalar ele alınmıştır. Elde edilen tecrübeler neticesinde gerek arıtma tesislerinin daha uygun projelendirilmesi, gerekse mevcut tesislerin iyileştirilmesi amacına yönelik öneriler sunulmuştur. Çalışmada ele alınan sorunlar maalesef ülkemizde bir çok arıtma tesisinde yaşanan sorunlara eşdeğerdir. Çünkü, detaylı bir ön etüdü ve laboratuvar çalışması yapılmamış ve uygun projelendirilmemiş bir arıtma tesisi işletilmesi sırasında bir çok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bunun sonucu olarak olarak arıtma tesisinin amacı olan çevre kirlenmesini önleme unsurunu zorlaştırmakta hatta kirlendir hale gelmekte, ilave maliyetlere ihtiyaç duyulmakta, zaman ve enerji kayıplarına neden olmaktadır. Bu nedenle, bir çok arıtma tesisinin işletilmesinde karşılaşılan sorunlar ve bunların çözüm uygulamaları tesislerin projelendirilmesi aşamasında değerlendirilirse çok daha iyi çalışan arıtma tesisleri ve daha sağlıklı bir çevre ortamı sağlanmış olacaktır.

## 3. SEKA BOLU A.Ş. ARITMA TESİSİ TANITIMI

SEKA Bolu A.Ş. arıtma tesisi birimleri ve akım şeması Şekil 1 de verilmiş olup, karakteristikleri aşağıda açıklanmıştır.

### 3.1. Fiziko Kimyasal Arıtma Birimleri

Fiziko-Kimyasal arıtma birimleri üç üniteden oluşmakta olup, karakteristikleri aşağıda verilmiştir:

#### DENGELEME HAVUZU VE ANA TERFİ MERKEZİ:

Dengeleme Havuzu Hacmi	: 140 m <sup>3</sup>
Pompaların Gücü	: 3 x 15 kW

### HIZLI KARIŞTIRMA VE YUMAKLAŞTIRMA HAVUZLARI:

Hızlı Karıştırma (2 adet Paralel) Toplam Hacim : 9,2 m<sup>3</sup>  
Bekleme Süresi : 6 dk  
Yumaklaştırma (3 Adet Seri) Toplam Hacim : 52,9 m<sup>3</sup>  
Bekleme Süresi : 33 dk.

#### Kullanılan Kimyasal Maddeler:

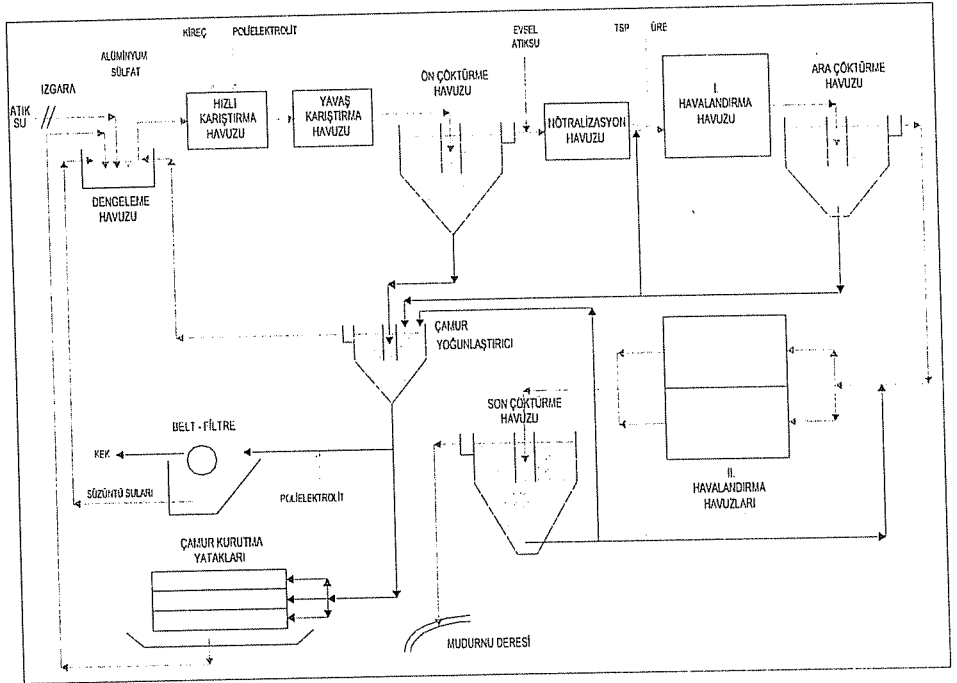
Alüminyum Sülfat, Kireç, Anyonik Polielektrolit

### ÖN ÇÖKTÜRME HAVUZU:

Dairesel planlı, sıyrıcısız düşey akımlı  
Havuz Hacmi : 227 m<sup>3</sup>  
Havuz Çapı : 9 m  
Bekleme Süresi : 2,4 Saat

### 3.2. Biyolojik Arıtma Birimleri

Biyolojik arıtma birimleri üç üniteden oluşmakta olup, karakteristikleri aşağıda verilmiştir:



Şekil 1. Seka Bolu Müessesesi Atık Su Arıtma Tesisi Akım Şeması

**I. HAVALANDIRMA HAVUZU (2 Adet Seri):**

Havuz Hacmi (Toplam)	: 461 m <sup>3</sup>
Derinlik	: 3,6 m
Bekleme Süresi	: 3,7 saat
Çamur Yaşı	: 0,56 gün

**ARA ÇÖKTÜRME HAVUZU:**

Ön çöktürme havuzunun aynısıdır.

**II. HAVALANDIRMA HAVUZU (2 Seri, 2 Paralel)**

Havuz Hacmi(Toplam)	: 1890 m <sup>3</sup>
Derinlik	: 3,90 m
Bekleme Süresi	: 18,6 saat
Çamur Yaşı	: 20 gün

**SON ÇÖKTÜRME HAVUZU:**

Daire planlı, sıyrıcılı düşey akımlı	
Havuz Hacmi	: 478 m <sup>3</sup>
Havuz Çapı	: 16 m
Bekleme Süresi	: 5,1 Saat

**3.3. Çamur Susuzlaştırma Üniteleri**

Çamur susuzlaştırma birimleri üç üniteden oluşmakta olup, karakteristikleri aşağıda verilmiştir:

**ÇAMUR YOĞUNLAŞTIRICI:**

Havuz Çapı	: 5 m
Derinlik	: 5 m

**BELT FİLTRE:**

Belt filtre, 0-5 m<sup>3</sup>/saat kapasiteli ve çıkış çamur katı madde yüzdesi % 25 civarındadır.

**ÇAMUR KURUTMA YATAKLARI:**

3 Adet toplam 1000 m<sup>2</sup>

**3.4. Yardımcı Üniteler**

Tesisteki yardımcı üniteler laboratuvar, terfi merkezleri, kimyasal madde hazırlama ve kumanda binasından oluşmaktadır.

**4. ARITMA TESİSİNDE KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM UYGULAMALARI**

Öncelikli olarak tesise giriş atık su analizleri çok sağlıklı yapılamaması nedeniyle tesis projelendirmesinde bu değerler göz önüne alındığından tesisin işletmeye alınmasından bir süre sonra tesise gelen kirlilik yükü projelendirmede hesaplanan

yükten daha fazla olmuştur[1]. Bu ise tesisin daha verimsiz çalışmasına neden olmuştur. Fazla yükü azaltmak amacıyla fabrikanın özellikle esas atık su kaynağı olan lif levha üretimi kısmında yapılan iyileştirmelerden ve suyun geri kullanımının artırılmasından sonra debi miktarı ortalama 94 m<sup>3</sup>/saat ten 60-65 m<sup>3</sup>/saat e düşürülmüştür. Bu uygulama ile tesise giriş yükü azaltılmıştır. İnşaat aşamasında PVC olarak yapılan boruların kış aylarında çok çabuk çatlama ve kırılmalarından dolayı tamamı daha sonra çelik boruya çevrilmiştir.

Fabrikanın arıtım birimlerinde karşılaşılan sorunlar ve çözüm uygulamaları arıtım kademeleri bazında her bir ünite için ayrı ayrı aşağıda sunulmuştur.

#### 4.1. Fiziko Kimyasal Arıtım

##### 4.1.1. Dengeleme Havuzu

Tesise gelen debinin proje değerlerine göre azaltılmasına rağmen dengeleme havuzu kullanılabilen kısım hacmi yetersiz kalmıştır. Ayrıca, projede dengeleme havuzuna herhangi bir karıştırıcı konulmaması, kimyasal arıtımı ve biyolojik arıtımı olumsuz etkilemiştir. Bu nedenle, tesisin en önemli noktalarından birisi olan dengeleme havuzunu daha fonksiyonel hale getirmek amacıyla dengeleme havuzundan hızlı karıştırmaya basılan suyun bir kısmı geri çevrilmek suretiyle havuza yukarıdan boşaltılarak kısmi bir karışım yapılması sağlanmıştır. Ayrıca, çamur susuzlaştırma ünitelerinden gelen süzüntü suları projede dengeleme havuzuna verilmekte iken by-pass yapılarak gerektiğinde ön çöktürme havuzuna da verilmesi sağlanarak dengeleme havuzuna gelen debi azaltılmıştır.

##### 4.1.2. Hızlı karıştırma ve Yumaklaştırma Havuzları

Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma için kullanılacak kimyasal maddenin teorik olarak belirlenmesi mümkün olmadığından kullanılacak kimyasal maddelerin dozajlarının belirlenmesi ancak deneysel olarak yapılabilir[2]. Tesis projelendirmesinde kimyasal arıtımda kullanılan kireç toz olarak tespit edilmiş, ancak uygulama aşamasına geçildiğinde gerek kireç tankının sürekli dolu bulundurulması gerekse dozajlamanın manuel olması nedeniyle sorunlar yaşanmıştır. Bu sorunun giderilmesi amacıyla kumanda binasında hazırlanan sulu kireç, bir pompa vasıtası ile yumaklaştırma havuzuna yerleştirilmiş pH metrenin set değerlerinin en verimli flok elde edecek şekilde ayarlanmasıyla otomatik olarak hızlı karıştırma havuzu gözlerine dozlanmıştır. Ayrıca, hem laboratuarda yapılan jar testleriyle hem de tesiste yapılan denemelerle Alüminyum Sülfat dozlamasının projede belirtilen hızlı karıştırma havuzları yerine, dengeleme havuzu girişine verilmesi flok oluşumu açısından daha verimli sonuçlar sağlanmıştır.

##### 4.1.3. Ön Çöktürme Havuzu

Gaz oluşumu nedeniyle havuzlar içerisinde beliren balonlarla ortaya çıkan çamur kabarması; çamur boşaltma sıklığı yetersizliği, çamur boşaltma işlemi sırasında tanktaki çamurun tamamının alınmaması, havuzlarda atık su ya da çamurun birikim yaptığı ve septik nitelikler kazandığı bölgelerin ortaya çıkması gibi nedenlerden kaynaklanabilir. Projelendirme aşamasında seçilen ön çöktürme havuzu sıyrırsız dairesel düşey akımlı bir havuz olup, inşaatı da bu şekilde gerçekleştirilmiştir. Ancak, tesis işletmeye alındığında floklaştırmada elde edilen kimyasal çamur çok iyi çökmüş olmakla birlikte,

sıyırıcı konulmadığı için havuz duvarlarına yapışan çamurlar bir süre sonra kalın tabakalar halinde havuz yüzeyine çıkmıştır. Buradan kaçan çamurların biyolojik arıtıma geçmesi havalandırma havuzlarındaki mikroorganizmaların aktivitelerinin bozulmasına neden olmuştur. Bunu önlemek amacıyla sıyırıcı çubuklar yapılarak belirli sürelerde havuzların karıştırılması sağlanmıştır. Ayrıca, kimyasal çamur ön çöktürme havuzu dibinden yoğunlaştırma havuzuna cazibeli olarak alınmasının yanı sıra havuz göbeğine bir adet düşey milli pompa konarak dipten emiş yapıp yoğunlaştırma havuzuna belli sıklıkta çamur çekilerek bu olay büyük ölçüde ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca, çamur susuzlaştırma ünitelerinden alınan süzüntü sularının da buraya verilmesi çamur kalitesi açısından olumlu sonuçlar vermiştir.

## 4.2. Biyolojik Arıtım

### 4.2.1. Havalandırma Havuzları

Ön çöktürme havuzundan savaklanan suyun tamamı I. Havalandırma Havuzuna verilmesi şeklinde projelendirilmişken, tesis işletmeye alındığında suyun tamamı bu kısma verildiğinde seçilen bekleme süresi ve çamur yaşına göre hesaplanmış olan havalandırma havuzları hacimleri yetersiz olduğundan bu yükü taşıyamamış, aeratörlerin dalma derinlikleri artmış ve dolayısı ile rotor ve motor kısmında sorunlar yaşanmıştır. Ara çöktürme havuzunda ise çok ince aktif çamur yoğun bir şekilde yüzeyden savaklanmıştır. Bunu önlemek amacıyla I. Havalandırma Havuzuna girişten önce bir ayırım vanası yapılarak ön çöktürmeden çıkan suyun üçte biri I. Havalandırma Havuzuna, üçte ikisi ise II. Havalandırma Havuzu girişine doğrudan gönderilerek burada her iki ayırım tekrar birleştirmek suretiyle atık su II. Havalandırma Havuzuna alınmıştır. Ayrıca, her iki havuzda da mikroorganizmaların hava ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılan aeratörlerin dalma derinlikleri fazla olduğundan çalışırken zorlanmış ve sık sık rotor ve motorlarda arızalar meydana gelmiştir. Özellikle yüzeysel havalandırıcıların dezavantajı olan köpük oluşumu ve havuz diplerinde az çözülmüş oksijen konsantrasyonuna bağlı olarak oluşan zayıf aktif çamur ara veya son çöktürme havuzlarına geçerek yüzeye çıkan çamur kaçakları oluşturmuştur. Bu durumu önlemek amacıyla her iki havuz çıkışlarına ve havalandırma havuzlarının bütün gözlerine köpük söndürücü dozlaması yararlı olmuştur. Ayrıca, havalandırma havuzlarının giriş gözleri aeratörlerine nazaran çıkış gözleri aeratörlerinin devirleri düşürülerek de köpük geçişi azaltılmıştır.

### 4.2.2. Ara ve Son Çöktürme Havuzları

Ara çöktürme havuzu tip ve boyut olarak Ön çöktürme havuzu gibi projelendirildiğinden, benzer çözümler burada da uygulanmıştır. Son çöktürme havuzunun göbek kısmının etrafında çok zayıf çamurlar yüzeye çıkarak deşarj suyu kalitesini bozmuştur. Bunu önlemek amacıyla bu kısma derinlik boyunca 1 m çapında sac levha yapılmış bu levha içerisine dönel sıyırıcıya monte edilmiş bir dalgıç pompa yerleştirilerek bu çamur sürekli olarak havalandırma havuzu girişine veya dengeleme havuzuna alınmıştır. Geri devir çamurunun cazibeli olarak yeterince alınmaması nedeniyle de yüzeye çamurlar çıkmış, çamur yaşı artmakta dolayısıyla arıtım verimi düşmüştür. Bu nedenle tüm çamur geri devirleri pompalar vasıtası ile yapılmıştır.



## 5. SONUÇ

Yukarıda sözü edilen uygulamalarla tesisin arıtım verimi Tablo 1'de görüldüğü gibi zamanla %60-70'lerden %90'lara ulaştırılmış ve böylece deşarj değerlerinin, yönetmeliklerde istenen maksimum değerlerin altında kalması sağlanmıştır[3].

**Tablo 1.** Seka Bolu Müessesesi Arıtma Tesisi İyileştirme Öncesi ve Sonrası Kirlilik Parametreleri. (\*: 22.05.1990 Tarih ve 2209 Sayılı Çevre Bakanlığı İzni)

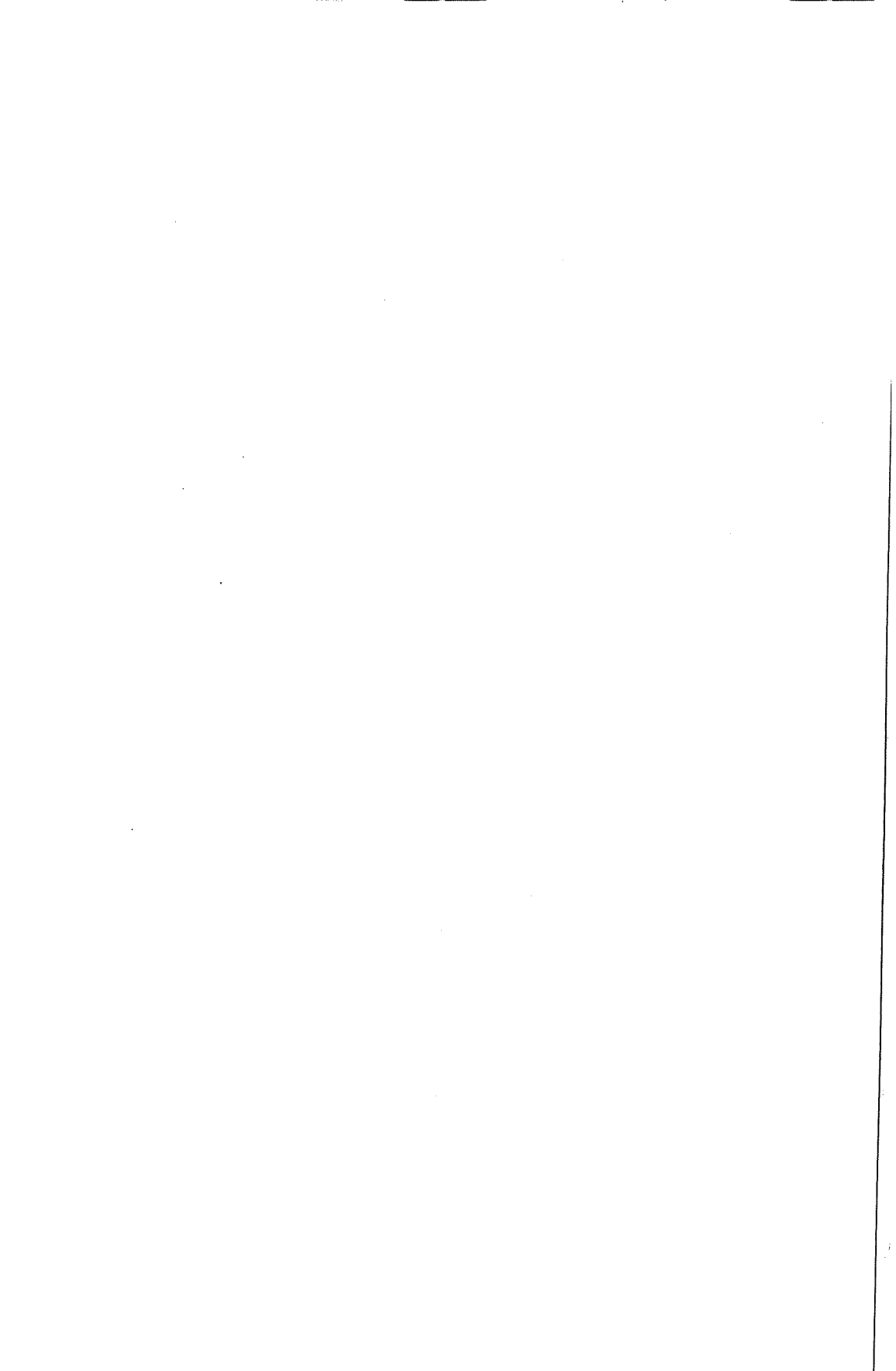
Kirlilik Parametreleri	Giriş Değerleri		Çıkış Değerleri		Yönetmelik Değerleri
	PROJE	İŞLETME	İYİLEŞTİRME ÖNCESİ	İYİLEŞTİRME SONRASI	
KOI (mg/lt)	4 130	8 000	2 500	1 200	1 500
BOI (mg/lt)	2 070	2 500	800	400	500
AKM (mg/lt)	440	400	200	100	200*

Söz konusu tesisin işletilmesi sırasında elde edilen tecrübeler ışığı altında arıtma tesislerinin ileride problemlerle karşılaşılmayacak şekilde uygun projelendirilmesi ve daha verimli işletilmesine yönelik aşağıdaki öneriler sunulmuştur :

- 1) Öncelikli olarak üretim tesisinden çıkan atık sular çok iyi tespit edilmeli, uzun süreli analizler gerçekleştirilmeli ve yeterli kompozit numuneler alınmalıdır.
- 2) Arıtma modelinin seçiminde aynı özellikte atık sular için daha önce yapılan tip projeler yerine mümkün olduğunca model maket arıtma tesisleri kurularak laboratuvar çalışmaları yapılmalıdır.
- 3) Arıtma tesislerinde dengeleme havuzları tesis için çok önemli bir ünedir. Bu nedenle, hacmi yeterli ve mutlaka karıştırıcı bir dengeleme havuzu projelendirilmelidir.
- 4) Kimyasal arıtımda mutlaka kompozit numuneler üzerinde Jar Testi yapılmalı ve çok çeşitli kimyasal maddelerin farklı dozlarla farklı yerlerden dozajlanması alternatifleri üzerinde çalışılmalıdır.
- 5) Çöktürme havuzları mutlaka sıyırıcı projelendirilmelidir.
- 6) Biyolojik arıtımda havalandırıcıların seçiminde atık suyun bazı özellikleri (köpüklenme vb.) çok iyi tespit edilmelidir.
- 7) Çamur susuzlaştırma ünitelerinin tespitinde (kurutma yatağı, belt filtre vb.) iklim şartları ve işletilebilme koşulları gözönüne alınmalıdır.

## 6. KAYNAKLAR

1. İ.T.Ü, Seka Bolu Lamine ve Lif Levha Sanayii Müessesesi Atık su Tasfiye Tesisi Proje Nihai Raporu, 79 sayfa, 1986.
2. TMMOB, Kimya Mühendisleri Odası, Kimyasal Biyolojik Atık su Arıtma Okulu, 152 Sayfa, 1991.
3. Resmi Gazete, "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği", 4 Eylül 1988.



## BİR ANAEROBİK BİYOFİLM REAKTÖRDE SÜLFAT GİDERİMİNİN İNCELENMESİ\*

Olcayto KESKİNKAN, Demet KALAT ve Mesut BAŞIBÜYÜK  
Ç.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

**ÖZET :** Anaerobik biyofilm reaktörlerde sülfat indirgeme sürecinin işleyişini etkileyen faktörler arasında reaktörlere verilen sülfat ve organik madde yükleri önemlidir. Bu çalışmada yukarı akışlı mezofilik bir anaerobik filtre kullanılarak 2 kg KOİ/m<sup>3</sup>günlük sabit organik yük altında, toplam on aylık bir süre boyunca, sırasıyla 0.084 kg SO<sub>4</sub>/m<sup>3</sup> gün ve 0.78 kgSO<sub>4</sub>/m<sup>3</sup> günlük iki farklı sülfat yüklemeleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sülfat yükünün artırılması arıtma verimini etkilemiştir. Sülfat yükü artırıldığında çıkış suyu sülfür konsantrasyonu artış göstermiş fakat sülfat giderim oranı % 66 dan % 71'e yükselmiştir. KOİ yükselten sülfür, KOİ giderim veriminde düşüşe neden olmuştur. Artan sülfür konsantrasyonu nedeniyle çıkış suyunda aşırı koku artışı meydana gelmiştir. Sülfat yükünün artırılmasıyla üretilen toplam gaz miktarında da bir düşüş tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Anaerobik arıtma, sülfat giderimi, KOİ giderimi, sülfür bileşikleri.

## EXAMINATION OF SULPHATE REMOVAL IN AN ANAEROBIC BIOFILM REACTOR

**ABSTRACT :** Sulphate and organic matter loading rates are important factors for the sulphate removal in anaerobic biofilm reactors. In this study during the 10 months, under the average of 2 kg COD/m<sup>3</sup>.day constant organic loading, 0.084 kgSO<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>.day and 0.78 kgSO<sub>4</sub>/m<sup>3</sup> day sulphate loading rate were applied to the reactor. It was seen that increasing sulphate loading rate has also increased the sulphur concentrations in the effluent. However it was also seen that increasing sulphate loading rate has little effect on sulphate removal which was only increased from % 66 to % 71. Mediocre COD removal efficiency were obtained. This was probably the excess sulphur compounds which caused heavy odour problem in the wastewater. After increasing sulphate loading rate, a decrease of the gas production was also observed.

**Keywords:** Anaerobic treatment, sulphate removal, COD removal, sulphur compounds

\* Bu proje Ç.Ü. Rektörlüğü Araştırma Fonu tarafından MMF.2002.BAP6 nolu proje ile desteklenmiştir

## 1. GİRİŞ

Anaerobik arıtmada kararlılığın sağlanabilmesi için ortamda kesinlikle serbest oksijen bulunmamalıdır. Oksijen kimyasal olarak bağlı olsa bile arıtma sürecini olumsuz olarak etkilemektedir. Bu yüzden  $\text{NO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{HS}^-$  vb. maddeler anaerobik sistemlerin verimlerini olumsuz yönde etkilemektedir (1). Anaerobik ortamda sülfat, sülfat gideren bakteriler tarafından bir elektron alıcı olarak kullanılır. Elementel sülfür ve organik sülfür bileşikleri de oluşmakla birlikte, reaksiyon sonucu ana ürün olarak  $\text{H}_2\text{S}$  açığa çıkar. Metan bakterilerinin başlıca enerji kaynakları asetik asit ve hidrojenidir. Sülfat gideren bakteriler de aynı enerji kaynaklarını kullanırlar ve bu yüzden metan bakterileri ile rekabete girerler. Sülfat gideren bakteriler enerjetik olarak daha avantajlı olduklarından metan üretimine doğru olan elektron akışını sülfat giderimi yönüne doğru çevirerek reaktördeki metan üretiminin düşmesine yol açarlar (1). Bunun yanında son yıllarda gittikçe önem kazanan zor parçalanana sentetik veya doğal organik maddelerin anaerobik olarak parçalanmamasında da ortamda bulunan sülfat, yukarıda ifade edildiği gibi son elektron alıcı olarak davranarak bu organik maddelerin parçalanma sürecini geciktirmekte veya parçalanmalarına engel olabilmektedir (2). Bu sayılanlara ek olarak anaerobik arıtmada sülfat indirgenmesi sonucu ortaya çıkan  $\text{H}_2\text{S}$  gazı koku, korozyon, toksisite gibi istenmeyen bir takım sorunlara da neden olmaktadır. Ancak bütün bu sayılan olumsuzluklara rağmen, son yıllarda anaerobik yöntemlerle sülfat giderme üzerine olan ilgi artmaktadır. Bu çalışmalara, yer altı sularından sülfat ve ağır metallerin eşzamanlı olarak giderilmesi (3,4), atık sülfürik asitten sülfat giderilmesi, maden sanayii atıksuları (5,6) ve diğer sülfatça zengin suların arıtılmasında anaerobik yöntemin kullanılması (7-9) verilebilecek örneklerden bazılarıdır.

Sülfat indirgeme süreçlerinin avantajları ve dezavantajları şunlardır:

Dezavantajlar:

- Atık sudaki organik maddenin belli bir kısmı sülfat indirgenmesi için kullanılacağı için metan üretimi için yeterli organik madde kalmayabilir. Bu, birim organik madde başına üretilen metan miktarını düşürmektedir. Ayrıca sürecin toplam enerji dengesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bundan daha başka üretilen biyolojik gazın kalitesi düşer çünkü üretilen sülfür  $\text{H}_2\text{S}$  şeklinde kendisini gösterir.
- Anaerobik reaktörün çıkışında belli bir miktar sülfür var olacaktır. Bu yüzden sistemin arıtma veriminde bir düşüş olacaktır. Sistemin çıkışına bir son arıtım ünitesi yerleştirilmesi şarttır.
- Sülfür metanojenik, asetojenik ve sülfat indirgeyen bakteriler gibi anaerobik bakteriler için inhibe edici özellik taşımaktadır.
- Üretilen sülfür koku, makine ve kazanlar için korozyon sebebi olabilir. Bu problemlerden kurtulabilmek için ek yatırımlar gerekmektedir.

Avantajlar:

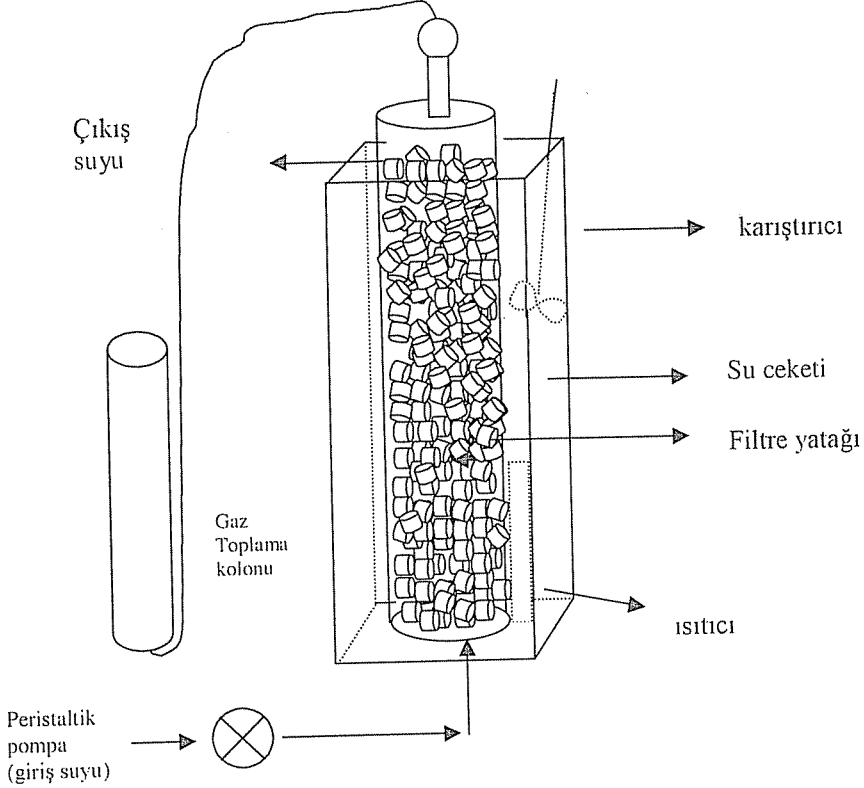
- Atık sulardan oksitlenmiş sülfür bileşenlerinin giderilmesi için sülfür giderim teknikleri ile birlikte sülfat indirgenmesi yöntemine başvurulabilir.
- Atık sularda muhtemelen bulunabilecek metaller metal sülfürler şeklinde çöktürülüp giderilebilirler. Metallerin bu yolla giderilmesi anaerobik prosesler için potansiyel toksisite problemlerini ortadan kaldıracaktır.

• Çok toksik olan sülfür bileşenlerinin daha az toksik hale gelmesi sülfid içeren atık suların anaerobik arıtımının potansiyelini artırmaktadır (10).

Bu çalışmada sülfat giderme amacıyla sentetik olarak hazırlanmış atık su ile yukarı akışlı bir mezofilik anaerobik filtre kullanarak atıksudan sülfat giderimi çalışılmıştır. Ayrıca ortamda yüksek konsantrasyonda bulunan sülfat bileşiklerinin reaktör performansı üzerine olan etkisi de incelenmeye çalışılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada daha önce yapılan anaerobik biyofilm çalışmalarından örnek alınarak (11) yukarı akışlı mezofilik anaerobik bir biyofilm reaktör kurulmuştur (Şekil 1). Reaktör camdan yapılmış bir su ceketinin içine yerleştirilmiş olup reaktör için pleksiglas malzeme kullanılmıştır. Reaktörde, filtre dolgu malzemesi olarak polipropilen su borularının enine kesilmesiyle oluşturulan halkalar kullanılmıştır. Su ceketinin içine yerleştirilen ısıtıcı yardımıyla reaktörün sürekli 35°C lik ısıda kalması sağlanmıştır. Reaktörün hacmi 9.5 litre, boyu 69 cm, çapı 14 cm olup boşluk hacimleri 6.27 litredir. Medya malzemesinin kapladığı hacim 2.633 litredir. Reaktörlerin alttan 5 cm lik kısmı medya malzemesi ile doldurulmayıp atık su giriş bölümü olarak boş bırakılmıştır. Aynı şekilde reaktör üst kısmından da gaz birikimi ve yan çıkış borusunun



Şekil 1. Sülfat giderimi için kurulan reaktörün şeması.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan sentetik atıksuyun özellikleri (12).

Bileşenler	Konsantrasyon (mg/L)
Nişasta	1000
NaHCO <sub>3</sub>	2000
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	215-2000
Üre	1500
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	80
Maya Ekstresi	1000
CaCl <sub>2</sub>	50
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,75
NiSO <sub>4</sub> .6H <sub>2</sub> O	0,5
MnCl <sub>2</sub>	0,5
ZnSO <sub>4</sub>	0,5
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,1
CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0,05
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0,005
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> .12MoO <sub>3</sub> .24H <sub>2</sub> O	0,04

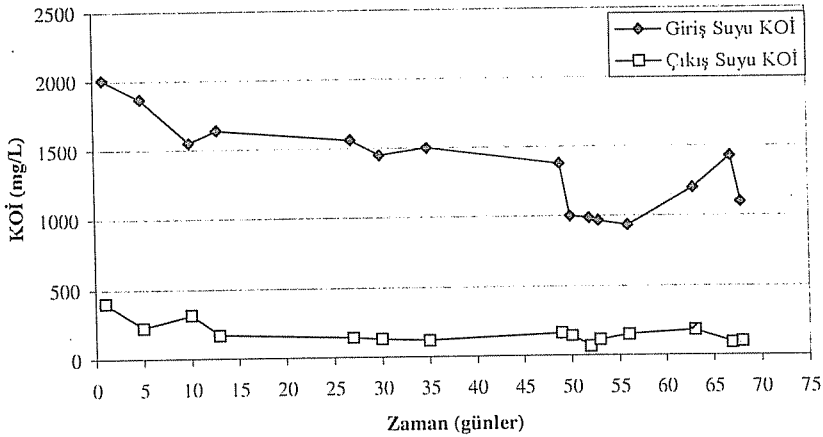
açılması için 5 cm lik boşluk bırakılmıştır. Reaktör mezofilik modda çalışan bir anaerobik reaktörden alınan granül yapıdaki çamurla (1500 mL) aşılacaktır. Biyofilm oluşumunun sağlanması ve biyofilmin yıkanarak reaktörden uzaklaşmasını engellemek için 15 gün boyunca geri devirle ve sentetik suyla beslenmiş ve reaktöre sülfat yüklemesi yapılmamıştır. On beş günlük geri devirden sonra reaktör normal olarak çalıştırılmaya başlanmıştır ve 1 ay boyunca reaktörün performansını görmek için yine sülfat yüklemesi yapılmadan çalıştırılmıştır. Kullanılan sentetik atık su, kaynaklarda bildirilen (12) sentetik atık su içeriklerinden faydalanılarak hazırlanmıştır (Tablo 1). Reaktörde sürekli akış rejimi sağlanmıştır.

Sentetik atık su peristaltik pompa yardımıyla bütün çalışma boyunca 10 L/gün sabit debi ile reaktöre pompalanmıştır. Günlük hidrolik yük 1595 L/m<sup>3</sup>.gündür. Reaktörde hidrolik bekleme süresi 0,63 gündür. Reaktöre uygulanan organik yük KOİ cinsinden ortalama 2 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün (1300 mg KOİ/L) olarak belirlenmiştir. Fakat kullanılan karbon kaynağı (nişasta) ticari olduğu için bu yükün bazı analizlerde 3,2 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün'e (2010 mg KOİ/L) yükseldiği hesaplanmış, bazı analizlerde ise 1,5 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün'e (936 mg KOİ/L) düştüğü anlaşılmıştır (Şekil 2 ve 4). 2 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün Organik yük ortalama olmak üzere I. Adım başlangıç sülfat yükü 0,084 kg SO<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>.gün dür. II.adımda ise reaktöre aynı organik yük uygulanmaya devam ederken sülfat yükü yaklaşık 10 kat artırılarak 0,78 kg SO<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>.günlük bir yük uygulanmaya başlanmıştır. Giriş ve çıkış sularından KOİ, SO<sub>4</sub>, Sülfür, Alkalinite gibi parametreler izlendiği gibi pH ölçümleri de sürekli yapılarak reaktörlerdeki arıtma performansları gözlenmiştir. Çalışmada KOİ, SO<sub>4</sub>, alkalinite analizleri Standart metodlara (13) göre, sülfür ve pH ölçümleri WTW marka pH 340/ION model iyonmetre ile yapılmıştır.

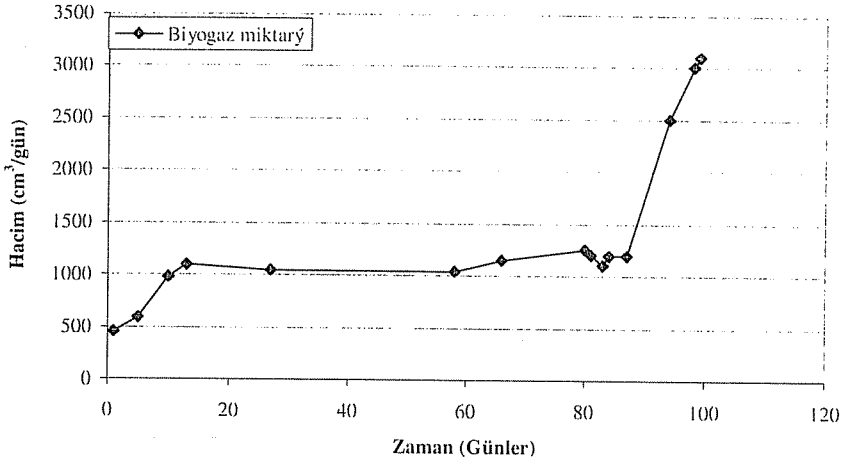
### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

İki aşama halinde yürütülen çalışmalarda elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur. Grafikler I. ve II. adımda elde edilen giriş ve çıkış suyu KOİ ve SO<sub>4</sub><sup>-</sup> konsantrasyonları, çıkış suyu sülfür konsantrasyonları ile bir gaz kolonunda toplanan toplam gaz miktarlarının zamana karşı çizilen değerlerinden oluşmaktadır. Bu

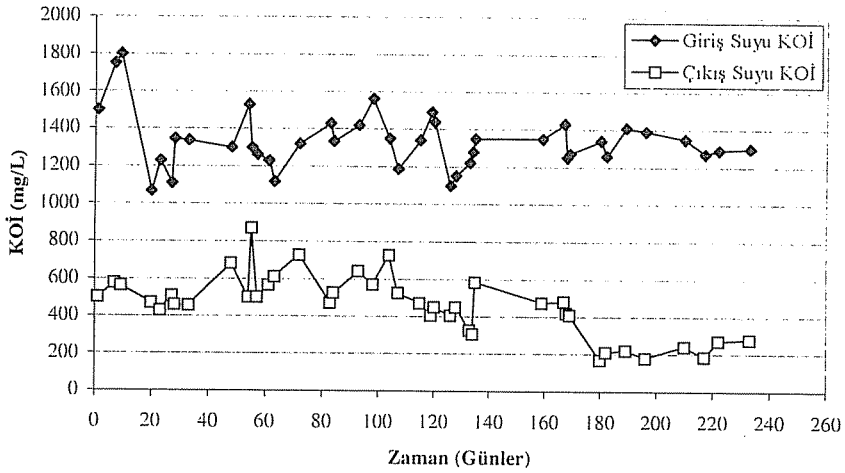
grafiklerden elde edilen değerlere bakılarak reaktöre verilen  $SO_4^{2-}$  yüklerinin arıtma verimi üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Haziran 2001 tarihinde başlayan çalışmanın ilk ayında reaktörün sentetik atık suya adaptasyonu sağlanmaya çalışılmıştır. Daha sonra yapılan ölçümlerin ekim 2001 tarihine kadar olan bölümü (68 gün) çalışmanın I. adımını oluşturmaktadır. II. Adım ise Ekim 2001 den Mayıs 2002 ye kadar olan bölümdür (232 gün). Şekil 2, I. adımda reaktöre verilen atık suyun KOİ giriş çıkış konsantrasyonlarının değişimini ifade etmektedir. Bu adımda ortalama % 90 oranında KOİ giderimi gerçekleşmiştir. Üretilen toplam gaz miktarı ise başlangıçta  $450 \text{ cm}^3/\text{gün}$ 'ken adımın sonuna doğru yaklaşık yedi kat artarak  $3100 \text{ cm}^3/\text{günlük}$  bir değere ulaşmıştır (Şekil 3). Bu adımda reaktöre verilen sülfat miktarı  $0.084 \text{ kgSO}_4/\text{m}^3.\text{gün}$  olup çıkış suyunda rastlanan sülfür miktarları da düşük seviyelerde olup ( $0.05- 2.13 \text{ mg/L}$ ) ortalama  $1.02 \text{ mg/L}$  dir (Şekil 6). Çalışmanın bu aşamasında gaz üretimi ortalama  $1325 \text{ cm}^3/\text{gün}$  dür.



Şekil 2. I. adımda günlere göre giriş ve çıkış suyu KOİ konsantrasyonlarının değişimi.

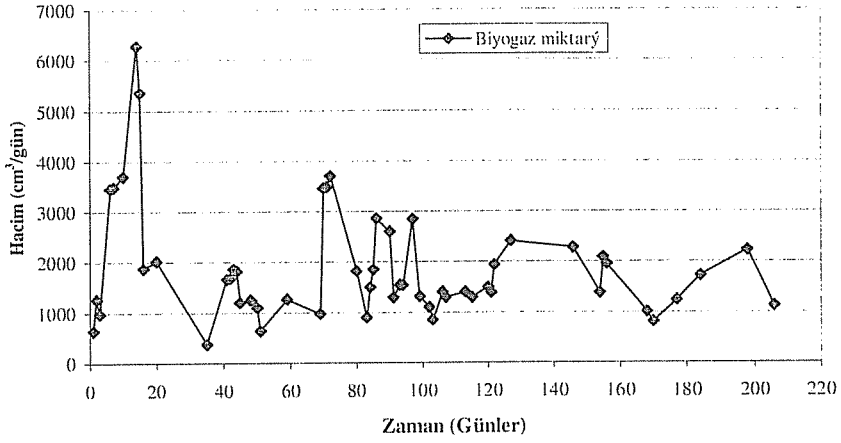


Şekil 3. I. adımda günlere göre üretilen toplam gaz miktarının değişimi.

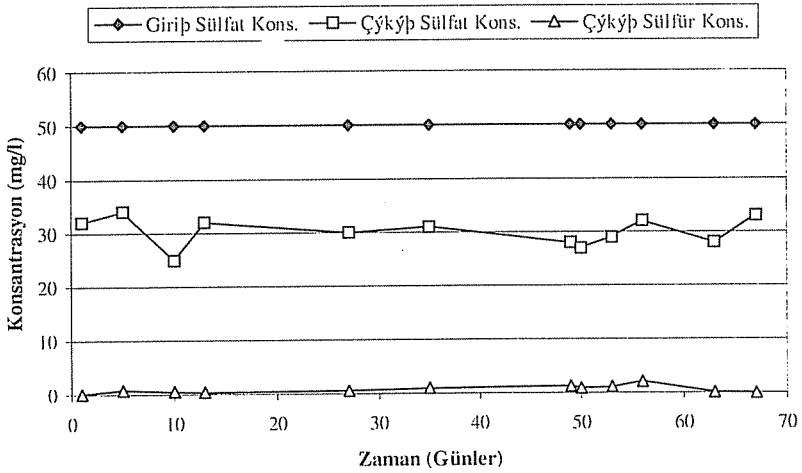


Şekil 4. II. adımda günlere göre giriş ve çıkış suyu KOİ konsantrasyonlarının değişimi.

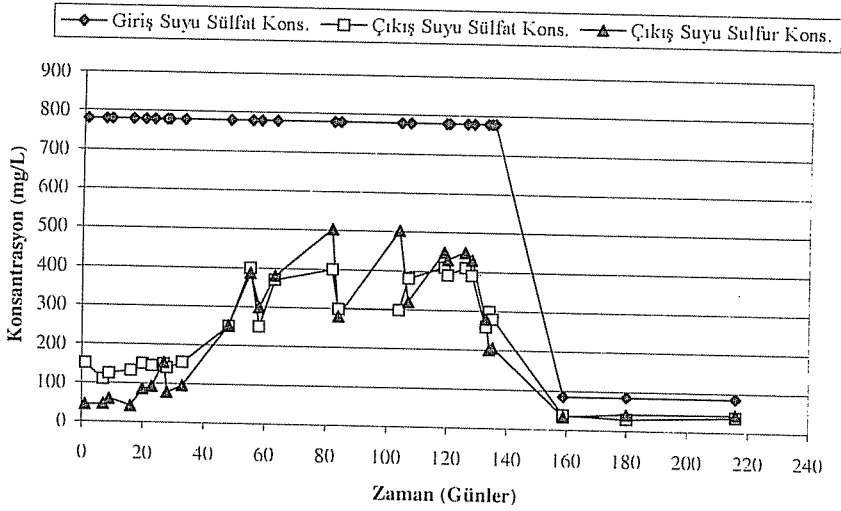




Şekil 5. II. adımda günlere göre üretilen toplam gaz miktarının değişimi.



Şekil 6. I. adımda elde edilen günlük sülfat giderimi ve çıkış sülfür konsantrasyonu grafiği



Şekil 7. II. adımda elde edilen günlük sülfat giderimi ve çıkış sülfür konsantrasyonu grafiği.

Şekil 6'da giriş-çıkış sülfat konsantrasyonlarına bakıldığında belirli bir oranda (%66) sülfat giderimi olduğu görülmektedir. Tüm çalışmada çıkış suyu alkalinite konsantrasyonu ortalama olarak fazla değişim göstermemiş ve 2450 mg CaCO<sub>3</sub>/L olarak belirlenmiştir. Ekim 2001 tarihinden itibaren reaktörde organik yük sabit tutularak sülfat yükü artırılmış ve 0.78 kg SO<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>.gün lük bir yük uygulanmaya başlanmıştır. Bu uygulama başlatılınca elde edilen değerlere baktığımızda üretilen gaz miktarlarında bir miktar düşüş gözlenmektedir. Örneğin II. adımın ilk günlerinde 6000 cm<sup>3</sup> gün olan toplam gaz üretimi II. adımın sonlarına doğru 1600 cm<sup>3</sup>.günlük miktarlara düşmüştür (Şekil 5). Diğer yandan II. adımda çıkış sülfür konsantrasyonları artış göstermektedir. Sülfür çıktılarına baktığımızda II. adımda çıkış suyunda ortalama 260 mg/l'lik sülfür konsantrasyonları ölçülmüştür. Sülfat yüklemelerinin artırıldığı ilk günlerde üretilen toplam gaz miktarında fazla değişiklik gözlenmediği fakat ilerleyen günlerde çıkış sularında 504 mg/l'lik sülfür konsantrasyonu ölçülmüştür (Şekil 7). Sülfürdeki bu artışa paralel olarak KOİ giderim verimi II. adımda ortalama %67'ye düşmektedir (Şekil 4). Sülfür konsantrasyonunun artmasının çıkış KOİ konsantrasyonunu yükselttiğini bildirilmektedir (14). Bu çalışmada da II. adımda çıkış sülfür konsantrasyonu artmaktadır. Bu yüzden arıtma verimi düşmektedir. Kaynaklarda sülfür konsantrasyonlarının 250 mg/l'ye ulaşması durumunda metan üretiminin ve havasız arıtmanın inhibe olabileceği bildirilmektedir (15, 1). Ancak bu çalışmada II. adımda ortalama 260 mg/l'lik çıkış sülfür konsantrasyonları elde edilmesine rağmen %67 oranında KOİ giderim verimi izlenmiştir. KOİ giderimindeki düşüşe paralel olarak gaz miktarında da bir miktar düşüş gözlenmiştir (Şekil 5). II. adımda 160. günden itibaren sülfat yüklerinin tekrar eski değerinde (0,084 kg SO<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>.gün) uygulanmasıyla çıkış suyunda bu yeni yükün etkisi hemen fark edilmiş (Şekil 7) ve çıkış sülfat

konsantrasyonları I. adımdaki seviyesine düşmüştür. Tüm çalışmada yapılan pH ölçümleri çıkış suyunda ortalama 7.4 lük pH değeri sağlandığını göstermiştir.

#### 4. SONUÇ

Elde edilen bulgular, çalışmada kullanılan anaerobik biyofilm reaktörün arıtma veriminin, bu çalışmada uygulanan 0,084-0,78 kg SO<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>.gün sülfat yüklerinden fazla etkilendiğini fakat organik madde giderme veriminin bir miktar düştüğünü ortaya çıkarmıştır. Yaklaşık 300 gün izlenen reaktör arıtma verimi, bu çalışmada uygulanan sülfat yükü artırıldığında ve azaltıldığında kısa sürede yeni yüke adaptasyon göstermiştir. I. Adımda uygulanan KOİ/SO<sub>4</sub> oranı yaklaşık 23 dir. Reaktörde I. adımda elde edilen KOİ giderim verimlerine bakıldığında kararlı durum elde edildikten sonra ortalama % 90 verim elde edilirken, sülfat giderim verimlerinin % 66 civarında kaldığı tespit edilmiştir. II. adımda uygulanan KOİ/SO<sub>4</sub> oranı 2,05 tir. II. adımda elde edilen KOİ giderim verimleri %67 ye düşmüş olup reaktördeki arıtımın giriş sülfat konsantrasyonu yükselmesinden bir miktar etkilendiği gözlenmiştir. Çalışmada 0,084-0,78 kg SO<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>.gün yükleme değerlerinin uzun süre uygulanması halinde bile reaktörün yük değişimlerine çabuk adaptasyon gösterebileceği ve arıtma veriminin tekrar yükselebileceği ortaya çıkmıştır.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Öztürk,İ., "Anaerobik biyoteknoloji ve atık arıtımındaki uygulamaları" İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Su Vakfı Yayınları İstanbul, 320 sayfa, 1999.
2. Carliell,C.M., Barclay,S.J. and BuckleyC.A., "Treatment of exhausted reactive dye bath effluent using anaerobic digestion: Laboratory and full-scale trials". Water SA., 22, 3, 225-233, 1996.
3. Barnes,L.J., "Simultaneous microbial removal of sulphate and heavy metals from wastewater", Trans. Instn. Metall., 101, 183-189,1991.
4. Barnes,L.I., Janssen,F.J., Sherren,J., Versteegh,J.H., KochR.O. and Scheeren,P.J.H., "A new process for the microbial removal of sulfate and heavy-metals from contaminated waters extracted by a geohydrological control-system", Chemical Engineering Research & Design. 69, 3, 184-186, 1991.
5. Maree,J.P. and Strydom,W.F., " Biological sulphate removal from industrial effluent in an upflow packed-bed reactor. Wat. Research, 21, 2, 141-146, 1987.
6. Maree,J.P. Gerber,A. and Strydom,W.F., "A biological process for sulfate removal from industrial effluents" Water SA. 12, 3, 139-144, 1986.
7. Buisman,C.N.J. "New biotechnological methods for H<sub>2</sub>S removal from biogas." TAPPI Environmental Conference, Boston. USA, 1993a
8. Särner,E., "Removal of sulphate and sulphite in an anaerobic trickling (antric) filter." Proc. Conf. Recent developments: technological advances in biofilm reactors, 4-6 april, Nice, France, pp405-414, 1989.
9. Maree,J.P and Strydom,W.F., "Biological sulfate removal in an upflow packed-bed reactor." Water Research, 19, 9, 1101-1106, 1985.
10. Visser,A., " Anaerobic treatment of sulphate containing wastewater" PhD Thesis. Wageningen Agriculture University, Wageningen, The Netherlands. P145, 1995.

11. Austermann-Haun,U., Seyfried,C.F., Zellner,G. and Diekmann,H., "Start-up of anaerobic fixed film reactors: technical aspects" *Wat. Sci. Tech.* Vol. 29, No.10-11, 297-308, 1994.
12. Ahn,J.H., Forster,C.F., "A comparison of mesophilic and thermophilic anaerobic upflow filters" *Bioresource Technology*, 73, 201-205, 2000.
13. APHA, "Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater", 19<sup>th</sup> ed. American Public Health Association, Washington DC., 1995.
14. Willey,R., *Fats, Oils, and Greases: "The minimization and treatment of wastewaters generated from oil refining and margarine production."* *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 50, 127-133, 2001.
15. Kroiss,S., Vardal,K. and Fleckseder,H., "Anaerobic treatment of sulfitepulp -mill effluents" , *Water Science And Technology* 17, 1, 145-156, 1985.

## KAYNAK KISITLAMASI OLMAYAN TEK AŞAMALI PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ BELİRLEME PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜNDE YENİ BİR SEZGİSEL ALGORİTMA

Ercan ŞENYİĞİT ve Funda YILDIRIM

Ç.Ü., Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana-Türkiye

**ÖZET :** Bu makalede mevcut kaynak kısıtlaması olmayan tek aşamalı parti büyüklüğü belirleme yöntemlerine yeni bir alternatif sunulmuştur. Yeni algoritmanın performansı, DS paket programında yer alan Ekonomik Sipariş Miktarı (EOQ), Periyodik Sipariş Miktarı (POQ), Parçalı Dönem Dengesi (PPB), Wagner-Whitin (W-W), İhtiyaç Kadar Sipariş Verme (LFL) yöntemleri, toplam maliyet, performans indeksi ve optimum sonuç verme sayısı kriterlerine göre karşılaştırılmıştır. Çalışmada literatürden alınan 50 farklı talep yapısı kullanılmıştır. Geliştirilen algoritma için Pascal programlama dilinde program yazılmıştır. Sonuçlar, geliştirilen yeni sezgisel algoritmanın bilinen diğer yöntemlere göre daha iyi performans sağladığını ve Wagner-Whitin yönteminin sonucuna yakın sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Üretim Planlaması, Malzeme İhtiyaç Planlaması, Parti Büyüklüğünün Belirlenmesi.

### A NEW HEURISTIC ALGORITHM SOLVING IN SINGLE-LEVEL LOT SIZING WITHOUT RESOURCE CONSTRAINTS PROBLEMS

**ABSTRACT :** In this article an alternative method was proposed about Single-level lot sizing without resource constraints methods. The performance of new algorithm was compared with methods, Economic Order Quantity (EOQ), Periodic Order Quantity (POQ), Part Period Algorithm (PPA), Wagner-Whitin algorithm (W-W), Lot for Lot (LFL), which are in DS package program at total cost criteria, performance index criteria and the number of optimum results criteria. 50 different demand structures which are found in literature was used. The computer program for the improved algorithm was programmed in Pascal programming language. Numerical results show that the new lot sizing heuristic outperforms the other well-known algorithms and the new algorithm produces solutions close to Wagner-Whitin algorithm.

**Keywords:** Production planning, Material Requirement Planning, Lot sizing.

## 1. GİRİŞ

21. yüzyılda işletmeler imalatta meydana gelen ciddi değişiklikler karşısında, geleneksel stok kontrol yöntemlerini bir kenara bırakarak MRP sistemlerine ağırlık vermişlerdir. Özellikle imalat yapan işletmeler MRP sistemini stok yatırımlarını minimize etmesi ve verimliliği artırması açılarından çok yararlı bulmaktadırlar. MRP programının etkin bir şekilde çalışabilmesi için bu sistemde kullanılabilecek en uygun parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin bilinmesi gerekmektedir.

Parti büyüklüğünün belirlenmesi, planlama dönemleri boyunca ortaya çıkan talepleri karşılamak için toplam maliyeti minimize edecek birim olarak hammadde veya üretim miktarının hesaplanmasıdır. İşletmede bir malzeme için net ihtiyaçlar belli olduğunda o malzemelerden hangi miktarlarda üretim yapılması gerektiği kararının alınması gerekir. Bu kararlar parti büyüklüğü belirleme kararlarıdır.

İşletmelerde kullanılan değişik üretim planları çözümleri veren çok sayıda parti büyüklüğü belirleme yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemlerin hangilerinin işletme koşullarına en uygun olduğu belirlenmeye çalışılır.

## 2. PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Parti büyüklüğü belirleme yöntemleri, sadece hazırlık ve elde bulundurma maliyetlerini kullanıyor, kaynaklar ile ilgili herhangi bir kısıt içermiyorsalar bu tür yöntemler Kaynak Kısıtlaması Olmayan Parti Büyüklüğü Belirleme Yöntemleri olarak adlandırılır. Parti büyüklüğü belirleme yöntemleri, hazırlık ve elde bulundurma maliyetlerini ilaveten kaynaklar ile ilgili kısıtları içeriyorsalar bu tür yöntemler Kaynak Kısıtlaması Olan Parti Büyüklüğü Belirleme Yöntemleri olarak adlandırılır (11). Düzey açısından parti büyüklüğü belirleme yöntemleri, ürünü oluşturan hammaddeler ve bileşenleri son ürünü oluşturan tek düzeyli bileşenler şeklinde kabul ederek çalışan Tek Aşamalı Parti Büyüklüğü Belirleme Yöntemleri ve ürünü oluşturan tüm düzeylerdeki hammadde ve bileşenleri dikkate alan Çok Aşamalı Parti Büyüklüğü Belirleme Yöntemleri olarak ikiye ayrılır (1).

Yukarıda belirtilen özelliklerden de anlaşılacağı gibi parti büyüklüğünün belirlenmesi problemi oldukça geniş bir konudur. Literatürde problem dört alt konu olarak sınıflandırılmıştır. Bunlar;

1. **SLUR**: Kaynak Kısıtlaması Olmaksızın Tek Aşamalı Parti Büyüklüğü Belirleme Problemi.
2. **SLCR**: Kaynak Kısıtlaması Olan Tek Aşamalı Parti Büyüklüğü Belirleme Problemi.
3. **MLUR**: Kaynak Kısıtlaması Olmayan Çok Aşamalı Parti Büyüklüğü Belirleme Problemi.
4. **MLCR**: Kaynak Kısıtlaması Olan Çok Aşamalı Parti Büyüklüğü Belirleme Problemi (2).

Çalışma, kaynak kısıtlaması olmayan tek aşamalı parti büyüklüğü belirleme probleminin çözümüne yönelik yapılmıştır. Bu sınıf problemlerin ana konusu belirgin zaman dönemlerinde ortaya çıkan bilinen veya tahmin edilen talepleri karşılarken tek düzeyli tamamlanmış ürünler için planlama dönemleri boyunca elde bulundurma maliyetlerinin ve hazırlık maliyetlerinin toplamını minimum yapan üretim miktarını belirlemektir. Tamamlanmış ürünler arasında bağımlılık ilişkisi yoktur. Parti büyüklüğü

belirleme kararı herhangi bir zamanda herhangi bir tamamlanmış ürün için alınır. Çok aşamalı parti büyüklüğü belirlemede, genelde düzeylerin hepsinde ayrı ayrı tek aşamalı parti büyüklüğü belirleme yöntemleri uygulanır.

Çok aşamalı parti büyüklüğü belirlemede optimum sonucu veren bir yöntem yoktur. Tek aşamalı parti büyüklüğü belirleme problemlerinde W-W yöntemi her zaman optimum sonucu vermektedir. Çok aşamalı parti büyüklüğü belirlemede optimum sonucu veren bir yöntemin olmayışı tek aşamalı parti büyüklüğü belirleme problemlerinde W-W yöntemi gibi her zaman optimum sonucu veren bir yöntem olmasına rağmen bu konuda çalışmaların yapılmasına neden olmaktadır (2).

### 3. NOTASYON

Makalede aşağıdaki bilimsel adlandırma kullanılmıştır:

**P**=Planlanan dönem sayısı  $P=1,2,\dots,T$ .

**A**=Dönem başı stok miktarı  $A=1,2,\dots,X$ .

**B**=Dönem sonu stok miktarı  $B=1,2,\dots,Y$ .

**T**=Temin süresi.

**F**=Üretim yapma maliyeti/Hazırlık maliyeti.

**G**=Elde bulundurma\ Taşıma maliyeti.

**I**=İçinde bulunan dönem numarası  $i=1,2,\dots,P$ .

**D<sub>i</sub>**=i. Dönemin talebi.

**D**= Ortalama talep miktarı.

**X**= Üretim yapılan dönem sayısı  $X=1,2,\dots,P$ .

**Z**= Stokta tutulan toplam ürün miktarı.

**N**=Ceza katsayısı.

**E**= Dönem taleplerinin aktarıldığı değişken.

**C**= Üretimin yapıldığı dönem numarası.

**K**= Üretimin yapıldığı dönemden bir sonraki dönem.

**L<sub>i</sub>**= i.dönem verilen parti büyüklüğü miktarı.

**V<sub>i</sub>**=i.dönem stokta tutulan ürün miktarı.

**THM** = Toplam hazırlık maliyeti.

**TEBM**= Toplam elde bulundurma maliyeti.

**TM**= Toplam maliyet.

**YÜDS**= Yıllık üretim yapılan dönem sayısı.

**YT**= Yıllık talep miktarı.

**ÜDAS** = Üretim dönemleri arası süre .

**ESM**= Ekonomik üretim miktarı.

**EPDF**= Ekonomik parça dönem faktörü.

**KBEÜM**=Kümülatif birim zamanda elde bulundurulmuş ürün miktarı.

**BM**= Birim maliyet.

**KTM**= Kümülatif talep miktarı.

**SBDS**= Stokta beklenen dönem sayısı.

#### 4. ÇALIŞMADA KULLANILAN PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ BELİRLEME YÖNTEMLERİNİN AÇIKLANMASI

Parti büyüklüğü belirleme yöntemleri, değişik üretim planları ortaya koydukları için bu planların neden oldukları maliyetler farklı olmaktadır. Bu çalışmanın yapıldığı kaynak kısıtlaması olmaksızın tek aşamalı parti büyüklüğü belirleme probleminde iki tür maliyet vardır. Bunlar hazırlık maliyeti ve elde bulundurma maliyetleridir.

Toplam elde bulundurma maliyeti, **TEBM**; dönemler boyunca stokta tutulan ürün miktarının elde bulundurma maliyeti ile çarpılması ile elde edilir. Toplam hazırlık maliyeti **THM**; Üretim yapılan dönem sayısı ile Hazırlık maliyetininin çarpılması ile elde edilir, toplam maliyet, **TM**; **TEBM** ile **THM** toplanması ile bulunur.

$$TM=THM + TEBM \quad (1)$$

$$TM=F*X+G*\sum_{i=1}^P V_i \quad (2)$$

Denklem (2)'de Denklem (1)'deki açıklamalar bir formül olarak belirtilmiştir. İşletmeler için önemli olan toplam maliyeti minimize edecek üretim planları belirleyen parti büyüklüğü belirleme yöntemini tespit etmektir. Bazı işletmelerde çalışan üretim planlama departmanı elemanları sisteminin etkinliğini arttırmak için kullanılan yöntemin mantığını anlamak istemektedirler. Bu gibi durumlarda, W-W yöntemi gibi her zaman minimum maliyetle çözüm vermesine rağmen anlaşılması zor yöntemler tercih edilmemektedir.

W-W yöntemi kaynak kısıtlaması olmaksızın tek aşamalı parti büyüklüğü belirleme probleminde her zaman çözümü minimum maliyetle vermektedir. Fakat yöntemin çalışma mantığını anlamak oldukça zor olmaktadır. Çalışma mantığı kolaylıkla anlaşılabilir performansı W-W yönteminin performansına yakın parti büyüklüğü belirleme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu ihtiyaçtan dolayı problemin çözümüne yönelik çok sayıda yöntem ve algoritma geliştirilmiştir. Yöntemlerin performanslarının değerlendirilmesinde 3 temel kriter kullanılmıştır. Bunlar:

1. Toplam Maliyet Kriteri,
2. Performans İndeksi Kriteri,
3. Optimum Sonuç Verme Sayısı Kriteri.

Yöntemlerin performansının değerlendirilmesinde ana kriter toplam maliyet kriteridir. Toplam maliyet kriterine paralel olarak performans indeksi kriteri yöntemlerin neden oldukları toplam maliyetleri bir bakışta birbirleriyle karşılaştırılmasını yorumlanmasını sağlamaktadır. Bu değerlendirme kriteri bu açıdan önemlidir. Optimum sonuç verme sayısı diğer bir değerlendirme kriteridir. Bu kriter yöntemlerin her bir talep yapısı grubundaki performanslarını göz önünde bulundurur. Toplam optimum sonuç verme sayısı en fazla olan yöntem en iyi yöntemdir. Çalışmada sonuçlar her üç değerlendirme kriterine göre karşılaştırılmıştır.

DS paket programında MRP sistemlerinde en çok kullanılan 11 parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinden 5 tanesi mevcuttur (3).



Bunlar;

- 1- **EOQ**: Ekonomik Sipariş Miktarı Yöntemi,
- 2- **POQ**: Periyodik Sipariş Miktarı Yöntemi,
- 3- **PPB**: Parçalı Dönem Dengesi Yöntemi,
- 4- **W-W**: Wagner-Whitin Yöntemi,
- 5- **LFL**: İhtiyaç Kadar Sipariş Verme

yöntemleridir. Bundan sonraki kısımda geliştirilen Çift Katsayılı Algoritma ile birlikte diğer 5 yöntem sırayla açıklanacaktır.

#### **4.1. Geliştirilen Çift Katsayılı Algoritma**

Geliştirilen çift katsayılı algoritmanın çalışma mantığı aşağıdaki bölümde adım adım açıklanmıştır. Bu yöntemin amacı toplam maliyeti minimize etmektir.

**ADIM 1:** P,A,B,T,F,G,D<sub>i</sub> parametreleri girilir.

**ADIM 2:** Dönem başı stok miktarı, ilk dönemin talebinden büyük ise ilk dönemde üretim yapılmaz dönem başı stok miktarından ilk dönemin talebi çıkarılarak 2. adıma dönülür eğer Dönem başı stok miktarı, ilk dönemin talebinden küçük ise ilk dönemin talebinden dönem başı stok miktarı çıkarılır.

**ADIM 3:** Dönemin talebi pozitif ise  $X, 1 \leq N, 0$  'a eşitlenir. Dönemin talebi E değişkenine aktarılır içinde bulunan dönem numarası I ,C'e aktarılır.

**ADIM 4:** İçinde bulunan dönem numarası I, temin süresi T'den büyük ise o üretim emri gerçekleştirilemez. küçük ise bir sonraki adıma geçilir.

**ADIM 5:** İçinde bulunan dönem numarası I,1 artırılır , ceza katsayısı N'de bir artırılır.

**ADIM 6:**  $(1.625 * D_i * N) > (F/G)$  ise 7.adıma geçilir değilse 8.adıma geçilir.

**ADIM 7:** I, K'ya aktarılır, C nin değeri I'ya aktarılır, i.dönem E değişkeninde toplanan talep kadar üretim emri verilir. i.dönem stokta tutulan miktar hesaplanır. X, üretim yapılan dönem sayısı 1 artırılır. Üretimin yapıldığı dönemin talebi E'e aktarılır. İçinde bulunan dönem numarası I, C'e aktarılır. 9.adıma gidilir.

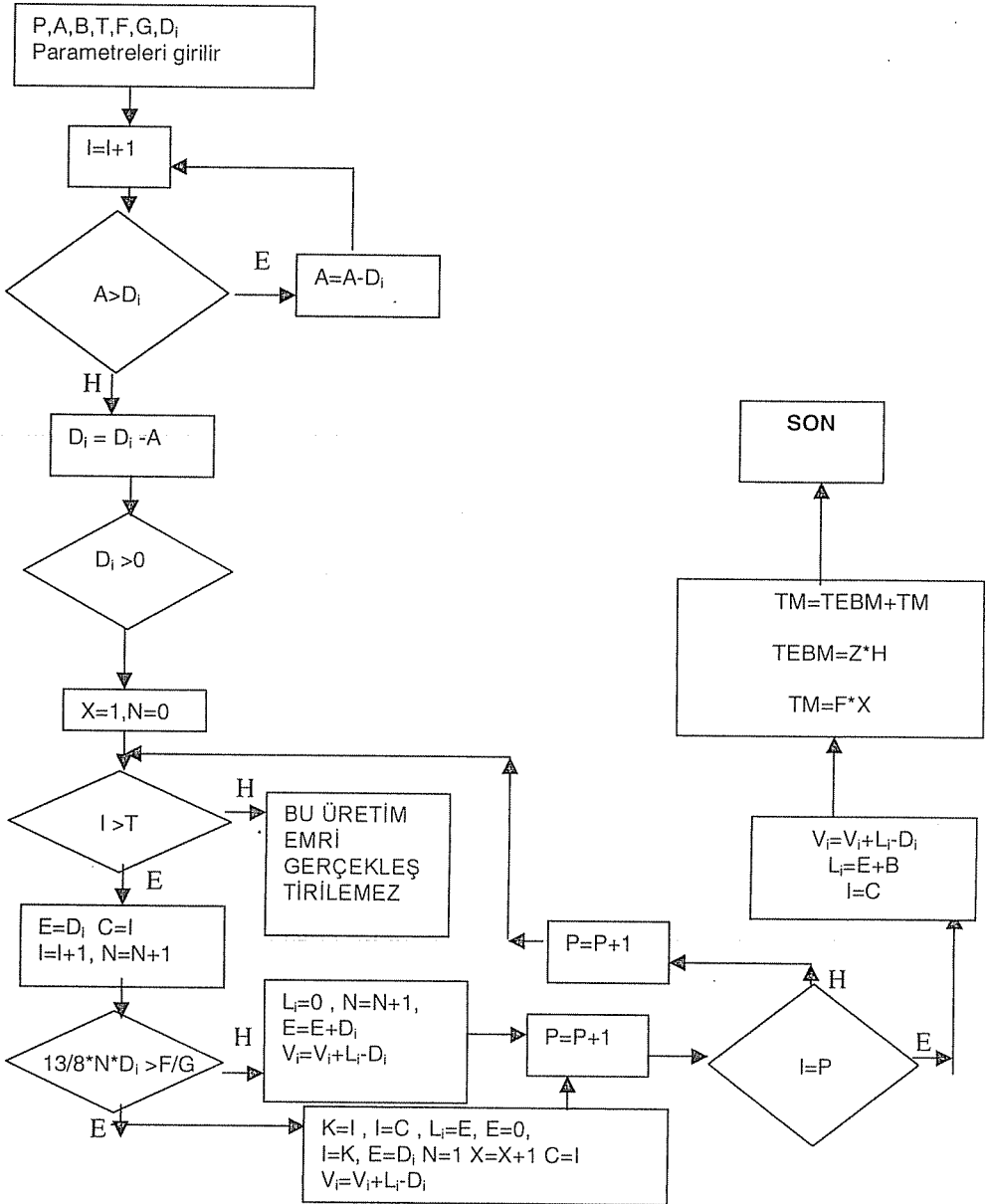
**ADIM 8:** i.dönem üretim yapılmaz. dönemin talebi E'e aktarılır, i.dönem stokta tutulan miktar hesaplanır 9.adıma gidilir.

**ADIM 9:** Planlanan dönem sayısı 1 artırılarak içinde bulunan dönem numarasına eşit olup olmadığı karşılaştırılır eğer eşitse 10.adıma değilse 11.adıma geçilir.

**ADIM 10:** Bütün dönemler boyunca stokta tutulan ürün miktarı ve verilen üretim yapılan dönem sayısı belirlenir 12.adıma geçilir.

**ADIM 11:** P değeri 1 azaltılarak 5.adıma dönülür.

**ADİM 12:** Toplam elde bulundurma maliyeti ,TEBM; dönemler boyunca stokta tutulan ürün miktarının elde bulundurma maliyeti ile çarpılması ile elde edilir, Toplam hazırlık maliyeti THM; parti verilme sayısı ile parti verme maliyetinin çarpılması ile elde edilir, toplam maliyet, TM; TEBM ile THM toplanması ile bulunur ve işlem sona erer.



Şekil 1. Geliştirilen Çift Katsayılı Algoritmanın Akış Diyagramının Gösterilmesi

Geliştirilen parti büyüklüğü belirleme algoritması toplam maliyeti minimize etmek için  $N_i$  ceza katsayısını,  $13/8=1.625$  sabit katsayısını  $i$ .dönem talebi olan  $D_i$  ile çarpmaktadır. Bu çarpım değeri  $(1.625 * D_i * N)$ , hazırlık maliyeti/üretim yapma maliyeti  $F$ 'in, elde bulundurma/taşıma maliyetine oranı,  $(F/G)$  ile karşılaştırılmaktadır.  $(1.625 * D_i * N)$  çarpım değeri  $(F/G)$  oranından büyükse ilgili dönemde üretim yapılır. Algoritma önce hangi dönemlerde üretim yapılmasının gerektiğini belirler. Daha sonra bu üretim yapılacak dönemlerde üretim büyüklüğü, parti büyüklüğü, üretim yapılmasına karar verilen dönemden bir sonraki üretim yapılacak döneme kadar olan taleplerin toplamı üretilecek üretim büyüklüğü olarak belirlenir ve bu üretimin yapılacağı dönemden temin süresi kadar önce üretim yapılır.

Algoritma, dönem başı stoğu ilgili dönemlerin talepleri ile karşılaştırır dönem başı stoğu, dönemin talebinden büyükse o dönem üretim yapılmasına gerek yoktur. Algoritma, dönem sonu stoğu son dönemin talebi üzerine ekler. Her bir dönemde stokta tutulan ürün miktarı algoritma tarafından hesaplanır. Geliştirilen algoritmanın akış diyagramı Şekil-1'de gösterilmiştir. Yönteme bu adın verilmesinin sebebi biri sabit  $(1.625)$  biri de değişken olmak üzere  $(N=1, \dots, p)$  iki farklı katsayının kullanılmasıdır. Çift katsayılı algoritma (ÇK) ile ifade edilmiştir (1).

#### 4.2. Ekonomik Sipariş Miktarı Yöntemi

Ekonomik sipariş miktarı yönteminin geliştirilmesinde temel varsayımlar talebin sabit ve biliniyor olmasıdır. Bu yüzden Ekonomik sipariş miktarı yöntemi, MRP sisteminde kullanılmak üzere geliştirilmemiştir. Ancak bu sistemde kolaylıkla uygulanabilecek bir yapıya sahiptir. Talep dağılımının dönemlik ortalaması sabit olduğu sürece, dönem içindeki tesadüfi değişimler bu varsayımı ihlal etmez. EOQ yönteminin kullanımı oldukça basittir, fakat dönem başına ortalama ihtiyaç tamamen sabit olmadıkça, en düşük maliyeti sağlamaz. Denklem (3)'te yöntemin parti büyüklüğünü belirlemede kullanılan formül gösterilmiştir (1).

$$EOQ = \sqrt{\frac{2FD}{G}} \quad (3)$$

#### 4.3. Periyodik Sipariş Miktarı Yöntemi

Periyodik Sipariş Verme Yöntemi, klasik EOQ yönteminin mantığına dayanır. Bu yöntemde, parti verme aralığını belirlemek için önce ekonomik sipariş miktarı hesaplanır. Daha sonra yıllık toplam maliyet, ESM ile bölünerek bir yılda üretilecek üretim dönemi sayısı bulunur. Bir yıldaki toplam dönem sayısının, yıllık üretim dönemi sayısına bölünmesi ile üretim yapılma aralığı hesaplanmış olur. Böylece hesaplanan üretim dönemleri arası süre aralığına düşen dönemlerin net ihtiyaçlarının toplanmasıyla parti miktarı hesaplanır. POQ yöntemi, parti verme aralığının hesaplanması hariç sabit sipariş süresi yönteminin aynısıdır. Denklem (4) ve (5) ile gösterilen formüllerle ilgili değerler hesaplanır (1).

$$YSS=YT/ESM \quad (4)$$

$$SAS=P/YSS \quad (5)$$

#### 4.4. Parçalı Dönem Dengesi Yöntemi

Bu yöntem, parti büyüklüğünü belirlerken toplam hazırlık maliyetini elde bulundurma maliyetine eşitlemeye çalışır. Bir başka ifade ile bu yöntemin amacı EOQ yaklaşımında olduğu gibi hazırlık ve elde bulundurma maliyetlerinin toplamını minimum yapmaktır. Bunun için denklem (6)'da hesaplanan ekonomik parça dönem faktörü kullanılır. Bu faktör ile denklem (7)'de hesaplanan kümülatif birim zamanda elde bulundurulan ürün miktarı karşılaştırılır.

$$EPDF=F/G \quad (6)$$

$$KBEÜM= SBDS \cdot D_i \quad (7)$$

KBEÜM değeri EPDF değerini geçtiği dönemde, bu döneme kadar olan talep büyüklüğünde üretim yapılır (1).

#### 4.5. Wagner-Whitin Yöntemi

Bu yöntem dinamik programlama modeline dayalı matematiksel bir optimizasyon işlemidir. Temel olarak Wagner-Whitin yöntemi, planlama döneminin her bir dönemindeki net ihtiyaçları karşılamak için mümkün olan tüm alternatifleri değerlendirir. Yöntemin amacı, tüm net ihtiyaç programı için optimum üretim stratejisine ulaşmaktır. Dikkate alınan planlama dönemi için ihtiyaçlar kesinlikle tahmin edildiğinde Wagner-Whitin yöntemi optimum çözümü elde edebilir. Wagner –Whitin yöntemi de üretim yapma ve elde bulundurma maliyetlerinin toplamını minimize etmeye çalışır. Bu yöntem diğer parti büyüklüğü yöntemlerinin nispi etkinliğini ölçmede bir standart olarak kullanılabilir (1).

#### 4.6. İhtiyaç Kadar Sipariş Verme Yöntemi

İhtiyaç kadar sipariş verme yöntemi ( Lot For Lot), her bir dönemin net ihtiyacı kadar üretim yapılmasını önerir. Her bir dönemdeki parti miktarı, o dönemdeki net ihtiyaç miktarına eşittir. Bu yöntem ile istekler anında karşılanacak ve stok bulundurulmayacaktır. Bu yöntemin kullanımı halinde elde bulundurma maliyetleri minimize edilmiş olur (1).

### 5. SONUÇLAR

Literatürde mevcut 50 farklı talep yapısı kullanarak W-W, ÇK, LFL, EOQ, POQ ve PPB yöntemleri DS paket programı kullanılarak karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılmak üzere literatürden alınan 50 farklı talep yapısı Tablo-1.2,5' te gösterilmiştir. Tablo-1'de gösterilen talep yapıları Berry'nin 1972 yılındaki çalışmasında kullanılmış olduğu talep yapılarıdır. Bu tabloda 20 farklı talep yapısı bulunmaktadır. Tablo-2'de gösterilen talep yapıları Yelle'nin 1979 yılındaki çalışmasında kullanılmış olduğu talep yapılarıdır. Bu tabloda 12 farklı talep yapısı bulunmaktadır. kullanılmış olduğu talep yapılarıdır. Tablo-5'te gösterilen 18 farklı talep yapıları değişik kaynaklardan alınan talep yapılarıdır.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan Çeşitli Talep Yapıları (2)

ÖRNEK TALEP YAPILARI																				
NO	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20
1	92	92	92	92	92	80	80	80	80	80	50	50	50	50	50	10	10	10	10	10
2	92	92	92	92	92	100	100	100	100	100	80	80	80	80	80	10	10	10	10	10
3	92	92	92	92	92	125	125	125	125	125	180	180	180	180	180	15	15	15	15	15
4	92	92	92	92	92	100	100	100	100	100	80	80	80	80	80	20	20	20	20	20
5	92	92	92	92	92	50	50	50	50	50	0	0	0	0	0	70	70	70	70	70
6	92	92	92	92	92	50	50	50	50	50	0	0	0	0	0	180	180	180	180	180
7	92	92	92	92	92	100	100	100	100	100	180	180	180	180	180	250	250	250	250	250
8	92	92	92	92	92	125	125	125	125	125	150	150	150	150	150	270	270	270	270	270
9	92	92	92	92	92	125	125	125	125	125	10	10	10	10	10	230	230	230	230	230
10	92	92	92	92	92	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	40	40	40	40	40
11	92	92	92	92	92	50	50	50	50	50	180	180	180	180	180	0	0	0	0	0
12	92	92	92	92	92	100	100	100	100	100	95	95	95	95	95	10	10	10	10	10
F	48	92	120	206	300	48	92	120	206	300	48	92	120	206	300	48	92	120	206	300
G	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

**Tablo 2.** Çalışmada kullanılan Çeşitli Talep Yapıları (15)

ÖRNEK TALEP YAPILARI												
DÖNEM SAYISI	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12
1	21	10	32	9	33	42	21	10	32	9	33	42
2	21	12	30	13	29	0	21	12	30	13	29	0
3	21	14	28	17	25	0	21	14	28	17	25	0
4	21	16	26	21	21	0	21	16	26	21	21	0
5	21	18	24	25	17	63	21	18	24	25	17	63
6	21	20	22	29	13	0	21	20	22	29	13	0
7	21	22	20	33	9	42	21	22	20	33	9	42
8	21	24	18	29	13	0	21	24	18	29	13	0
9	21	26	16	25	17	0	21	26	16	25	17	0
10	21	28	14	21	21	0	21	28	14	21	21	0
11	21	30	12	17	25	84	21	30	12	17	25	84
12	21	32	10	13	29	21	21	32	10	13	29	21
F	50	50	50	50	50	50	100	100	100	100	100	100
G	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Her bir talep yapısında ilgili dönemdeki talep miktarı, üretim yapma maliyeti/hazırlık maliyeti (F) ve elde bulundurma/taşıma maliyeti (G) bilgileri bulunmaktadır. Maliyetler dolar cinsinden alınmıştır. Yelle ve Berry'in talep yapıları çok sayıda araştırmacının çalışmalarında karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır. Tablo-3'te her bir yöntemin 50 farklı talep yapısının her birinin çözümünün neden oldukları maliyetlerin toplamı gösterilmiştir.

### 5.1. Toplam Maliyet Kriteri Açısından Sonuçlar

Literatürden alınan farklı talep yapılarının DS paket programı kullanarak 5 farklı parti büyüklüğü belirleme yöntemine göre çözümlerinin neden oldukları toplam maliyetler ile geliştirilen çift katsayılı algoritmanın pascal programlama dilinde yazılan program aracılığıyla alınan çözümlerin neden oldukları toplam maliyetler Şekil-2'de şematik olarak gösterilmiştir. Aynı maliyetler Tablo-3'te tablo halinde gösterilmiştir.

Buna göre W-W yöntemi talep yapılarının çözümünü 47.553,2 \$ ile en düşük maliyetle çözümlen yöntem olmuştur. Geliştirilen çift katsayılı yöntem, talep yapılarının çözümünü 48.586,2 \$ maliyet ile W-W yönteminden sonra en düşük maliyetle çözen yöntem olmuştur. ÇK, W-W yönteminin toplam maliyetinden % 2,17'lik bir sapma göstermiştir. Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin toplam maliyetlerinin W-W yönteminin toplam maliyetinden sapma yüzdeleri Şekil-3'te gösterilmiştir.

Wagner-Whitin yöntemi her zaman optimum sonucu verdiği için doğal olarak en düşük toplam maliyete neden olan yöntem olmuştur. Wagner-Whitin yönteminden sonra en düşük maliyete neden olan yöntem geliştirilen Çift Katsayılı Algoritma olmuştur. PPB ve POQ benzer sonuçlar vermişlerdir. Bunun nedeni yöntemlerin çalışma sistemlerinin benzer olmasıdır. Bu değerlendirme kriterine göre en kötü performansı %56 sapma yüzdesi ile EOQ yöntemi vermiştir.

**Tablo 3.** Parti Büyüklüğü Belirleme Yöntemlerinin Toplam Maliyetlerinin Gösterilmesi (\$)

W-W	ÇK	LFL	EOQ	POQ	PPB
47553,2	48586,2	69720	74532,4 6	52399,4	52054,2

**Tablo 4.** Parti Büyüklüğü Belirleme Yöntemlerinin Performans İndekslerinin Gösterilmesi

W-W	ÇK	LFL	EOQ	POQ	PPB
1	1,02172 3	1,46614 7	1,56734 9	1,10191 1	1,09465 2

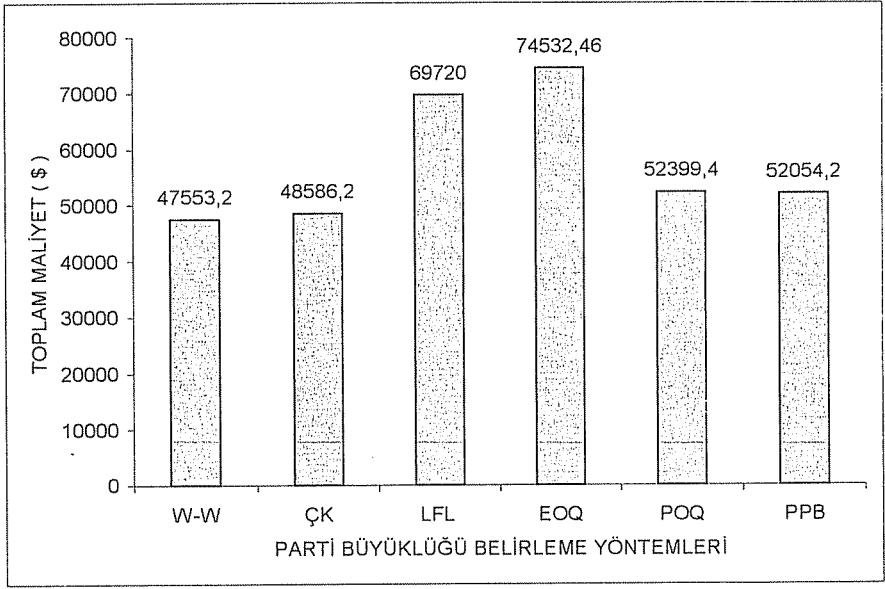
**Tablo 5.** Çalışmada kullanılan değişik çalışmalardan alınmış Talep Yapıları

*KAYNAK KISITLAMASI OLMAYAN TEK AŞAMALI PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ BELİRLEME  
PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜNDE YENİ BİR SEZGİSEL ALGORİTMA*

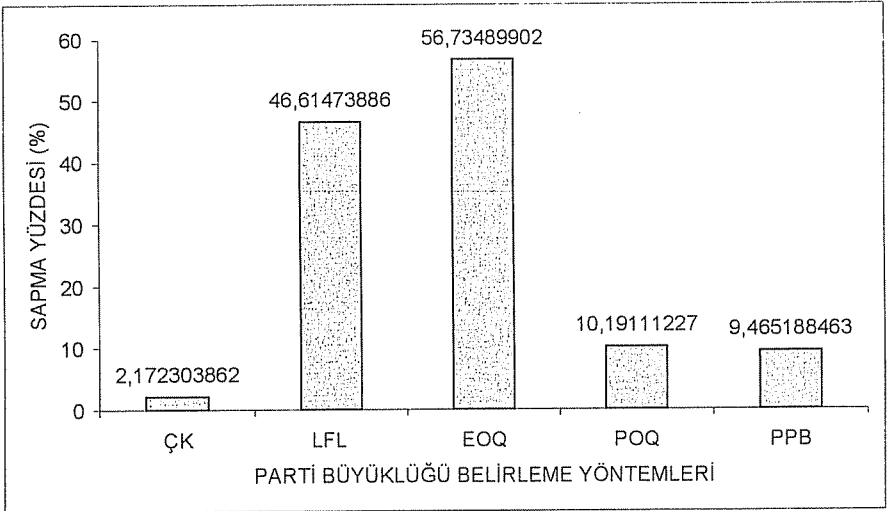
<b>ÖRNEK TALEP YAPILARI</b>																		
DÖNEM SAYISI	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18
1	30	100	10	75	73	20	18	10	335	52	0	100	35	40	100	5	35	20
2	10	200	30	50	12	35	30	40	200	87	0	79	30	50	10	10	10	50
3	20	600	40	90	6	0	42	30	140	23	0	230	40	0	20	30	0	10
4	5	300	20	15	13	25	5		440	56	42	105	0	20	200		40	10
5	10	600	0	40	30	0	20		300		42	3	10	80	50		0	50
6	14	800	50	60	0	30			200		32	10	40	30	10		20	20
7	3	500	40	75	12	0					12	99	30				5	
8		400	10	45	24	35					26	126	0				10	
9		400	40	35	0	0					112	40	30				30	
10		600	20	20	0	50					45		55					
11		0		30	24	0					14							
12		700		65	12	0					76							
13				70	24						38							
14				15	4													
15				50	0													
16				20	24													
17				80	5													
18				25	0													
19				85	14													
20				55	5													
21					12													
22					0													
23					0													
24					0													
25					20													
26					0													
27					20													
28					0													
29					20													
30					10													
F	50	40	100	400	200	15	80	50	200	75	132	450	200	100	100	100	100	100
G	1	0	1	1	1	0,1	2	1	0,3	1	0,6	2	2	1	1	1	1	1

**Tablo 6.** Parti Büyüklüğü Belirleme Yöntemlerinin Optimum Sonuç Verme Sayılarının Gösterilmesi

W-W	ÇK	LFL	EOQ	POQ	PPB
50	31	4	1	14	14



Şekil 2. Parti Büyüklüğü Belirleme Yöntemlerinin Literatürden Alınan Örnek Talep Yapılarına Göre Çözümlerinin Neden Oldukları Toplam Maliyetlerin Gösterilmesi



Şekil 3. Parti Büyüklüğü Belirleme Yöntemlerinin Literatürden Alınan Örnek Talep Yapılarına Göre Çözümlerinin Neden Oldukları Toplam Maliyetlerin W-W yönteminin Toplam Maliyetinden Sapma Yüzdelerinin Gösterilmesi



### 5.2. Performans İndeksi Kriteri Açısından Sonuçlar

Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin birbirleri ile toplam maliyet açısından performanslarını karşılaştırmak için performans indeksi kullanılmıştır.

$$\text{Performans indeksi} = (\text{Yöntemin Toplam Maliyeti}) / (\text{W-W yönteminin Toplam Maliyeti})$$

Tablo 4'te yöntemlerin performans indeksleri gösterilmiştir. Performans indeksi 1'e en yakın olan yöntem en iyi performansa sahip yöntemdir. Toplam maliyet açısından en iyi üç performans indeksine sahip yöntemler ÇK, PPB, POQ yöntemleridir. Bu değerlendirme kriterine göre en kötü performansı EOQ göstermiştir.

### 5.3. Optimum Sonuç Verme Sayılarına Göre Sonuçlar

Herhangi bir talep yapısında çözümü, diğer yöntemlerin sonuçlarına göre minimum toplam maliyetle bulan yöntem çözümü optimum sonuçla çözen yöntem olarak adlandırılır. Tablo-6'da parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin optimum sonuç verme sayıları gösterilmiştir. Optimum sonuç verme sayısının fazlalılığı diğer bir değerlendirme kriteridir.

W-W yöntemi çalışmada kullanılan 50 farklı talep yapısının hepsinde çözümü optimum sonuçla bulmuştur. Geliştirilen Çift Katsayılı Algoritma toplam 31 optimum sonuç vererek diğer yöntemlere göre oldukça iyi bir performans sağlamıştır. PPB ve POQ yöntemleri 14 kez optimum sonuç vermişlerdir. Bu değerlendirme kriterine göre en kötü performansı 1 kez optimum sonuç veren EOQ yöntemi göstermiştir.

DS paket programında yer alan ve aynı zamanda MRP sistemlerinde en çok kullanılan parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinden 5 tanesi ve geliştirilen algoritma üç farklı kriter açısından karşılaştırılmıştır.

W-W yöntemi, kaynak kısıtlaması olmayan tek aşamalı parti büyüklüğü belirleme problemini her zaman minimum maliyetle çözdüğü için doğal olarak çalışmada en iyi performansı veren yöntem olmuştur. W-W yönteminden sonra en iyi performansı sağlayan yöntem geliştirilen Çift Katsayılı Algoritma olmuştur. ÇK, çalışmada kullanılan diğer parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin performanslarına göre W-W oldukça yakın performans göstermiştir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Şenyiğit, E., "MRP sistemleri için Parti Büyüklüğü Belirlenmesinde yeni bir Sezgisel Algoritma ve Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Adana, 2001.
2. Bahl, H.C., Ritzman, L.P. et. al., "Determining Lot Sizes and Resource Requirements: A Review", *Operation Research*, 34 (3):330-345, 1986.
3. Gupta, Y.P., Keung, Y.K. et. al., "Comparative Analysis of Lot Sizing Models for Multi-Stage Systems: A Simulation Study". *International Journal of Production Research*, 30(4):695-716, 1992.
4. Berry, W.L., "Lot Sizing Procedures for Requirements Planning Systems: A Framework For Analysis", *Production and Inventory Management*, 13(2):19-34, 1972.

5. Gupta,S.M., Brennan,L., "Lot Sizing and Backordering in Multi-Level Product Structures". *Production and Inventory Management*, (1):27-34,1992.
6. Haddock, J., Hubicki, D.E., "Which Lot-Sizing Techniques are Used in Material Requirements Planning?". *Production and Inventory Management Journal*, 30(3): 53-56, 1989.
7. Cosgrove,W.J., Westerman,R.R., et. al., "Optimal Discrete Lot Sizing : A Convenient Approach ", (3):14-18,1993.
8. McLeavley,N., "Production and Inventory Control", Prentice Hall International Edition.
9. Nahmias,S., "Production and Operations Analysis", Second Edition,1993.
10. Ritchie,E., Tsado,A.K., "A Review of Lot Sizing Techniques for Deterministic Time-Varying Demand", *Production and Inventory Management*. 24(3), 1986.
11. Robert,W.J.& Westerman,J., "Production And Inventory Management", Third Quarter,1993.
12. Sanchez,S.D., Triantaphyllou,E. et. al., "A Study of The Total Inventory Cost as a Function of The Reorder Interval of Some Lot Sizing Techniques Used in MRP Systems." *Computers&Industrial Engineering Journal*, 2001.
13. Scmenner,R.W., "Production and Operations Management",1993.
14. Tersine,R.J.& Toelle,R.A., "Lot Size Determination with Quantity Discounts" *Production and Inventory Management* 23(3), 1985.
15. Yelle,L.E., "Materials Requirements Lot Sizing: A Multi-Level Approach" *International Journal of Production Research*.17(3) : 223-232, 1979.

## DOKUMA İŞLETMELERİNDE MAKİNE GİRİŞİM PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN SİMÜLASYON YAKLAŞIMI

**Funda YILDIRIM**

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

**Adnan YILDIZ**

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

**ÖZET :** Dokuma işletmelerinde bir işçi, kumaş dokuyan bir çok dokuma tezgahına servis vermektedir. Operatörün görevi dokuma tezgahında herhangi bir sebeple iplik kopuşu veya duruş meydana geldiği zaman; bu duruşu gidermek ve dokuma tezgahını sürekli çalışır vaziyette tutmaktır. Zaman zaman bir çok dokuma tezgahı aynı anda durabilmektedir. Bu durumda bir operatör, bir anda sadece biri ile ilgilenemediği için girişime sebebiyet vermektedir.

Bu çalışmada, tekstil sanayindeki dokuma işletmelerinde oluşan girişim zamanı ve bir operatöre tahsis edilecek makine sayısının doğru tesbit edilmesinde kullanılacak bir simülasyon programı geliştirilmiştir. Ayrıca, farklı kuyruk disiplinleri ile servis verilmesinin sistem performans değişkenleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve minimum girişim zamanını sağlayan kuyruk disiplini belirlenmiştir.

### SIMULATION APPROACH FOR SOLUTION OF MACHINE INTERFERENCE PROBLEM IN WEAVING MILLS

**ABSTRACT :** One operator who works in weaving mills, attends several looms that are weaving fabric. The operator repairs machines when a yarn break or machine failure occurs and maintains looms in machinery position. Occasionally, multiple looms may stop simultaneously because an operator can attend only one at a time, and interference results.

In this study, a simulation programme is developed to determine machine interference time and the appropriate number of machines to assign to an operator in weaving plants in the textile industry. Moreover, the effects of the different queue disciplines on system performance variables are analyzed. Subsequently, the queue discipline that gives the minimum machine interference time is determined.

## 1. GİRİŞ

Makine girişimi, bir çok üretim sistemi için özel önemi olan bir problemdir. Makine girişimi arzu edilmeyen ve gereksiz bir makine beklemesidir(1). Bir veya daha fazla işçinin bir kaç makineye servis vermesinden kaynaklanmaktadır. Makinenin servise olan ihtiyacı eş zamanlı edilmediği zaman hem makineyi çalıştıran, hem de makine bu girişime maruz kalır. Girişim muhakkak ki üretim sisteminin verimliliğini düşürür. Girişim modellerinin çoğu girişimin maliyetini veya bu girişimin bizzat kendisini en aza düşürmeyi gerçekleştirmek için tasarlanmıştır (2).

En eski endüstri mühendisliği problemlerinden biri olan makine girişimini şu şekilde açıklamak mümkündür. Farz edelim ki bir operatör(makine işleticisi ) veya tamir elemanı birkaç makinenin çalışmasından sorumlu olsun. Zaman zaman bir makine durur ve bir tamir elemanı tarafından onarılmaya kadar yeniden üretim yapamayacaktır. Belli bir sürede sadece bir makine onarılabileceğinden , iki veya daha fazla makine aynı anda bozulacak olursa kalan bozuk makineler onarılmak için beklemek zorunda kalır. Bu bekleme zamanı, girişim zamanı olarak belirtilen şeydir.

Ortalama girişim zamanı bilgisi, mantıklı iş standartlarının oluşturulmasında, üretimin planlanması ve kontrolünde, maliyet hesaplarında çok yararlı bir unsurdur. Girişim miktarı makine verimliliklerini ve üretim oranını, böylece karları etkiler. Üretim miktarı servis ve girişim zamanından dolayı azalmaktadır. Girişim miktarı üç unsura dayalıdır.

1. İki bozulma arasındaki zaman, servis zamanı ve operatörün makineler arasında yürümesi için geçen zamanın dağılımları (3,4)

2. Kuyruk disiplini ( Operatörün kuyrukta bekleyen makinelerden hangisine servis vereceğini belirlemede kullandığı kural )

3. Operatörün servis verdiği makine sayısı

Temel makine girişim problemi (ekonomik üretim ve diğer düşüncelere dayalı) bir operatöre verilebilecek uygun makine sayısına karar vermektir(5,6). Bir operatöre doğru sayıda makinenin tahsisi, önemli ve basit olmayan bir karardır. Hem gereğinden fazla hem de çok az makinenin tahsisinin sakıncaları ve kötü sonuçları vardır. Çok sayıda bozuk makine ile normalden aşırı çalıştırılmış operatör bitkinlik gösterebilir. Bu ise iş hızını yavaşlatır ve ileride problemi büyütebilir. Bu durumda operatör kendisinden beklenen işleri yerine getirmek için daha hızlı olmaya çalışmakta ve büyük bir olasılıkla, kalite problemleri, arızalı çıktı ve güvenlik problemleriyle sonuçlanmaktadır. Yönetici ise elde etmeyi umduğu sonucu elde edememektedir.

Diğer taraftan çok az sayıda makinenin tahsisi, gereksiz işgücü maliyetine sebebiyet vermektedir. Operatör makineyi çalışır durumda tutmak için az bir çaba sarf edecek; bu ise operatörde başıboşluk (aylaklık), can sıkıntısı ve dikkatsizlik meydana getirecek; sonuçta iş standartları da düşecektir.

Girişim probleminin çalışıldığı geleneksel endüstrinin bir örneği tekstil endüstrisidir ki; burada bir işçi, kumaş dokuyan bir çok dokuma tezgahına servis vermektedir. Operatörün görevi dokuma tezgahında herhangi bir sebeple iplik kopuşu veya duruş meydana geldiği zaman; bu kopuşu gidermek ve dokuma tezgahını sürekli çalışır

vaziyette tutmaktır. Operatör tarafından duruş giderilinceye kadar makine durmakta ve üretim kaybı meydana gelmektedir. Duruşların olmadığı zamanlarda operatör boş kalmakta ve duruş olmasını beklemektedir. Bu gibi durumlarda operatörün boş vaktini verimli kılmak amacıyla; operatöre birden fazla makine verilmesi sağlıklı bir işletmecilik prensibidir. Zaman zaman bir çok dokuma tezgahı aynı anda durabilmektedir. Bu durumda bir operatör, bir anda sadece biri ile ilgilenebildiği için girişime sebebiyet vermektedir.

Ortaya çıkan girişim miktarının hesaplanması ve takibi, bir çok yönden büyük önem arz etmektedir:

1. Dokuma tezgahlarında herhangi bir sebeple duruş meydana geldiği zaman, dokuma tezgahındaki duruşun giderilmesi ve tezgahın tekrar çalışmaya başlamasına kadar geçen süre( girişim zamanı) uzadıkça, tezgahın durmasından dolayı dokunan kumaşa hata oluşma ihtimali artmaktadır. Yapılan deneyler göstermiştir ki; duruşlara müdahale zamanı uzadıkça hata oluşması ihtimali de artmaktadır.

2. Operatöre doğru sayıda makine tahsisine karar verebilmek için girişim zamanının bilinmesi gerekmektedir (7).

3. Standart randıman hesaplarının doğru bir şekilde yapılabilmesi için ortalama girişim miktarının belirlenmesi gereklidir. Standart randıman, teşvikli ücret sistemlerinde, üretim planlama ve kontrolünde, iş gücü planlamasında ve maliyet hesaplarında kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, tekstil sanayindeki dokuma işletmelerinde meydana gelen ve her işletmenin kendi şartlarına göre uygulayabileceği, ilgili işletmede oluşan girişim zamanı ve bir operatöre tahsis edilecek makine sayısının doğru tesbit edilmesine yardımcı olacak bir simülasyon programı geliştirilmiştir.

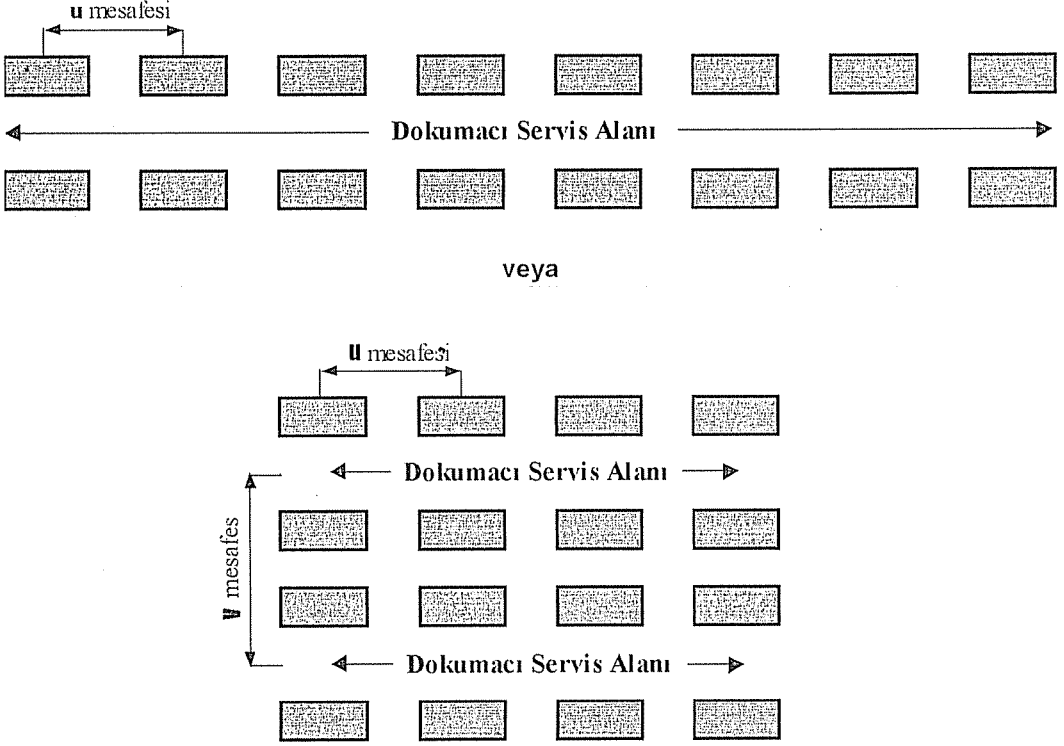
İki duruş arası süre dağılımını ve servis süresi dağılımını elde etmek için seçilen işletmede gözlemler yapılmıştır. Elde edilen veriler, istatistiksel analiz programı kullanılarak dağılım tahminleri gerçekleştirilmiştir. Simülasyon programı, genel amaçlı görsel programlama dili olan Delphi 3.0`da yazılmıştır. SIMAN IV programlama dilinde de aynı sistemin farklı kuyruk disiplinleri için simülasyon programları yazılmıştır. Böylece farklı kuyruk disiplini uygulamalarında girişim miktarının değişimi analiz edilmiştir. Tekstil sektöründe faaliyet gösteren herhangi bir dokuma işletmesinin temel bilgileri programa girildiğinde; geliştirilen program ile bu işletmede oluşan girişim zamanı ve bir operatöre tahsis edilmesi gereken makine sayısının tespiti yapılabilmektedir. Bu çalışmada verilerin toplandığı işletme baz alınarak sonuçlara ulaşılmıştır.

## **2. SİSTEMİN TANIMI**

Çalışmanın yapıldığı sistemde, bir dokuma operatörünün sorumluluğuna birden fazla dokuma tezgahı verilmektedir. Dokuma tezgahlarının birkaç adedi yatay yönde, birkaç adedi ise dikey yönde yerleştirilebilmektedir (örnek : Şekil 1). Dokuma operatörünün görevi, dokuma tezgahları arasında gezerek, herhangi bir dokuma tezgahında bir duruş meydana geldiği zaman bu duruşu gidermek ve dokuma tezgahını tekrar çalışır duruma

getirmektir. Tezgahların hepsinin çalıştığı durumda ise, dokunan kumaşları gözle kontrol ederek, olası hatalı dokuma işlemini önlemektir.

Gözlemlerin yapıldığı dokuma işletmesinde 128 adet dokuma tezgahı mevcuttur. Bu tezgahlar her biri 16 adet dokuma tezgahından meydana gelen gruplara ayrılmıştır. Her bir gruba bir dokumacı (operatör) bakmakta olup, toplam 8 adet grup mevcuttur.



Şekil 1. Dokuma Tezgahları Örnek Yerleşim Planları

### 3. SİMÜLASYON MODELİNİN TANITIMI

#### 3.1. Problemin Formülasyonu

##### 1) Amaç:

Bir dokuma işletmesinde, bir dokuma operatörüne birden fazla dokuma makinesinin verildiği durumda oluşan girişim zamanının tespiti ve operatöre tahsis edilmesi gereken makine sayısının belirlenmesi.

##### 2) Değerlendirme Kriterleri:

- Ortalama girişim zamanı
- Ortalama müdahale süresi
- Operatör iş yükü

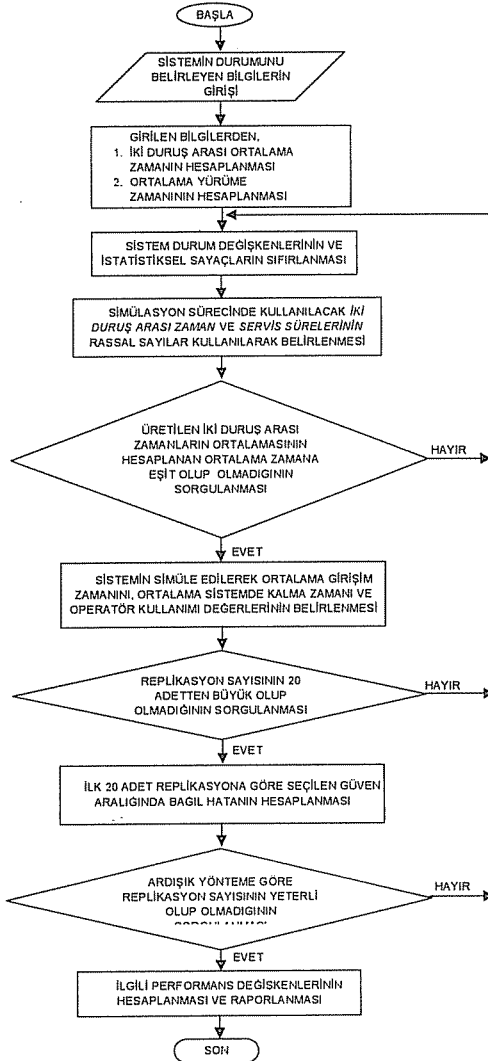
#### 3.2. Modelin Tanımı

##### 1) Modelin Elemanları

- a) Herhangi bir sebeple duran dokuma tezgahları
- b) Dokuma operatörü
- 2) Modelin Değişkenleri
  - a) İki dokuma tezgahı duruşu arasında geçen süre
  - b) Duran tezgahı tekrar çalışır hale getirmek için harcanan süre (servis süresi)
  - c) Bir Operatörün servis verdiği dokuma tezgahı sayısı
- 3) Modelin Parametreleri
  - a) İki dokuma tezgahı duruşu arasındaki süre dağılımı
  - b) Servis süresi dağılımı
  - c) Ortalama yürüme zamanı

### 3.3. Bilgisayar Programının Tanıtımı

#### 3.3.1. Bilgisayar Programının Akış Şeması



## Şekil 2. Bilgisayar Programı Akış Diyagramı

### 3.3.2. Varsayımlar

a) Dokuma operatörü arka arkaya duran ve bir kuyruk oluşturan dokuma tezgahlarına ilk-gelen-ilk-servis görür (FCFS) kuyruk disiplinine göre servis vermektedir.

b) Tezgahların birinde bir duruş meydana geldiği zaman, dokuma operatörünün duruşu fark ederek dokuma tezgahına yürümesine kadar geçen yürüme zamanı, sabit bir değer olup; tezgah yerleşimine ve mesafesine göre ortalama bir değer olarak hesaplanmaktadır.

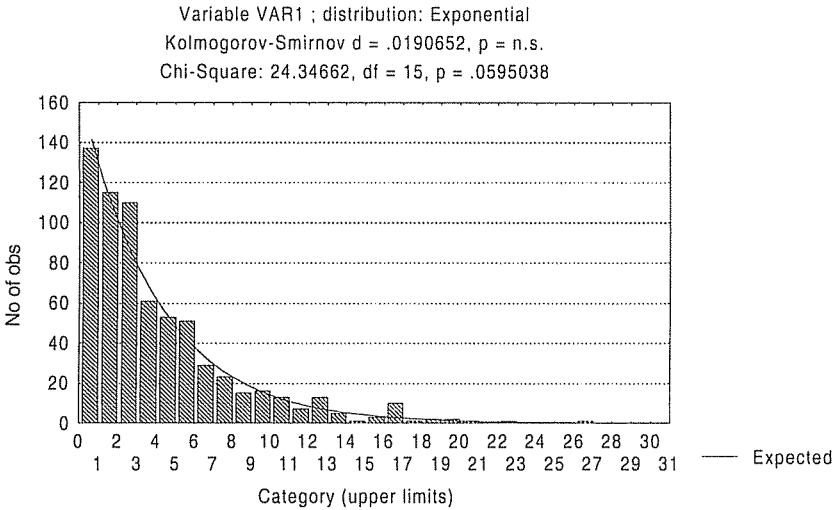
c) İplik kopuşları dışındaki, makine arızası gibi duruşlar dikkate alınmamıştır.

d) Aynı gruptaki makineler bozulmalar açısından eşdeğerdir.

## 4. ELDE EDİLEN BULGULAR

### 4.1. İki Duruş Arası Zaman İçin Dağılım Tahmini

Yapılan gözlemlerde iki duruş arası zaman için elde edilen veriler, üstel(exponential) dağılım için analiz edilerek Şekil 3'deki histogram elde edilmiştir.



Şekil 3. İki Duruş Arası Zaman Dağılım Fonksiyonu (Üstel Dağılım)

Bu dağılım için Ki-Kare ( $X^2$ ) ve Kolmogrov-Simironov testleri uygulanmış ve iki duruş arası süre dağılımının Üstel dağılıma uyduğu söylenebilmektedir.

### 4.2. Her Bir Dokuma Grubu İçin Bir Operatöre Tahsis Edilmesi Gereken Makine Sayısının Tespiti

Gözlemlerin yapıldığı dokuma işletmesinin verileri kullanılarak her bir grup için simülasyon deneyleri yapılmış ve gerekli performans değişkenleri hesaplanmıştır. Bu işletmede bir dokuma operatörüne tahsis edilmesi gereken makine sayısını belirlemede



kullanılan karar kuralı olarak; Müdahale Süresi performans değişkeninin 2 dakikayı geçmediği makine sayısı kabul edilmiştir. Bu süre belirlenirken iki önemli konuya dikkat edilmiştir. Birincisi herhangi bir sebeple duran dokuma tezgahını tekrar çalışır hale gelinceye kadar geçen süre (müdahale süresi) arttıkça hata oluşma olasılığının artmasıdır. Diğer konu ise operatör iş yükünün %50'yi geçmemesi kalan %50 iş yükünde ise operatörün kalite kontrol yapabilmesidir.

Her bir grup için yapılan çalışmalar değerlendirildiği zaman bu dokuma işletmesinde istenen performans ölçütlerinin sağlanabilmesi için toplam 6 adet dokuma tezgahı grubunun yeterli olacağı belirlenmiştir. Bu gruplarda olması gereken makine sayısı Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1. Olması Gereken Grup ve Makine Sayıları**

GRUP KODU	OLMASI GEREKEN MAKİNE SAYISI
1	19
2	20
3	22
4	24
5	21
6	22

#### **4.3. Farklı Kuyruk Disiplini İle Servis Verilmesinin Sistem Performans Değişkenleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi**

Farklı kuyruk disiplinlerinin Ortalama Müdahale Süresi, Ortalama Kuyruқта Bekleme (Girişim) Zamanı ve Ortalama Kuyruқта Bekleyen Makine Sayısı Performans Değişkenleri üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla sistemin simülasyon programı SIMAN IV Programlama Dilinde yazılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

İncelenen sistem üzerinde uygulanabilecek 3 farklı kuyruk disiplini belirlenmiştir. Bunlar ;

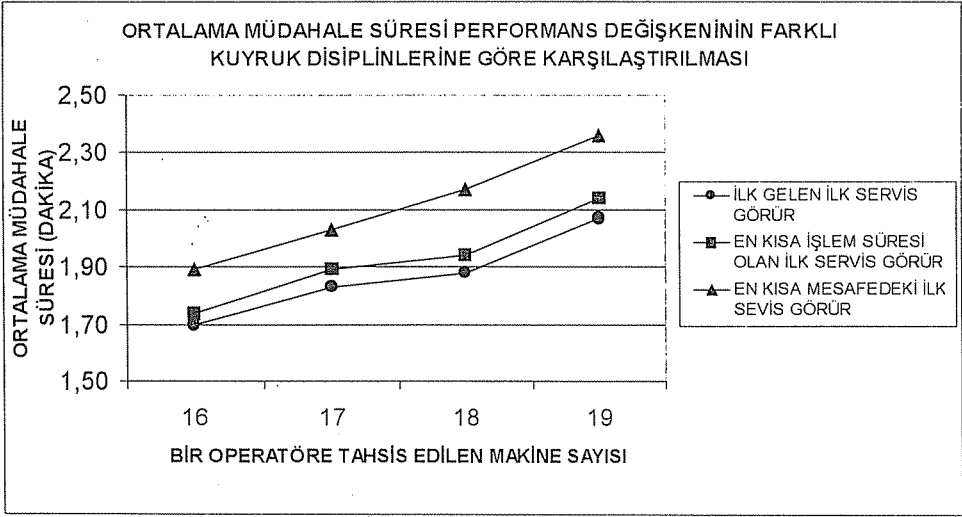
- 1) İlk Gelen İlk Servis Görür
- 2) En Kısa İşlem Süresi Olan İlk İşlem Görür
- 3) En Kısa Mesafede Olan İlk Servis Görür şeklindedir.

Ortalama Müdahale Süresi İçin 1.Grubun verileri analiz edilmiş; Tablo 2'deki sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca elde edilen verilerin grafik çizimi yapılmış; ve Şekil 4'de gösterilmiştir.

**Tablo 2. Farklı Kuyruk Disiplini Uygulanması Durumunda, Farklı Makine Sayıları İçin Ortalama Müdahale Süresi (Dakika) Değişimi**

	16	17	18	19
<b>İLK GELEN İLK SERVİS GÖRÜR</b>	1,70	1,83	1,88	2,07

<b>EN KISA İŞLEM SÜRESİ OLAN İLK SERVİS GÖRÜR</b>	1,74	1,89	1,94	2,14
<b>EN KISA MESAFEDE OLAN İLK SERVİS GÖRÜR</b>	1,89	2,03	2,17	2,36

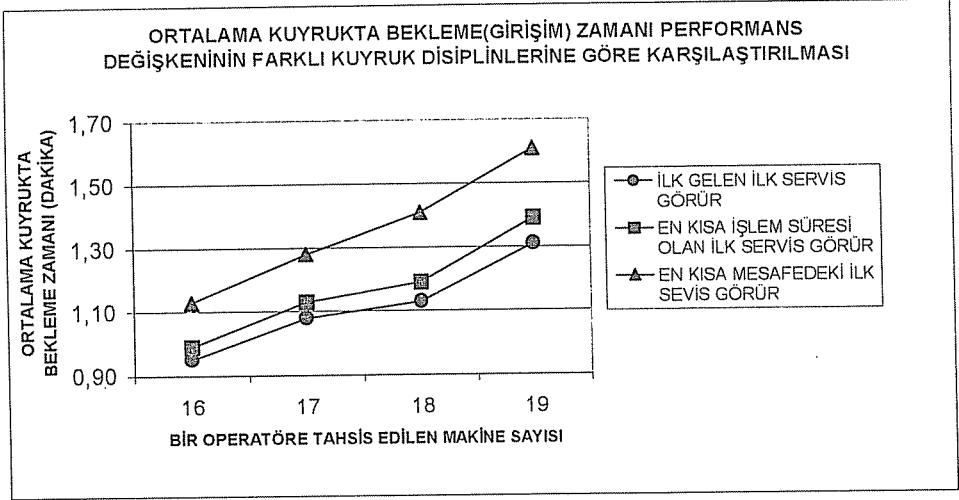


**Şekil 4.** Farklı Kuyruk Disiplini Uygulanması Durumunda, Farklı Makine Sayıları İçin Ortalama Müdahale Süresi (Dakika) Değişimi

Ortalama Kuyrukta Bekleme (Girişim) Zamanı İçin 1.Grubun verileri analiz edilmiş; Tablo 3'deki sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca elde edilen verilerin grafik çizimi yapılmış; ve Şekil 5'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Farklı Kuyruk Disiplini Uygulanması Durumunda, Farklı Makine Sayıları İçin Ortalama Kuyrukta Bekleme (Girişim) Zamanı (Dakika) Değişimi

	16	17	18	19
<b>İLK GELEN İLK SERVİS GÖRÜR</b>	0,95	1,08	1,13	1,31
<b>EN KISA İŞLEM SÜRESİ OLAN İLK SERVİS GÖRÜR</b>	0,99	1,13	1,19	1,39
<b>EN KISA MESAFEDE OLAN İLK SERVİS GÖRÜR</b>	1,13	1,28	1,41	1,61

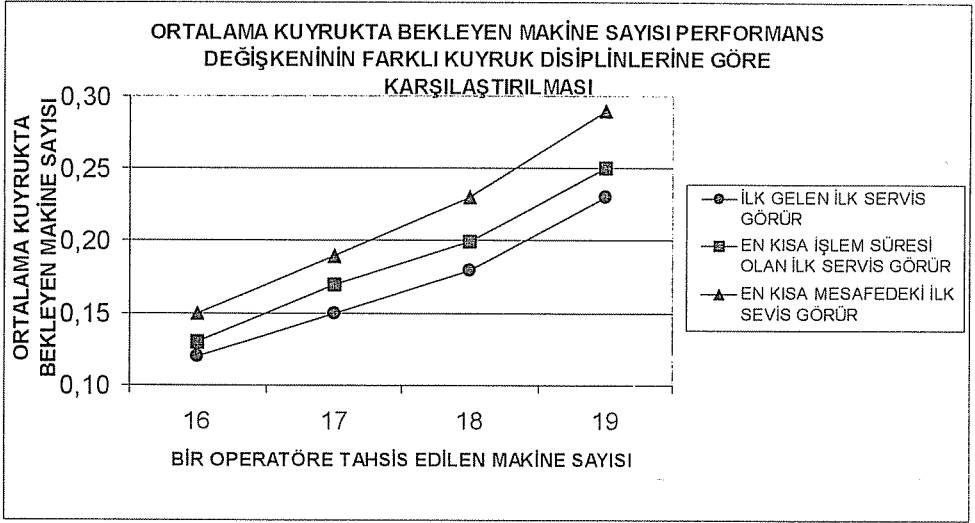


Şekil 5. Farklı Kuyruk Disiplini Uygulanması Durumunda, Farklı Makine Sayıları İçin Ortalama Kuyrukta Bekleme (Girişim) Zamanı (Dakika) Değişimi

Ortalama Kuyrukta Bekleyen Makine Sayısı İçin 1.Grubun verileri analiz edilmiş; Tablo 4'deki sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca elde edilen verilerin grafik çizimi yapılmış; ve Şekil 5'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Farklı Kuyruk Disiplini Uygulanması Durumunda, Farklı Makine Sayıları İçin Ortalama Kuyrukta Bekleyen Makine Sayısı Değişimi

	16	17	18	19
İLK GELEN İLK SERVİS GÖRÜR	0,12	0,15	0,18	0,23
EN KISA İŞLEM SÜRESİ OLAN İLK SERVİS GÖRÜR	0,13	0,17	0,20	0,25
EN KISA MESAFEDE OLAN İLK SERVİS GÖRÜR	0,15	0,19	0,23	0,29



**Şekil 6.** Farklı Kuyruk Disiplini Uygulanması Durumunda, Farklı Makine Sayıları İçin Ortalama Kuyrukta Bekleyen Makine Sayısı Değişimi

## 5. SONUÇLAR

Gözlemler sonucunda elde edilen veriler, Statistica adlı istatistik programı ortamında analizlere tabi tutulmuştur. Bu analizlerle elde edilen bulgular şunlardır:

1. Dokuma tezgahlarında iki duruş arası süreler üstel dağılıma uymaktadır.
2. Operatörün sunduğu servis süresi herhangi bir istatistiksel dağılıma uymamaktadır. Bu nedenle servis süreleri ile ilgili ampirik bir dağılım oluşturulmuştur.
3. Yürüme zamanı ile ilgili olarak, dokuma operatörünün servis verdiği dokuma grubundaki makinelerin yerleştirilmesine ve makineler arasındaki mesafelere göre ortalama bir yürüme mesafesi ve zamanı hesaplanmaktadır.
4. Operatörün ilk-gelen-ilk-servis görür (FCFS) kuyruk disiplinine göre kuyrukta bekleyen makinalara servis verdiği kabul edilmiştir.

Bu bilgiler doğrultusunda Delphi 3.0 genel amaçlı programlama dilinde simülasyon programı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu program ile dokuma operatörüne atanan makine sayısının operatör iş yüküne, girişim zamanına ve herhangi bir sebeple bir duruş meydana geldiği zaman dokuma operatörünün bu duruşu giderme zamanına etkisi görülebilmekte böylece bir dokuma operatörüne tahsis edilmesi gereken makine sayısı doğru bir şekilde tespit edilebilmektedir.

Geliştirilen simülasyon programı ile ortaya çıkan girişim miktarı hesaplanabilmektedir. Böylece:

1. Yapılan deneylerle belirlenen, dokuma tezgahlarında herhangi bir sebeple duruş meydana geldiği zaman, dokuma tezgahındaki duruşun giderilmesi ve tezgahın tekrar çalışmaya başlamasına kadar geçen sürenin (girişim zamanı) uzaması, tezgahın

durmasından dolayı dokunan kumaşta hata oluşma ihtimalini arttırdığı için; girişim zamanı belirlenmesi ile bu hataları önlemek için optimum çözüme gidilebilmektedir.

2. Operatöre doğru sayıda makine tahsisine karar verebilmektedir.

3. Ortalama girişim miktarının belirlenmesi ile standart randıman hesaplarının doğru bir şekilde yapılması sağlanmaktadır. Standart randıman, teşvikli ücret sistemlerinde, üretim planlama ve kontrolünde, iş gücü planlamasında ve maliyet hesaplarında kullanılmaktadır.

Farklı kuyruk disiplinlerinin Ortalama Müdahale Süresi, Ortalama Kuyrukta Bekleme (Girişim) Zamanı ve Ortalama Kuyrukta Bekleyen Makine Sayısı Performans Değişkenleri üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla sistemin simülasyon programı SIMAN IV Programlama Dilinde yazılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

İncelenen sistem üzerinde uygulanabilecek 3 farklı kuyruk disiplini belirlenmiştir. Bunlar;

- 1) İlk Gelen İlk Servis Görür
- 2) En Kısa İşlem Süresi Olan İlk İşlem Görür
- 3) En Kısa Mesafede Olan İlk Servis Görür

şeklinde.

Simülasyon sonuçları incelendiğinde bu işletme için en uygun kuyruk disiplininin, İlk Gelen İlk Servis Görür Kuyruk Disiplini olması gerektiği belirlenmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Bunday, B.D. and Sztrik, J., "Machine Interference Problem With a Random Environment", *European Journal of Operational Research*, 65:259-269, 1993.
2. Stecke, K.E. and Aronson, J.E., "Review of Operator/Machine Interference Models", *International Journal of Production Research*, 23(1):129-151, 1985.
3. Gross, D. and Harris, C.M., "Fundamentals of Queuing Theory", Wiley, 356, New York, 1985.
4. Law, A.D., and Kelton, W.D., "Simulation Modeling and Analysis", McGraw Hill, 759, New York, 1991.
5. Gupta, U.C. and Srinivasa Rao, T.S.S., "A Recursive Method to Compute the Steady State Probabilities of The Machine Interference Model: (M/G/1)/K", *Computers & Operations Research*, 21(6):597-605, 1994.
6. Gupta, U.C. and Srinivasa Rao, T.S.S., "On The M/G/1 Machine Interference Model with Spares", *European Journal of Operational Research*, 89:164-171, 1996.
7. Rossetti, M.D. and Clark, G., "Evaluating a Queueing Approximation for The Machine Interference Problem with Two Types of Stoppages Via Simulation Optimization", *Computers & Industrial Engineering*, 34(3):643-654, 1998.



## ATATÜRK BARAJI VE HES DOLUSAVAK DİNLENDİRME HAVUZU ÖNGERİLMELİ ANKRAJLARI

**Bünyamin ÜNAL**

*D.S.İ., 16.Bölge Müdürlüğü, Atatürk Barajı, Bozova-Şanlıurfa / Türkiye*

**Hasan ÇETİN**

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

**ÖZET :** *Bu çalışmada Şanlıurfa ve Adıyaman İlleri arasındaki doğal sınır oluşturan Fırat Nehri üzerinde yapılmış olan Atatürk Barajı Dolusavak Dinlendirme Havuzu öngerilmeli ankraj uygulamaları incelenmiştir.*

*Bölgenin jeolojik yapısı ile ankrajların dizayn projeleri, ankraj imali, delgi, enjeksiyon, öngerilme ve gözlem çalışmaları incelenmiştir. Düşüm kanalından ve nehirden gelen suların kaldırma basınçları nedeniyle alabora olmalarını önlemek amacıyla 3 m kalınlığındaki döşemeler ile 1.5 m kalınlığındaki duvar bloklar öngerilmeli çelik halat türü ankrajlarla kayaya tutturulmuşlardır.*

*Sonuçta bölgenin jeolojik yapısına bağlı olarak teorik ankraj değerleri ile bu ankrajların araziye uygulanması sırasında ortaya çıkan problemler saptanmış ve uygun çözümler önerilmiştir.*

## ATATÜRK DAM AND HEPP SPILWAY STILLING BASIN PRESTRESSED ANCHORING

**ABSTRACT :** *In this study the prestressed anchor installations of the spilway stilling basin of the Atatürk Dam and HEPP, which is located on the Fırat River forming the natural border between Adıyaman and Şanlıurfa cities, has been investigated.*

*Geological structures of the region, the designing, manufacturing, drilling, stresssing and monitoring of anchors are the main items of this study. In order to prevent the overturning of the 3 m thick slabs and 1.5 m thick walls by the uplift pressures of the spilway and river waters, these concrete plates have been sticked by prestressed steel anchors to the foundation rocks.*

*After these studies the deflections between the design values of the anchors and the values obtained after anchor and field test according to the geological features of the region has been determined and the appropriate solutions have been proposed.*

## 1. GİRİŞ

İnceleme alanı Şanlıurfa ilinin 60 km kuzeybatısında, Adıyaman ilinin 48 km güneyinde, Şanlıurfa - Adıyaman il sınırlarını ayıran Fırat Nehri üzerinde inşa edilen Atatürk Barajı dolusavak dinlendirme havuzu ve çevresini kapsar (Şekil-1).

Atatürk Barajı sol sahilinde dolusavak eşik yapısından bırakılan çok yüksek debili su akımları dolusavak dinlendirme havuzunda ters kaldırma basınçları oluşturacaktır. Bununla birlikte mansap su seviyesinin oluşturacağı alttan kaldırma basıncının olumsuz etkisini yenerek havuz taban ve duvarlarının ankrajlarla kayaya bağlanması zorunluluğu doğmuştur.

Dolusavak dinlendirme havuzuna dünyadaki yaygın kullanımı, emniyetli olması ve uygulamadaki kolaylığı nedeniyle önerilmeli tipte kaya ankraji uygulanmasına karar verilmiştir. Demet tipli ankraj halatlarının montajı baraj sahası içerisinde gerçekleştirilerek araziye uygulanmıştır.

Ankrajların araziye uygulanması çalışmalarından önce ankraj malzemeleri ve zemin için testler yapılmıştır. Proje değerlerine göre üretilen ankrajların araziye uygulanmasına denemek amacıyla "çekme" ve bu testler sonucunda değişen ankraj boyutları için "uygulanabilirlik" testleri yapılmıştır. Zemin için araştırma kuyuları açılarak dinlendirme havuzunun jeolojisi incelenmiş, yeraltı ve yerüstü sularının ankraj çalışmalarına etkisi araştırılmıştır.

Taban ve duvar olmak üzere iki kısımdan oluşan dinlendirme havuzu, 170 metrelik kısmı 14° eğimli olmak üzere 370 m uzunlukta ve 150 m genişliktedir. Tabanda 5 186, sağ duvarda 604, sol duvarda 732 ve mansap duvarında 190 olmak üzere toplam 6 712 adet ankraj imal edilip araziye uygulanmıştır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yıldız (1), "Atatürk Barajı Enerji Kırıcı Havuz Model Deney Çalışmaları" adlı çalışmasında 1/100 ölçeğinde dolusavak modeli oluşturarak su akımlarının etkisini saptamaya çalışmıştır. Araştırmacı havuz taban ve duvarlarına yerleştirilen 175 adet basınç alıcı uç ile debisi 17 000 m<sup>3</sup>/s olan su akımının, her noktada oluşturduğu dinamik basınçları ölçmüştür.

Gast (2), "Atatürk Dam and HEPP Spilway Stilling Basin -Anchoring of the Basin Floor and Walls" adlı proje raporunda dinlendirme havuzuna gelebilecek maksimum yüklem durumları ve kaldırma basınçlarının ortadan kaldırılmasını açıklamıştır. Bu şartlar altında emniyet faktörleri ve önerilmeli ankraj karakteristiklerini de dikkate alarak, her anodaki ankraj sayısını, her ankrajın serbest ve tutturma boylarının uzunluklarını hesaplamıştır.

## 3. JEOLojİ

Saha gözlemleri ve sondaj çalışmaları dinlendirme havuzu zemininin Üst Kretase yaşlı Sayındere formasyonu ve Üst Kretase-Paleosen yaşlı Bozova formasyonundan oluştuğunu ortaya koymuştur. Sayındere formasyonuna ait Bostancık kçt üyesi ve Gökçetepe ezilme zonu dinlendirme havuzu zemininin büyük bir kısmını oluşturur. Havuz sol duvarı ile



mansap duvarının birleşme yerinde D-B doğrultulu Bozova Fayı geçmektedir. Bozova Fayının her iki yanında özellikle Gökçetepe ezilme zonunda kırıklı ve çatlaklı yapı hakimdir. Bozova Fayının güney kısmını ise Bozova formasyonu oluşturur (Şekil-2) (3).

Yapılan araştırmalar ile dinlendirme havuzu zemini kalın tabakalanmalı, dolomitleşmiş ara seviyeler içeren sağlam plaketsli kçt (Sayındere formasyonuna ait Bostancık kçt üyesi), ince tabakalanmalı oldukça tektonize plaketsli killi kçt (Sayındere formasyonuna ait Gökçetepe ezilme zonu) ve ince tabakalanmalı ara seviyeler halinde kiltaş ardalanması gösteren marn (Bozova formasyonu) olarak 3 bölüme ayrılmıştır.

#### 4. PRESSİYOMETRE TESTLERİ

Dinlendirme havuzu zeminini oluşturan Bostancık kçt üyesi içerisinde 94 adet, Gökçetepe ezilme zonu içerisinde 55 adet ve Bozova formasyonu içerisinde 15 adet olmak üzere toplam 164 adet pressiyometre testi yapılmıştır.

Pressiyometre testi için 66 mm çapında yaklaşık 20 m derinliğinde 39 adet kuyu açılmıştır. Pressiyometre test amaçlı açılan kuyuların değişik derinliklerinde kayacın elastik basınç karşısındaki stabilitesi ölçülmüştür.

Pressiyometre deneylerinde deformasyon modülü (EP) ve limit basınç (PL) değerleri ölçüm ve hesaplama vasıtasıyla bulunmaktadır. Bulunan bu değerler bir tablo üzerinde jeolojik veriler, aletin zeminde ilerleme hızı, karot yüzdeleri ve YAS seviyelerini gösteren bilgilerle birlikte bulunur. Elde edilen bu tablo aracılığı ile tüm değerlerin birbirleriyle karşılaştırması yapılmıştır.

Çeşitli kaynak kitaplar kireçtaşının deformasyon modülü (EP) değerini 800-200 000 kg/cm<sup>2</sup>, limit basınç (PL) değerini ise > 30 kg/cm<sup>2</sup> olarak vermektedir (4. 5) . Yapılan testlerden sağlanan sonuçlar, kireçtaşı ve marn için beklenen limitler içerisinde olduğundan ankraj boyutları için herhangi bir revizyona ihtiyaç duyulmamıştır.

#### 5. ÖNGÖRÜLEN YÜKLEME DURUMLARI VE SUYUN KALDIRMA KUVVETİ

10 000 yıllık periyoda göre Fırat Nehrinin taşıyabileceği maksimum su miktarı yaklaşık 10 000 m<sup>3</sup>/s, 1 000 yıllık periyoda göre 5 400 m<sup>3</sup>/s olarak tahmin edilmektedir. Dolusavak eşik yapısından geçip 35 m/s hızla şut kanalından dinlendirme havuzuna gelen su, beton döşeme ve duvarları yukarıya doğru kaldırmaya çalışacaktır. Bununla birlikte derivasyon tüneli, hidroelektrik santrali ve dinlendirme havuzundan geçen su nedeniyle mansaptaki su seviyesi 399.50 m ye kadar yükselecektir. Bu durumda mansap suyu 365.00 m kotundaki dinlendirme havuzu tabanına alttan kaldırma basıncı uygulayacaktır (6).

Atatürk Barajı dolusavak dinlendirme havuzu için oluşturulan 1/100 ölçekli model deney çalışmalarında; şut kanalından gelen suyun oluşturduğu dinamik basıncın 27. anodan 16. anoya kadar sürekli arttığı, 16. ve 13. anolar arasında ise en yüksek değerde olduğu ve 13. anodan 3. anoya kadar düşük değerde sabitlendiği izlenmiştir (Şekil-3). En yüksek dinamik basınç gösteren 13. ve 16. anolar arasında farklı debilerde aşağıdaki değerler izlenir:

$$\begin{aligned}
 \text{1. Debi} & : Q = 17\,000 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{debi}) \\
 & h_1 = 399.50 \text{ m} \quad (\text{mansap su kotu}) \\
 & h_2 = 365.00 \text{ m} \quad (\text{havuz taban kotu}) \\
 & P_{\text{dyn}} = 15.50 \text{ t/m}^2 \quad (\text{dinamik basınç})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{2. Debi} & : Q = 5\,400 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{debi}) \\
 & h_1 = 391.20 \text{ m} \quad (\text{mansap su kotu}) \\
 & h_2 = 365.00 \text{ m} \quad (\text{havuz taban kotu}) \\
 & P_{\text{dyn}} = 12.50 \text{ t/m}^2 \quad (\text{dinamik basınç})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{3. Debi} & : Q = 0.00 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{debi}) \\
 & h_1 = 385.70 \text{ m} \quad (\text{mansap su kotu}) \\
 & h_2 = 365.00 \text{ m} \quad (\text{havuz taban kotu}) \\
 & P_{\text{dyn}} = 0.00 \text{ t/m}^2 \quad (\text{dinamik basınç})
 \end{aligned}$$

Dolusavak dinlendirme havuzuna etkiyen toplam kaldırma basıncı (P) :

$P = P_{\text{dyn}} + (h_1 - h_2) \times \gamma_w - d_1 - d_2 (\gamma_c - \gamma_w)$  formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned}
 P_{\text{dyn}} & : \text{Dinamik basınç} \quad (\text{t/m}^2) \\
 h_1 & : \text{Mansap su kotu (m)} \\
 h_2 & : \text{Havuz taban kotu (m)} \\
 \gamma_w & : \text{Suyun yoğunluğu} \quad (\text{t/m}^3) \\
 \gamma_c & : \text{Beton yoğunluğu} \quad (\text{t/m}^3) \\
 d_1 & : \text{Döşeme üzerindeki suyun etkisi} \quad (\text{t/m}^2) \\
 d_2 & : \text{Beton döşeme etkisi} \quad (\text{t/m}^2)
 \end{aligned}$$

Maksimum dinamik basınç ölçülen 13. ve 16. anolar arasında su akımlarının oluşturacağı ters kaldırma basınçları ile mansap su seviyesinin havuz tabanına yaptığı alttan kaldırma basınçlarının etkisiyle oluşan kaldırma basıncı (P) değişik debilerde aşağıdaki gibidir :

### **Durum 1:**

$$\begin{aligned}
 \text{Dinamik kaldırma basıncı} & = 15.50 \quad (\text{t/m}^2) \\
 \text{Su seviyesi (399.50 - 365.00)} & = 34.50 \quad (\text{t/m}^2) \\
 \text{Anodaki suyun etkisi (d1)} & = - 3.00 \quad (\text{t/m}^2) \\
 \text{Beton döşeme etkisi} & = - 4.50 \quad (\text{t/m}^2) \\
 \hline
 \text{Toplam kaldırma basıncı} & = 42.50 \quad (\text{t/m}^2)
 \end{aligned}$$

**Durum 2:**

Dinamik kaldırma basıncı	=	12.50	(t/m <sup>2</sup> )
Su seviyesi (391.20 - 365.00)	=	26.20	(t/m <sup>2</sup> )
Anodaki suyun etkisi (d1)	=	- 2.00	(t/m <sup>2</sup> )
<u>Beton döşeme etkisi</u>	=	- 4.50	(t/m <sup>2</sup> )
Toplam kaldırma basıncı	=	32.20	(t/m <sup>2</sup> )

**Durum 3:**

Dinamik kaldırma basıncı	=	0.00	(t/m <sup>2</sup> )
Su seviyesi (385.70 - 365.00)	=	20.70	(t/m <sup>2</sup> )
Anodaki suyun etkisi (d1)	=	0.00	(t/m <sup>2</sup> )
<u>Beton döşeme etkisi</u>	=	- 4.50	(t/m <sup>2</sup> )
Toplam kaldırma basıncı	=	16.20	(t/m <sup>2</sup> )

## 6. ANKRAJLARIN PROJELENDİRİLMESİ

Oluşan yüklerin etkisini yenebilmek, dinlendirme havuzu taban ve duvarlarını kayaya bağlayabilmek için dünyadaki yaygın kullanımı, uygulamadaki kolaylığı ve güvenli olması nedeniyle önerilmeli tipte kaya ankrajı uygulanmasına karar verilmiştir.

Ankraj projesinin hazırlanmasında birim alana düşen kaldırma kuvveti, zeminin yapısı, açılan kuyunun çapı, seçilen ankraj tipinin karakteristikleri, zemin ile ankraj arasındaki makaslama gerilmesi ve emniyet faktörü dikkate alınmıştır. Ankraj tutturma uzunluğunun (Lb) hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$Lb = \frac{n \times Vu}{R \times \pi \times \tau_p}$$

- Lb : Ankraj tutturma boyu uzunluğu (m)  
n : Ankraj halat sayısı  
Vu : Kopmaya karşı ankraj gerilme mukavemeti (232 kn)  
 $\tau_p$  : Ortalama çekme makaslama mukavemeti (10 kg/cm<sup>2</sup>)  
R : Kuyu çapı (152 mm)

Ankrajların serbest uzunluğu (Lf) hesaplanmasında ise aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$Lf = \frac{Vu \times Sf}{(\gamma_{rock}-1)} - \frac{Lb}{2}$$

- Lf : Ankraj serbest boyu uzunluğu (m)  
Vu : Kopmaya karşı ankraj gerilme mukavemeti ( 232 kn)

- Sf : Emniyet faktörü (tabanda 1.1 , duvarda 1.3)  
 γrock : Kayanın yoğunluğu (t/m<sup>3</sup>)  
 Lb : Tutturma uzunluğu (m)

## 7. ANKRAJLARIN BÖLÜMLERİ

Dinlendirme havuzu taban ve duvarlarında 7 ile 16 m arasında değişen boy 6-3 ile 6-13 halatlı tipte ankraj yerleştirilmiştir. Ankrajlar 4 ana bölümden oluşmaktadır:

**1. Tutturma Uzunluğu :** Ankraj indirmek için açılan kuyuda, ankrajın kayaya enjeksiyonla bağlandığı ve germe sırasında hareketsiz kalan kısmıdır. Esas olarak 7 telli çelik halat ve enjeksiyon hortumlarından, yardımcı unsur olarak ortalayıcı, çelik bantlar ve iç destekten oluşur. Tutturma uzunluğu plastik körüklü boru içine alınarak dış etkenlere karşı korunmuştur (7).

**2. Serbest Uzunluk :** Germe işleminin uygulandığı kısımdır. Serbest uzunluk, tutturma uzunluğu ile ankraj kafası arasında bulunur. Burada 7 telli çelik halat, çelik ve plastik bantlar ile dış kısımda koruyucu düz plastik boru bulunur. Ankraj gövde ve kafa detayı Şekil-4 te verilmiştir.

**3. Ankraj Kafası :** Serbest uzunluğun hemen üzerindeki kısımdır. Germe elemanları (ankraj başlığı, kamalar, ağız plakası iç ve dış yakalılık, sızdırmazlık halkası) ile germe krikosu, ankraj kafasına yerleştirilerek serbest uzunluk bölgesinde germe işlemi uygulanır.

**4. Ankraj Pakeri :** Suyun paslanma etkisine karşı ankraj dizaynını değiştirmeden tutturma ve serbest uzunluk ve/veya beton kaya kontağına gelecek şekilde paker yerleştirilmiştir. Paker koruyucu ağ, çelik kısaç ve enjeksiyon hortumlarından oluşur.

## 8. ANKRAJ MALZEMELERİNİN ÖZELLİKLERİ

**a. Çelik Halat :** BS (British Standards) 5896/3 standartlarına göre üretilen çelik halatlar 7 telli, 15.7 mm çaplı, 1770 N/mm<sup>2</sup> mukavemetli, 265 kn kopma yükünde ve 2. sınıf gevşeme özelliğine sahiptir (5).

**b. Plastik Elemanlar :** DIN 8075 standartlarına göre üretilen yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) elemanlar olup, körüklü ve düz borular ile kılıflardan oluşur.

**c. Germe Elemanları :** Ankraj kafası bölgesinde germe için kullanılan kısımlar olup, ankraj başlığı, kamalar, ağız plakası, iç ve dış yakalılık ile sızdırmazlık halkalarından oluşmaktadır.

**d. Yataklama Harcı :** Sika-grout 214 veya Vergusmortel çimentolarından yapılmış yüksek mukavemetli harçtır. Su/çim : 0.15 oranında hazırlanan karışım, block-out boşluğu içinde ağız plakası altına ve 60 cm lik yıkama derinliği boyunca dökülmüştür. Yataklama harcı germe sırasında germe krikosu ve ağız plakasından gelen yükü betona aktarır.

**e. Ankraj Enjeksiyonu:** Tutturma bölgesindeki ankraj malzemelerinin birbirine bağlanması ve tutturma bölgesinin kayaya bağlanması için kullanılan ankraj enjeksiyonunun su/çimento oranı 0.38-0.45, viskozitesi 50-70 sn/marsh ve 28 günlük mukavemeti minimum 28 kn/mm<sup>2</sup> olmalıdır.

## 9. ANKRAJLARIN ARAZİYE UYGULANMASI

**a. Ankraj Delgisi :** Ankraj yerleştirilecek kuyular 150 mm çapında matkaplar kullanılarak WirtB1A sondaj makinaları ile delinmiştir. Delgide ayrıca DTH (Kuyu Dibi Çekici) tekniği kullanılmıştır. Kuyu delgi boyundan 80 cm fazla delinmiştir. Tabanda açılan kuyular dik, eğimli bölgede 14° , duvarda ise 45° olarak açılmıştır.

**b. Su Testi :** Ankraj tutturma uzunluğunda delgi sonrası 1-2-4-2-1 bar basınçlarda su testi yapılmıştır. Su testi sonunda 1 bar basınçta 10 dakikada 5 lt/s lik su kaybı üzerinde bir değer elde edildiğinde konsolidasyon enjeksiyonuna geçilmiştir.

**c. Konsolidasyon Enjeksiyonu:** Kayayı sağlam ve geçirimsiz duruma getirmek için yapılan konsolidasyon enjeksiyonu kuyu tabanı ve tutturma boyunun 1 m üzeri arasındaki bölgede yapılmıştır. Artezyenli veya yıkıntılı olması durumunda kuyu tamamen enjekte edilmiştir. Su/çim oranı : 0.6 olan karışım kullanılarak 5 bar basınçta kuyunun enjeksiyonu yapılmıştır.

**d. Tekrar Delgi (Tarama) :** Konsolidasyon enjeksiyonundan 12 saat sonra kuyu aynı çaplı matkapla taranarak ankraj inmeye hazır şekilde temiz, pürüzsüz yüzeyli, kuru ve sağlam duruma getirilmiştir.

**e. Ankraj Enjeksiyonu :** Kuyuya indirilen ankrajlar, destek ve ortalayıcılarla sabitlenmiştir. Ankrajın iç ve dış kısmı yıkanarak enjeksiyonun daha etkin olması amaçlanmıştır. Kuyuda artazyen olması durumunda önce ankraja takılan paker 3 bar basınçta enjekte edilerek kuyu ve ankraj arası geçirimsiz duruma getirilmiştir.

**f. Taşıyıcı Plaka ve İç Yakalığın Yerleştirilmesi :** Ankraj enjeksiyonunun priz almasından sonra taşıyıcı plaka ve iç yakalık monte edilmiştir. Taşıyıcı plakanın block-out tabanı arasına yataklam harcı tarafından doldurulması amaçlanmıştır.

**g. Yataklama Harcı Yerleştirilmesi :** Taşıyıcı plaka ile block-out tabanı ve 60 cm lik yıkama derinliğini dolduran yüksek mukavemetli yataklama harcı, germe sırasında germe krikosundan gelen yükü betona aktarır.

## 10. ANKRAJLARIN GERDİRİLMESİ

Germe testi, gerilme ile hareketlenen çelik halat üzerine yerleştirilen sabit işaret çubuğu ve sabit kriko gövdesi arasının ölçülmesi sırasındaki uzamaların kademeli olarak ölçülmesidir. Germe krikosu test yüküne kadar germe ve kilitleme yüküne sahiptir (Şekil-5). Germe işlemi anoda yük dağılımının dengelenmesi için belli bir faz sırası takip edilerek "atlamalı tipte" yapılmıştır. Germe testi kendi kendine ayarlanabilen sehpalara sahip 1.0 sınıftan takılı manometreler yardımıyla yapılmıştır. Germe sırasında uygulanan yük aşamaları için aşağıdaki semboller kullanılmıştır:

Va..... Başlangıç yükü

Vo.....Kilitleme yükü (% 70 Vu)

V<sub>p</sub>.....Test yükü (% 80 V<sub>u</sub>)  
 V<sub>u</sub>.....Kopma yükü (265 kn)

Germe testi için ankraja uygulanan yük aşamaları:

a. Maksimum test yüküne kadar ankrajlar belirli aşamalarda gerdirilmiştir (Çizelge-1).

V<sub>a</sub> = 0.1 V<sub>o</sub>

V<sub>a</sub> = 0.2 V<sub>o</sub>

V<sub>a</sub> = 0.6 V<sub>o</sub>

V<sub>a</sub> = 1.0 V<sub>o</sub> dur.

b. Kilitlenme yüküne (V<sub>o</sub>) kadar gerdirilen ankraj, test yüküne (V<sub>p</sub>) kadar gerdirilerek 5 dakika gözlem amacıyla beklenmiştir.

c. Gözlem süresince aşağıdaki yük kayıpları incelenmiştir :

- 1. Gözlem : 5 dakikada maksimum % 2 yük kaybı
- 2. Gözlem : 15 dakikada maksimum % 1 yük kaybı
- 3. Gözlem : 50 dakikada maksimum % 1 yük kaybı

Birinci şartın sağlanması durumunda 2. ve 3. gözlemlerden vazgeçilmiştir. Aynı şekilde 2. gözlem sonunda istenen şartın sağlanması durumunda 3. gözlemden vazgeçilmiştir.

d. Gözlem süresi sonunda tekrar kilitlenme yüküne inilmiştir.

e. Kilitlenme yükünde (V<sub>o</sub>) kamaların yerleştirilmesinden kaynaklanan yük kayıplarını karşılamak amacıyla, halatlar 9 mm yukarıya gerilerek kilitlenmiştir.

f. Germe sonunda ankraj üzerindeki son yükün saptanması amacıyla "kaldırma testi" uygulanmıştır.

## 11. GÖZLEM ANKRAJLARI

Gözlem ankrajları çekip-çıkarma (lift-off) ve kısa süreli gözlem ankrajları (short-term monitoring) olmak üzere iki kısımdır:

**a. Çekip-Çıkarma (Lift-Off) Ankrajları :** Germe testinden 3 gün sonra ankraj üzerinde meydana gelen yük kayıplarının ölçülmesidir. Germe işlemi biten 20 ankrajlık bir anoda 3, 24 ankrajlık bir anoda ise 4 ankraja çekip-çıkarma testi yapılmıştır. Çekip-çıkarma testi yapılan ankrajda ölçülen yük kaybı % 2.5 tan az ise normal kalıcı bir ankraj olarak kabul edilmiştir. Aksi halde yine 3 gün sonra ikinci çekip-çıkarma testi yapılarak bu defa % 2 den az yük kaybı şartı aranmıştır (8).

**b. Kısa Süreli Gözlem (Short-Term) Ankrajları :** Dinlendirme havuzunda kalıcı ankrajların yerleştirilmeleri süresince indirilen ankrajlar üzerindeki yük değişimlerinin izlenmesi amacıyla 6 712 ankrajın % 3 ü (201 ankraj) kısa süreli gözlem ankrajı olarak bırakılmıştır. Dinlendirme havuzu taban ve duvarlarını temsil edecek şekilde simetrik olarak bırakılan gözlem ankrajları için ölçüm aralıkları aşağıda verilmiştir:

- Germeden sonra ilk hafta..... her gün

- Germeden sonra 3. haftaya kadar..... her 3 günde bir
- Germeden sonra 6. haftaya kadar..... her hafta
- Daha sonra..... iki haftada bir

## 12. SONUÇ

1. Dolusavak dinlendirme havuzuna dünyadaki yaygın kullanımı, emniyetli olması ve uygulamadaki kolaylığı nedeniyle önerilmeli tipte kaya ankrajı uygulanmıştır.

2. Dinlendirme havuzunda bulunan jeolojik birimlerde yapılan pressiyometre testleri sonunda ankraj boyutlarında revizyon yapılmasına ihtiyaç duyulmamıştır.

3. Ankraj projesi önce 17 000 m<sup>3</sup>/s maksimum debi üzerinden yaklaşık 10 000 adet ankraj olarak dizayn edilmiştir. Ancak daha sonra 5 400 m<sup>3</sup>/s debi üzerinden yaklaşık 6 700 adet ankraj olarak dinlendirme havuzuna uygulanmıştır.

4. Farklı jeolojik birimler nedeniyle farklı zemin şartlarında en uygun ve en ekonomik boylarının saptanması ve kalıcı ankrajlar için uygunluğunun saptanması amacıyla kalıcı ankraj çalışmalarından önce test ankrajları uygulanmıştır.

5. Kalıcı ankrajların yerleştirilmeleri süresi boyunca 201 adet ankraj (% 3 ü) gözlem amacıyla bırakılmıştır.

6. Germe testleri sonunda dinlendirme havuzuna yerleştirilen 6 712 ankrajın 77 tanesi yani ancak % 1 i sıyrılmıştır (başarısız olmuştur).

## 13. KAYNAKLAR

1. Yıldız,D., "Atatürk Barajı Dolusavak Enerji Kırıcı Havuz Tabanında Dinamik Basınç Ölçümleri Model Çalışmaları Ara Raporu-III", DSİ Genel Müdürlüğü TAKK Daire Başkanlığı, Ankara, 1987.

2. Gast,M., "Atatürk Dam and HEPP Spillway Stilling Basin (Anchoring of The Basin and Walls)", 1989.

3. Coruk,Ö., "Atatürk Barajı Mühendislik Jeolojisi ve Enjeksiyon Uygulamaları", İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı (Lisansüstü Tezi), İstanbul, 1985.

4. SİA 191, "Standart Ground Anchor", 1989.

5. VSL, "Recommendations for The Design and Construction of Prestressed Concrete Ground Anchor", 1992.

6. AEJV, "Atatürk Dam and HEPP Spillway Stilling Basin", Anchoring Works Guidelines for Anchor Stressing (Yayınlanmamış), 1990.

7. VSL, "Atatürk Dam and HEPP Spillway Stilling Basin Fully Corrosion Protected Permanent VSL Grouting Anchor Methods Statement", 1990.

8. Ünal,B., "Atatürk Barajı Dolusavak Dinlendirme Havuzu Öngerilmeli Ankrajları", Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Anabilim Dalı (Lisansüstü Tezi), Adana, 1994.





## YAZIM KURALLARI

Gönderilecek makaleler, Mühendislik Bilimleri ile ilgili başka hiçbir yerde yayımlanmamış, orijinal bir araştırma niteliğinde olmalıdır. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilemez. Yazı dili Türkçe ve İngilizce'dir. Dergi ofset tekniği ile basıldığından makaleler IBM uyumlu bilgisayarla Microsoft Word'97 ve yukarısı programda yazılmış, biri orijinal, ikisi fotokopi olmak üzere üç nüsha olarak gönderilmelidir.

Makalelerin 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 aralıkla yazılmalıdır. Alt başlıklarla ilk paragraf ve paragraflar arasında 1 aralık bırakılmalıdır. Yazar ad ve soyadları unvan belirtilmeden, başlığın 1 cm altına sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Yazar sayısı birden çok ise, hepsi alt alta yazılmalıdır. Yazar adresi (Üniversite, Fakülte, Bölüm, Şehir) makale başlığının altına yazılmalıdır.

Makaleler çizelge, şekil ve fotoğraflarla en fazla 15 sayfa olmalıdır. Ancak kısaltılması mümkün olmayan makalelerin yayımlanmasında yayın kurulu yetkilidir. Şekil ve grafikler çini mürekkep ile aydınlatıcı kağıda veya beyaz kuşe kağıda çizilmeli, resimler parlak fotoğraf kartına siyah-beyaz ve net basılmış olmalıdır.

Çalışma herhangi bir kurumun desteği ile yapılmış ise, bu ilk sayfanın altına \* işareti takip edecek şekilde dipnot olarak yazılmalıdır.

Başlıklar 1., 2., ve alt başlıklar 1.1., 1.2., vb. numaralandırılıp, alt başlıklar küçük harflerle, fakat kelime baş harfleri büyük olarak yazılmalıdır. Metindeki eşitlikler (1), (2),... vb. şeklinde numaralandırılmalı ve numaralar sayfanın en sağına yerleştirilmelidir. Daktiloda bulunmayan işaretler, siyah çini mürekkep ve şablon kullanılarak (veya elle çok düzgün bir şekilde) yazılmalıdır.

Makalenin bölümleri aşağıdaki sıraya göre olmalıdır : Türkçe başlık, özet, İngilizce başlık ve özet, metin, teşekkür (gerekli ise) ve kaynaklar. Özetler en az beş, en fazla on satır olmalıdır. Özetten sonra makalenin İngilizce başlığı büyük harflerle ve sayfa ortalanarak yazılıp, bunun altına da "Abstract" İngilizce olarak verilmelidir. Metinde mutlaka giriş ve sonuç bölümleri bulunmalıdır. Ara bölümler materyal ve metod, deneysel çalışma, teorik esaslar gibi başlıklar veya alt başlıklar şeklinde düzenlenebilir. Metin içinde kaynaklara atıfta bulunmak istenildiğinde, yazar adı verilerek veya verilmeksizin kaynak numarası parantez içinde gösterilmelidir. Numaralandırma metinde veriliş sırasına göre yapılmalıdır. İki'den fazla yazar sayısı durumunda ilk iki yazar adı yazılıp, Türkçe kaynaklarda "ve diğ." Yabancı kaynaklarda "et.al." ibaresi eklenir. Kaynak makale ise, önce yazar adı baş harfi, yazarın soyadı, makalenin adı (yalnız ilk kelimenin baş harfi büyük), derginin adı veya varsa kısaltılmış adı, dergi cilt ve sayısı, parantez içinde yılı ve en son da başlangıç ve bitiş sayfaları tire ile ayrılarak verilmelidir. Kaynak bir kitap ise yazar adının ilk harfi, soyadı, kitap adı (kelime harfleri büyük), yayınevi, yayın yeri, yayın yılı ve sayfa numarası verilmelidir.

Makalesi yayımlanan yazarlara bir adet dergi, 10 adet ayrı baskı gönderilir, ancak telif hakkı ödenmez. Dergiye gönderilen yazılar yayımlansın veya yayımlanmasın iade edilmez. Makaleleri yayınlama yetkisi dergi yayın kuruluna aittir.

Yayımlanması 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

1950年  
10月

Donatılı Zeminlere Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi <i>Analysis of Shallow Foundations Resting on Reinforced Soils</i> Ahmet ARSLAN, Mustafa LAMAN.....	77
Sonlu ve Sonsuz Eleman Modeli ile Üç Boyutlu Yapı-Zemin Etkileşimi Analizi <i>Three Dimensional Soil-Structures Interaction Analysis with Finite and Infinite Element Model</i> Selçuk KAÇIN, Hüseyin R. YERLİ.....	87
Zamanla Keyfi Değişen Yükleme Etkisi Altındaki Üç Boyutlu Yapı-Zemin Etkileşimi Analizi <i>Three Dimensional Soil-Structures Interaction Analysis Under the Effect of Transient Loading</i> Selçuk KAÇIN, Hüseyin R. YERLİ.....	99
Seri Bağlı Model Nitrifikasyon ve Denitrifikasyon Prosesinde Evsel Atıksulardan Azot Giderimi <i>Nitrogen Removal from the Municipal Wastewater with Serial Connected Model Nitrification and Denitrification Process</i> Eda ÖZGÜDEN, Zeliha SELEK, Ahmet YÜCEER.....	111
Seka Bolu Müessesesi Atıksu Arıtma Tesisi İşletilmesinde Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Uygulamaları <i>Problems Encountered in Seka Bolu Wastewater Treatment Plant Operation and Solution Proposals</i> Zeliha SELEK, Aydın CİNT.....	121
Bir Anaerobik Biyofilm Reaktörde Sülfat Gideriminin İncelenmesi <i>Examination of Sulphate Removal in An Anaerobic Biofilm Reactor</i> Olçayto KESKİNKAN, Demet KALAT, Mesut BAŞIBÜYÜK.....	129
Kaynak Kısıtlaması Olmayan Tek Aşamalı Parti Büyüklüğü Belirleme Probleminin Çözümünde Yeni Bir Sezgisel Algoritma <i>A New Heuristic Algorithm Solving in Single-Level Lot Sizing Without Resource Constraints Problems</i> Ercan ŞENYİĞİT, Funda YILDIRIM.....	139
Dokuma İşletmelerinde Makine Girişim Probleminin Çözümü İçin Simülasyon Yaklaşımı <i>Simulation Approach for Solution of Machine Interference Problem in Weaving Mills</i> Funda YILDIRIM, Adnan YILDIZ.....	153
Atatürk Barajı ve HES Dolusavak Dinlendirme Havuzu Öngerilmeli Ankrajları <i>Atatürk Dam and Hepp Spillway Stilling Basin Prestressed Anchoring</i> Bünyamin ÜNAL, Hasan ÇETİN.....	165