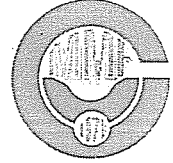




ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ



ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT 22
VOL

SAYI 2
NO

Aralık 2007
December

ISSN 1019-1011

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Investigation of 3D Flow Around A Model Bus By Means of CED <i>Hesaplamalı Akışkanlar Mekanîği Aracılığı ile Bir Model Otobüs Etrafındaki 3 Boyutlu Akışın İncelenmesi</i> Serkan MEZARCIÖZ, Beşir ŞAHİN.....	1
Application of Fuzzy Similarity Measures to Robot Hand Preshape and Grasp Task Matching <i>Bulanık Benzerlik Ölçütlerinin Robot Eli Tutuş Biçimi ve Tutuş Görevi Eşleştirilmesinde Uygulanması</i> Cabbar Veysel BAYSAL, Süleyman GÜNGÖR.....	13
A Fuzzy Inference System for Preshape Determination on Robot Hand Grasping <i>Robot El Tutuş Biçimi Saptanması İçin Bulanık Karar Verme Sistemi</i> Cabbar Veysel BAYSAL, Süleyman GÜNGÖR	21
A Neural Network Classifier for Robot Hand Preshape and Grasp Task Matching <i>Robot El Tutuş Biçimi ve Tutuş Görevi Eşleştirilmesi İçin Yapay Sinir Ağı Sınıflandırıcı</i> Cabbar Veysel BAYSAL, Süleyman GÜNGÖR	31
Data Transfer in Layered Manufacturing <i>Katmanlı Üretim Teknolojisinde Bilgi Transferi</i> Durmuş Ali BİRCAN, A.Kadir EKŞİ.....	39
Effects of Process Parameters on The Carbon Profiles of Gas Carburized AISI8620 Steel <i>Gaz Karbürlenmiş AISI8620 Çeliğinin Karbon Profiline Proses Parametrelerinin Etkisi</i> Funda KAHRAMAN, Serap AKCAN.....	55
Kirişlerde ve Kolonlarda Oluşan Çatlamalar Göz Önünde Bulundurularak Betonarme Çerçeveselerin Rijit Diyafram Modeli ile Üç Boyutlu Analizi <i>The Dimensional Analysis of Reinforced Concrete Frames Using Rigid Diaphragm Model with Beams and Columns in a Cracked State</i> İ.Fatih KARA, Cengiz DÜNDAR.....	63
Çatlamalar ve İkinci Mertebe Etkiler Göz Önünde Bulundurularak Betonarme Çerçeveselerin Üç Boyutlu Analizi <i>Three Dimensional Analysis of Reinforced Concrete Structures Considering The Cracking and Second Order Effect</i> İ.Fatih KARA, Cengiz DÜNDAR	79

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ**

Çukurova University, Journal of Faculty of Engineering and Architecture

Sahibi

Orhan BÜYÜKALACA
Çukurova Üniversitesi
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanı

Editör

Mesut ANIL

YAYIN KURULU

Mesut ANIL Melih BAYRAMOĞLU
Hasan ÇETİN Recep YURTAL
Osman BABAARSLAN

YAZI İNCELEME KURULU (Editorial Board)
(SÜREKLİ)

İ.Deniz AKCALI (Ç.Ü.)	Orhan AKSOĞAN (Ç.Ü.)
Ahmet AYHAN (S.Ü.)	A.Feyzi BİNGÖL (F.Ü.)
Cavit DEMİRKOL (Ç.Ü.)	İlhan ERHAN (M.S.Ü.)
Aziz ERTUNC (C.Ü.)	Cahit HELVACI (D.E.Ü.)
M.Baki KARAMIŞ (E.Ü.)	Erdal KEREY (İ.Ü.)
Salih KIRKGOZ (Ç.Ü.)	Erde m KOÇ (Ç.Ü.)
Güven ÖNAL (İ.T.Ü.)	Işık ÖZPEKER (İ.T.Ü.)
Kazım PIHTILI (F.Ü.)	Hamit SERBEST (Ç.Ü.)
Sedat TEMUR (S.Ü.)	Bedri TUÇ (G.Ü.)
İbrahim UZMAY (E.Ü.)	Servet YAMAN (C.Ü.)
Cengiz YETİŞ (Ç.Ü.)	Tuncay YILMAZ (Ç.Ü.)

(Bu Sayıda Görüşlerinden Yararlanılan Diğer Hakemler)

S.Seren AKAVCI (GÜVEN) (Ç.Ü.)	Hüseyin AKILLI (C.Ü.)
Mustafa AKYILDIZ (Ç.Ü.)	Zekeriya ALTAC (O.Ü.)
Mehmet ARDIÇLIOĞLU (E.Ü.)	Orhan BÜYÜKALACA (Ç.Ü.)
Ahmet CAN (T.Ü.)	Hüseyin CANBOLAT (M.Ü.)
İsmail H. ÇAGATAY (Ç.Ü.)	Faruk Fırat ÇALIM (M.K.Ü.)
Hasan ÇETİN (Ç.Ü.)	Zeynel DEMİREL (M.Ü.)
Abdulkadir EKŞİ (Ç.Ü.)	Rızvan EROL (C.Ü.)
Adem ERSOY (C.Ü.)	Erkin ERTEN (Ç.Ü.)
Tamer GÖK (M.Ü.)	Hakan GÜNEYLİ (C.Ü.)
Hasan GÜZEL (M.K.Ü.)	Tefaruk HAKTANIR (E.Ü.)
Cafer KAYADELEN (N.Ü.)	Ali KOKANGÜL (Ç.Ü.)
Halil KUMBUR (M.Ü.)	M.Kemal KÜLEKÇİ (M.Ü.)
Emel LAPTALI (M.K.Ü.)	Mustafa MAMAĞ (C.Ü.)
Atike NAZİK C.Ü.)	Muammer ÖZGÖREN (S.Ü.)
A.Hamza TANRIKULU (Ç.Ü.)	Mehmet TÜMAY (C.Ü.)
Gürhan YALÇIN (N.Ü.)	A.Azım YILDIZ (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 Çukurova Mühendisler - Mimarlar Güçlendirme Derneği tarafından bastırılmıştır.)



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ



ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT
VOL 22

SAYI
NO 2

Aralık
December 2007

ISSN 1019-1011

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Investigation of 3D Flow Around A Model Bus By Means of CED <i>Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği Aracılığı ile Bir Model Otobüs Etrafındaki 3 Boyutlu Akışın İncelenmesi</i> Serkan MEZARCIÖZ, Beşir ŞAHİN.....	1
Application of Fuzzy Similarity Measures to Robot Hand Preshape and Grasp Task Matching <i>Bulanık Benzerlik Ölçütlerinin Robot Eli Tutuş Biçimi ve Tutuş Görevi Eşleştirilmesinde Uygulanması</i> Cabbar Veysel BAYSAL, Süleyman GÜNGÖR.....	13
A Fuzzy Inference System for Preshape Determination on Robot Hand Grasping <i>Robot El Tutuş Biçimi Saptanması İçin Bulanık Karar Verme Sistemi</i> Cabbar Veysel BAYSAL, Süleyman GÜNGÖR	21
A Neural Network Classifier for Robot Hand Preshape and Grasp Task Matching <i>Robot El Tutuş Biçimi ve Tutuş Görevi Eşleştirmesi İçin Yapay Sinir Ağı Sınıflandırıcı</i> Cabbar Veysel BAYSAL, Süleyman GÜNGÖR	31
Data Transfer in Layered Manufacturing <i>Katmanlı Üretim Teknolojisinde Bilgi Transferi</i> Durmuş Ali BİRCAN, A.Kadir EKŞİ.....	39
Effects of Process Parameters on The Carbon Profiles of Gas Carburized AISI8620 Steel <i>Gaz Karbürlenmiş AISI8620 Çeliğinin Karbon Profiline Proses Parametrelerinin Etkisi</i> Funda KAHRAMAN, Serap AKCAN.....	55
Kirişlerde ve Kolonlarda Oluşan Çatlamlar Göz Önünde Bulundurularak Betonarme Çerçevesinin Rijit Diyafram Modeli ile Üç Boyutlu Analizi <i>The Dimensional Analysis of Reinforced Concrete Frames Using Rigid Diaphragm Model with Beams and Columns in a Cracked State</i> İ.Fatih KARA, Cengiz DÜNDAR.....	63
Çatlamlar ve İkinci Mertebe Etkiler Göz Önünde Bulundurularak Betonarme Çerçevesinin Üç Boyutlu Analizi <i>Three Dimensional Analysis of Reinforced Concrete Structures Considering The Cracking and Second Order Effect</i> İ.Fatih KARA, Cengiz DÜNDAR	79

Düzenli Akımda Tabana Yakın Yatay Silindir Yüzeyinde ve Tabanda Kayma Gerilmesi Dağılımlarının Deneysel İncelenmesi <i>Experimental Study of Shear Stress Distributions on The Surface of Near-Bed Horizontal Cylinder and on The Bed in Steady Flow</i> A.Alper ÖNER, M.Salih KIRKGÖZ	93
Tabana Yakın Bir Silindir Etrafındaki Akımın Farklı Türbülans Modelleri ile Sayısal Modellenmesi <i>Numerical Modeling of Flow Around a Cylinder Near Bottom Using Different Turbulence Models</i> M.Sami AKÖZ, A.Alper ÖNER, M.Salih KIRKGÖZ	107
Kamu İhale Sistemindeki Değişikliğin İnşaat Yatırımlarının Süre ve Maliyetine Yansımaları <i>Reflections of Recent Changes in Public Tender System on Time and Cost of Construction Investements</i> M.Emin ÖCAL, Nuray TURHAN	119
Binalarda Kısa Kolon Etkisinin İncelenmesi <i>Investigation of Short Column Effect of Buildings</i> İsmail H.ÇAĞATAY, Sena GÜZELDAĞ	133
Betonarme Yapıların SAP2000N ile Tasarımı <i>Design of The Reinforced Concrete Structures by Using SAP2000N</i> Hacer BİLİR, İsmail H.ÇAĞATAY.....	141
Erzurum Tımar ve Dazlak Pomzularının Katkılı Çimento ve Hafif Agregalı Beton Üretiminde Kullanımı <i>The Use of Erzurum Timar and Dazlak Pumices as Cement Admixtures and Lightweight Aggregate Concrete Production</i> Hanifi BİNİCİ, Hüseyin TEMİZ, İsmail H.ÇAĞATAY.....	153
Geniş Başlıklı Dikdörtgen Savak Arkasında Oluşan Dalgalı Hidrolik Sıçramanın Sayısal Analizi <i>Numerical Investigation of Undular Hydraulic Jump Behind Rectangular Broad-Crested Weir</i> Selahattin KOCAMAN, Hatice ÖZMEN-ÇAĞATAY.....	165
Değişik Yükseklikteki Plakaların Silindir Arkasındaki Akış Yapısına Etkisi <i>The Effect of Various-Height Plates on Flow Characteristics Behind a Cylinder</i> Hüseyin AKILLI, Bengi GÖZMEN, Beşir ŞAHİN.....	175
Değişken Kesitli Elastik Çubukların Dinamik Yükler Altındaki Davranışının Laplace Transform Metodu ile Analizi <i>Analysis of Behaviour of an Elastic Bar with Varying Cross-Section Under Dynamic Loads with Laplace Transform Method</i> Kerim Can ÇELEBİ, Naki TÜTÜNCÜ, İbrahim KELEŞ.....	185
Üniform ve Üniform Olmayan Çubukların Mod-Süperpozisyon Metoduyla Serbest Titreşim ve Dinamik Analizi <i>Free Vibration and Dynamic Analysis of Uniform and Non-Uniform Rods Using Mode-Superposition Method</i> Kerim Can ÇELEBİ, Naki TÜTÜNCÜ, İbrahim KELEŞ.....	197
Buz Oluşumuna Silindir Pozisyonunun Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi <i>Numerical Investigation of The Effect of The Position of The Cylinder on Ice Formation</i> Nesrin SÖNMEZ, Ertan BUYRUK, Ahmet FERTELLİ.....	213

Etil ve Metil Alkolün Bir Benzinli Motorda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Motor Titreşimine Olan Etkisinin Frekans Analizi Yöntemi ile Araştırılması <i>The Investigation of Engine Vibration of Using Ethyl and Methyl Alcohol as an Alternative Fuel in a Gasoline Engine by Frequency Analysis Management</i> Deniz ÜSTÜN, Serhan YAMAÇLI, Ali KESKİN, Mustafa ÖZCANLI, Özden BAŞTÜRK	223
Adana'da 1930'lardan Günümüze, Sosyal, Kültürel ve Ekonomik Değişimler Bağlamında Konut Mimarisinin Gelişimi <i>The Development of Residential Architecture in Adana in Relation to Social, Cultural and Economical Changes, From The 1930s Until Today</i> Onur ERMAN, Figen KARAMAN, Duygu SABAN, İpek DURUKAN.....	235
HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) Bilgisayar Modellemesi Kullanılarak Anoksik Tank Hidroliğinin İncelenmesi <i>Investigation of Anoxic Tank Hydraulics by Using CFD (Computational Fluid Dynamics) Modelling</i> Kevser DEMİRÖZ, Fuat BUDAK.....	249
Kozlar (Mut-Mersin) Dolayının Stratigrafisi <i>Stratigraphy of The Kozlar (Mut-Mersin) Area</i> Orkun ÖZKALE, Cengiz YETİŞ, Deniz ERDOĞAN İBİLİOĞLU	261
İnce Taneli Zeminde Konsolidasyonlu-Drenajsız Kesme Sırasında Boşluk Suyu Basıncı Değişimi <i>Pore Pressure Changes During Consolidated Undrained Shear of a Fine Grained Soil</i> Ali GÖKOĞLU, Hasan ÇETİN.....	275
Farklı İki Kalgon (Sodyum Hegzametafosfat)'la Yapılan Hidrometre Analizlerinin Karşılaştırılması <i>Comparing of Hydrometr Analysis Done with Two Different Calgon (Sodium Hexametaphosphate)</i> Ali GÖKOĞLU, Ali ÖZVAN.....	285
Düzenli Katı Atık Depolamada Yer Seçimini Etkileyen Faktörler ve Alternatif Alanların Değerlendirilmesi: Mersin İli Örneği <i>Factors Affecting The Site Selection of Sanitary Waste Storage Facilities and Assessment of Alternative Areas: A Case Study of The City of Mersin</i> Cumhur KARACA, İbrahim ÇOBANOĞLU, Şaziye BOZDAĞ.....	291
Düzağaç Kuvarsit Yatağının (Kozan-Adana) Petrografik, Jeokimyasal Özellikleri ve Cam Sanayinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması <i>Petrographical and Geochemical Characteristics of Düzağaç Quartzite (Kozan-Adana) Deposits and The Research of Usability in Glass Industry</i> Nil YAPICI, Mesut ANIL.....	309

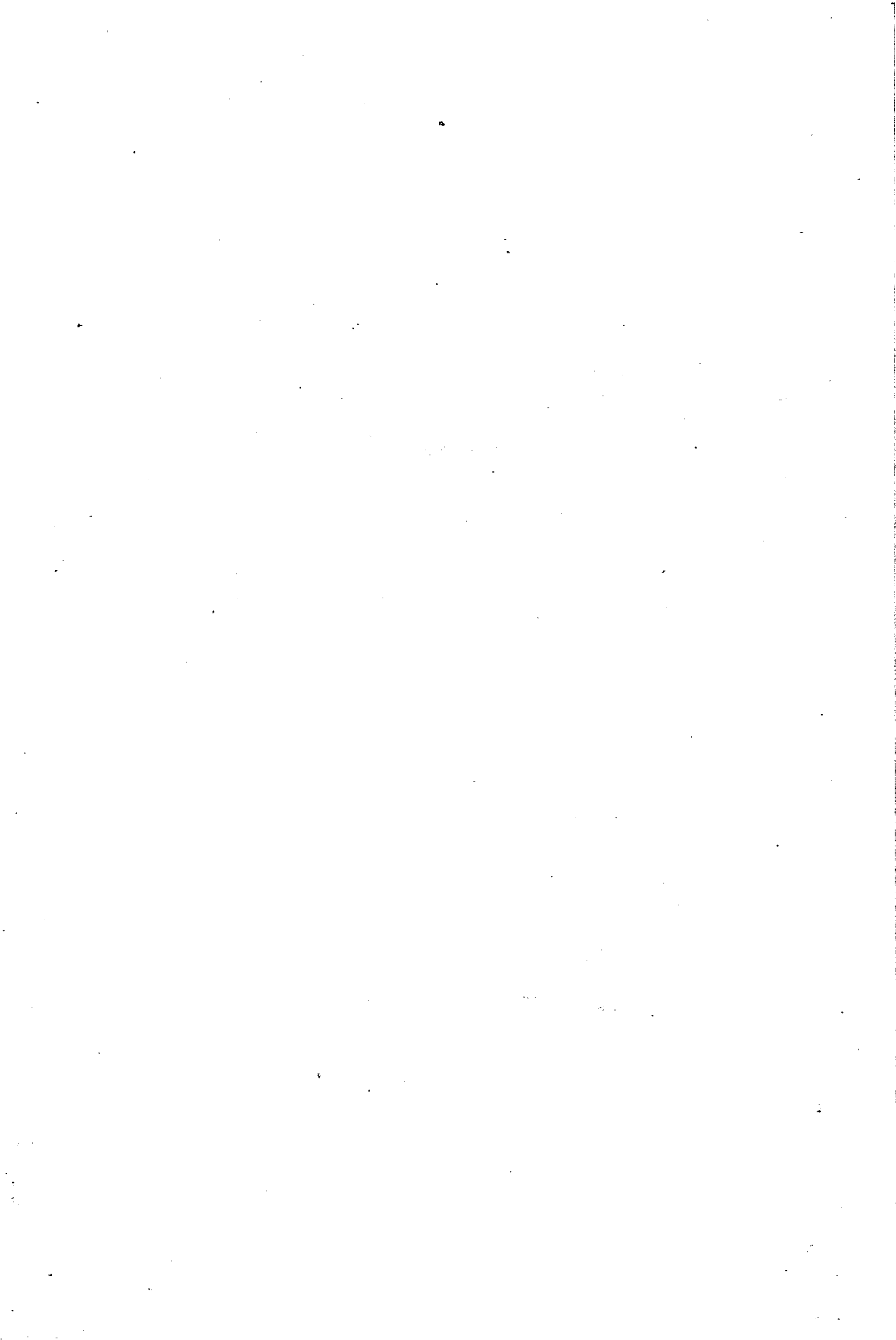


ÖNSÖZ

Fakülte Dergimizin 22. cilt 2. sayısını yayınlamış bulunuyoruz. 2007 yılına ait bu ciltde 6'sı İngilizce ve 21'i Türkçe olmak üzere 27 adet makale yer almaktadır. Bundan sonra yayınlanacak olan 2008 yılı 1. sayısını da Haziran ayında yayınlamayı planlıyoruz. Dergimize değerli öğretim elemanlarımızın güncel çalışmalarını bekler, gösterdikleri ilgiye teşekkür ederiz.

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

Yayın Kurulu



INVESTIGATION OF 3D FLOW AROUND A MODEL BUS BY MEANS OF CFD

Serkan MEZARCIÖZ and Beşir ŞAHİN

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

ABSTRACT : *The ultimate goal of this work is to examine the turbulent, 3D flow around a bus-shaped body by means of CFD. In the present study, RANS k-ε turbulence model is employed to simulate the flow around the vehicle, and the results of the experiments performed by PIV are used to validate the corrections of the numerical simulation. A comparison of predicted results for time-averaged flow data, particularly, around the forward face of the model with the experimental results of Particle Image Velocimetry (PIV) showed that numerically predicted present results and experimental results agreed well. The flow is assumed to be incompressible, viscous, turbulent, and steady flow.*

Key words: *Aerodynamics, bus, Reynolds average Navier Stokes (RANS), k-ε turbulence model*

HESAPLAMALI AKIŞKANLAR MEKANİĞİ ARACILIĞI İLE BİR MODEL OTOBÜS ETRAFINDAKİ 3 BOYUTLU AKIŞIN İNCELENMESİ

ÖZET : *Bu çalışmanın ana amacı, hesaplamalı akışkanlar mekaniği aracılığı ile otobüs şeklindeki bir cismin etrafındaki 3 boyutlu, türbülanslı akışın incelenmesidir. Bu çalışmada, araç etrafındaki akışın simülasyonu için k-ε türbülans modeli kullanılmış ve nümerik simülasyon sonuçlarının doğruluğunu teyit etmek için PIV deneylerinin sonuçları kullanılmıştır. Modelin ön yüzünün etrafındaki tahmin edilen akış özellikleri ile parçacık görüntülemeli hız ölçüm deneylerinin sonuçlarının karşılaştırması, nümerik olarak tahmin edilen mevcut sonuçların ve deneysel sonuçların birbirine uygun olduğunu göstermektedir. Akış sıkıştırılamaz, türbülanslı, sürekli kabul edilmiştir.*

Anahtar kelimeler: *Aerodinamik, otobüs, Reynolds Average Navier Stokes (RANS), k-ε türbülans modeli*

1. INTRODUCTION

Aerodynamic structure and the flow around the road vehicles have been investigated for a long time. Significance of the aerodynamics is obvious, since it affects the fuel consumption, wind noise, and vibration.

Aerodynamic structure of the commercial vehicles especially buses are very important, because aerodynamic forces and flow around the bus will cause a noise called aero-acoustic noise, and vibration. Since the intercity buses transport passengers, wind noise and vibration are much important than the trucks and trailers, but the aerodynamic structure is also important for the trailers and trucks, from the point of view of fuel consumption. Also the flow characteristics around the elements of the bus such as mirrors, wheels, air conditioning unit, escape hatches on the top of the bus, plays an important role as a source of the noise and vibration. These parts must be designed and positioned to the bus by considering the flow around the parts.

The air resistance and flow characteristics around vehicle can be determined by a wind tunnel experiments or Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis. The complexity of the structures in this three-dimensional flow makes experimental studies very difficult. Furthermore experimental studies often provide only information on some limited partition of the flow. (Point, line or a plain). Computational Fluid Dynamics (CFD) gives a description of the flow in the entire computational domain (Numerical Wind Tunnel) [1].

In this study a CFD analysis with a Reynolds Average Navier Stokes (RANS) and $k-\epsilon$ turbulence model will be employed in stead of experimental study.

The total drag of a vehicle is made up of the following components: Pressurized-air resistance and induced air resistance, Surface air resistance, and internal air resistance. The induced air resistance is caused by the differences in air pressure that arise between upstream and downstream of the vehicle as it moves. The target should be to keep the separation zones and hence vacuum zones on the vehicle as small as possible to have less air resistance. The term surface air resistance is used to describe the frictional resistance of the "outer skin" of the vehicle to air flow. It is more pronounced on long vehicles such as semi-trailer outfits and buses.

Air not only flows around a vehicle, but also through the vehicle in order to cool down the engine and other mechanical parts and also to ventilate the passenger compartment. When air flows through the cooler, engine compartment, wheelhouses, and passenger compartment, losses of momentum arise from friction as well as turbulences and flow separation in the vehicle's interior which increases the rate of drag force. In this study internal resistance will not be considered.

Corresponding to the degrees of freedom in three-dimensional space, three forces (force of aerodynamic drag, lateral force, and lift) and three moments (pitching, rolling, and yawing moment) act on the vehicle. By geometrically adding up the forces recorded in the wind tunnel, the aerodynamic forces and moments can be determined.

Since the flow around a vehicle has an important effect on the fuel consumption, noise, and vibration, lots of scientists and automotive companies pay attention to this subject.

Takeuchi and Kohri has preformed a study for Mitsubishi Motors Cooperation [2]. The name of the study was "Development of Truck and Bus Aerodynamics using Computational Fluid Dynamics". This paper describes a prediction method of aerodynamic drag and engine cooling performance for trucks and buses using CFD. In particular, to obtain the accuracy of wake flow behind the body, which is a dominant component of the total drag, they developed an adequate method by comparing the experiment with calculation. Furthermore a practical method for engine cooling air flow rate with regard to radiator and cooling fan characteristics was shown.

Kuriyama conducted a study of "Transient Aerodynamic Simulation in Crosswind" for Daihatsu Motor Cooperation Ltd [3]. In this study, transient aerodynamic simulation by using a sliding mesh of discontinuous interface and the Arbitrary Lagrangian-Eulerian method was presented. This method uses the k- ϵ turbulence model and the third-order upwind scheme, in order to introduce the convective term of Navier-Stokes Equation to improve the data of flow field and pressure distribution.

Krajnovic and Davidson, investigated two large eddy simulation of the flow past a bus-like vehicle body, and they compared the results with the experimental data of E.G. Duell and A.R. George [4,5]. "Experimental study of a ground vehicle body unsteady near wake, the effect of the near wall resolution and the modeling of the unresolved coherent structures in the near wall flow were studied. The purpose of this work was to present LES of the flow around a bus-like bluff body at $Re=210000$. They compared two LES models in which the near wall region was treated in different ways. It was determined that, although the wall functions are inadequate to represent the thin vortices close to the wall, their use leads to results in a near wake region that are similar to those in the simulation with a sufficient wall normal resolution. Their study indicated that the wall normal resolution has little influence on the pressure coefficient at the rear face.

In the study "Computational Study of Flow around the AHMED Car Body" carried out by Craft et al [6]. A number of RANS simulations of flow around the Ahmed body have been undertaken on Refined Turbulence Modeling. The simulations have involved two different turbulence methods: a linear and non-linear k- ϵ model, and two different wall functions. In this study calculations were converged until, velocity, mass and turbulence residuals were below 10^{-4} . Grid used is approximately 300.000 cells and the legs, or stilts, on which the model is supported in the wind tunnel experiments, were not included in the computational grid. Grid were adjusted to maintain y^* values of as many as possible near-wall cells around the body to within the limits $55 < y^* < 550$.

2. MATERIALS AND METHODS

Experimental fluid dynamics has played an important role in validating and defining the limits of the various approximations to the governing equations. The wind tunnel, for example, as a piece of experimental equipment, provides an effective means of simulating real flows. However, in the design of equipment that depends critically on the flow behavior, for example the aerodynamic design of an aircraft or a bus, full-scale measurement, as part of the design process is economically impractical. This situation has led to an increasing interest in the development of numerical studies.

2.1. Vehicle Geometry and Dimensions

In the present study the dimensions of the model was the same as the dimensions of the model which was used by Gürlek in his experimental work [7]. The length of the model $L=175\text{mm}$, the height of the model H is 67mm , and the width of the vehicle W is 56mm . The ground clearance of the vehicle c is taken as 9mm . The geometry of the model is shown in the Figure 2.1.

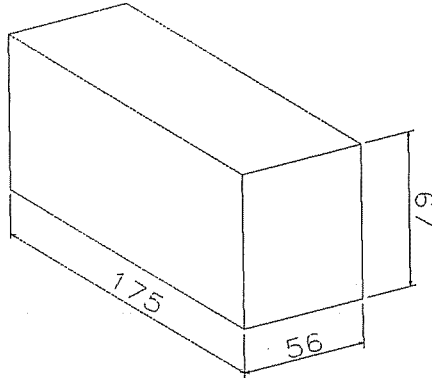


Figure 2.1. The dimensions of the vehicle model.

2.2. Determination of Dimensions of the Flow Domain

In order to perform a computer simulation of a physical flow problem, the first step is to build a model of the flow domain. In the present study, to determine the dimensions of the flow domain, the dimensions normalized by the vehicle height H , is referenced as in Krajnovic and Davidson [8]. According to Krajnovic and Davidson [8] the relationship between the channel dimensions and vehicle height H , are as follows; The body was placed in the channel with cross section of $B \times F=6.493H \times 4.861H$ (Width \times Height). The front face of the body is located at the distance of $X_1=7.3H$ from the channel inlet and the downstream length between the rear face of the body and the channel outlet is $X_2=21H$ and the distance between the side walls of bus and channel S is $2.571H$.

By referencing the ratios of Krajnovic and Davidson, the present flow geometry dimensions and the position of the vehicle model in the channel were determined as follows [8];

Width of the channel (B) = $6.493 \times H = 6.493 \times 67 = 435\text{ mm}$.

Height of the channel (F) = $4.861 \times H = 4.861 \times 67 = 326\text{ mm}$.

Distance between inflow and model front face (X_1) = $7.3 \times H = 7.3 \times 67 = 489\text{ mm}$

Distance between outflow and model back face (X_2) = $21 \times H = 21 \times 67 = 1407\text{ mm}$

Overall length of the channel = $X_1 + L + X_2 = 489 + 175 + 1407 = 2071\text{ mm}$.

With these results the dimensions of the computational domain and the position of the model in the domain is determined and shown in the Figures 2.2 and 2.3.

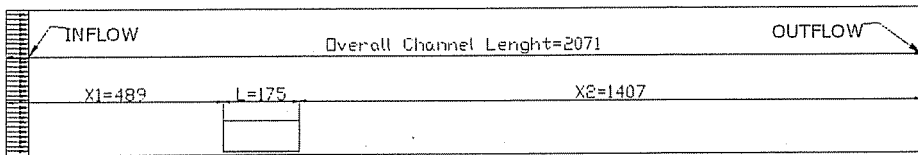


Figure 2.2. Position of the bus in the channel (Side view, dimensions in mm)

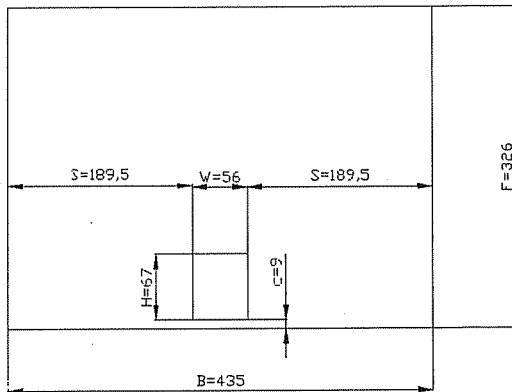


Figure 2.3. Position of the bus in the channel (End-view, Dimensions in mm)

2.3. Grid Generation and Refinement Study

In the present study the 3-D finite volume, rectangular mesh is built by using GAMBIT computer code. To validate the numerical results, it is great importance to check whether the grid that has been used to discretize the computational domain complies with the requirements of the turbulence model used.

To check the grid used for the analysis, simulations were performed with three different grids. The used first, second, and third grids have 442.496, 786.586 and 1.186.819 nodes, respectively. The grids were compressed near the vehicle body walls. The grids were adapted in order to further resolve the flow near the body wall regions.

It is decided for the grid compatibility by checking the y^* value, Craft et al used a grid, which were adjusted to maintain y^* values of as many as possible near wall cells around the body within the limits $55 < y^* < 550$, in their work [6].

Lowering the y^* value gives more precise results and provides us the grid independency, but lowering the y^* value, in other words refining the grid, is limited by the computational cost of the simulation. In the present study y^* value is lower to the range of $0 < y^* < 378$, by employing a set of mesh containing 935.004 cells, and 1.186.819 nodes.

2.4. Boundary Conditions for Simulations

1. Velocity Inlet boundary conditions are used at the inflow section of the channel as approximately 90 km/h (25 m/s). it is assumed that only a constant and uniform velocity component in the stream wise-direction velocity component exists and other velocity components are assumed to be zero.

2. Free outflow boundary condition: The outflow boundary condition is used to model flow exist where the details of the flow velocity and pressure are not known prior to solution of the flow problem so that mass balance correction is applied at the outflow boundary and other data at the exit plane is extrapolated from the interior.

3. Wall boundary condition is used to bound fluid and solid regions at the vehicle and channel surfaces. The boundary conditions are no-slip ($u = v = w = 0$)

4. Fluid boundary condition at the fluid zone. Fluid zone is defined as group of cells for which all active equations are solved. The fluid material is set as air.

2.5. Simulation of the Flow

In the present study, in order to simulate the flow around the bus-shape model, a commercial package program FLUENT was employed. The convergence criterion for the continuity and momentum equations is set as 10^{-5} . All the simulations are performed until the solution is converged with the specified convergence criterions.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The objective of the present work is to conduct numerical study on the flow around the bus model placed at an elevation of 9 mm above the ground level, for the purpose of revealing the structure of the flow details.

As the free-stream flow approaches to the bus model the speed of air flow, particularly, along the central axis deteriorate gradually and hence at the central point of the forward face of the bus model a stagnation point will appear. Time-averaged patterns of streamlines diverges rapidly as free-stream flow takes place in close region of the bus model as seen in Figure 3.1.

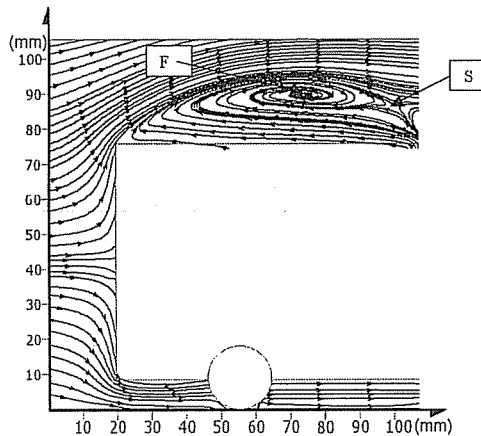


Figure 3.1. Time-averaged patterns of experimental streamlines around forward face of the bus shaped model along the central axis in side view plane. Gürlek [7]

This flow data is taken from the experimental work of Gürlek [7]. As soon as flow passes the sharp corners flow begins to separate rapidly. Side view of the forward face of the bus model is presented in Figures 3.2 and 3.3. As seen in the images of figure 3.2

and 3.3, a well defined focus, F, occurs in both experimental and numerical results. Downstream of these well defined focus, F, a saddle point, S, occurs just downstream of this focus F. The core flow reattaches to the surface of the bus model just downstream of the saddle point S.

Time-averaged patterns of numerical streamlines around forward face of the bus model along the central axis in side view plane are shown in Figure 3.2.

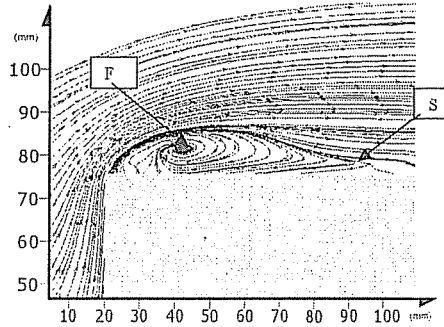


Figure 3.2. Time-averaged patterns of numerical streamlines around forward face of the bus model in side view symmetry plane

Comparison of Figures 3.1 and 3.2 indicates that numerical results agree well with the experimental PIV results of Gürlek (2006). Numerical predictions shows that a well defined focus, F as seen in the figure 3.2 is developed above leading top edge of the bus model accompanied with the saddle points.

Time-averaged experimental and numerical patterns of streamlines in the horizontal symmetry plane of the vehicle, near front of the vehicle, are shown in Figure 3.3. In these figures flow around the bus shaped model is visualized quantitatively, the flow structures in both sides of the model are identical. The thickness of the separated flow regions in lateral direction in both numerical and experimental studies are the same.

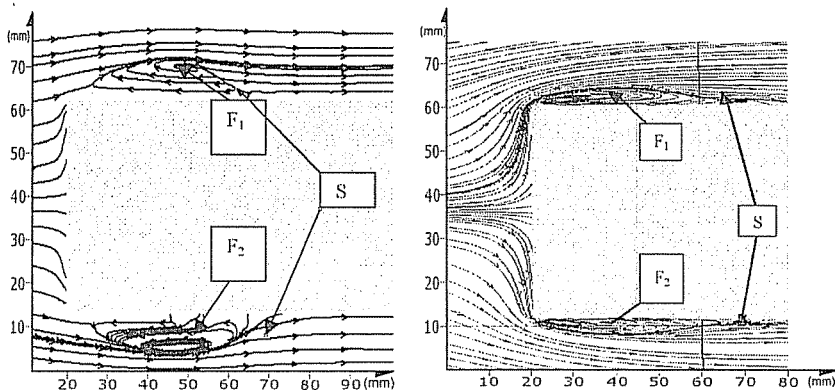


Figure 3.3. Comparison of time-averaged experimental and numerical patterns of streamlines in plan view planes around the forward part of the bus model

The comparison of time-averaged experimental and numerical patterns of streamlines in plan view planes downstream of the bus model is shown in Figure 3.4.

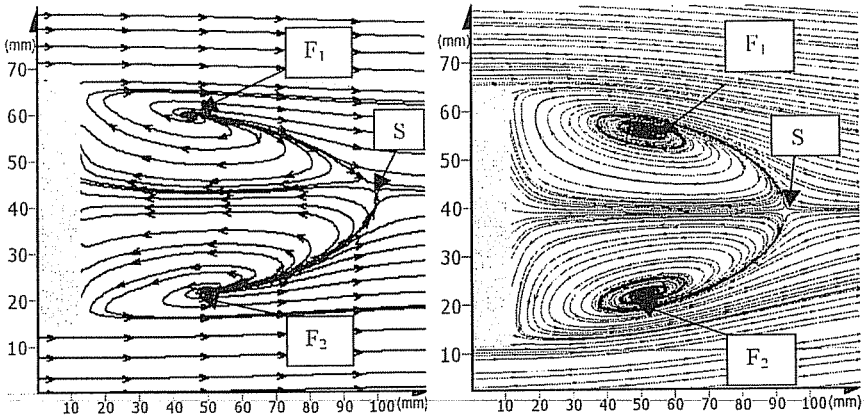


Figure 3.4. Comparison of time-averaged experimental and numerical streamlines in plan view planes downstream of the bus model

In both cases, well defined foci F_1 and F_2 are present. Just downstream of these foci F_1 and F_2 a saddle point appears indicating that core flows which take place on both sides of the bus model reattach at this saddle point. The size and the length of the wake flow region, downstream of the bus model which is predicted numerically is nearly same as the experimental result.

Time-averaged velocity vector map in side view plane indicates flow behavior around forward portion of the bus model as seen in Figure 3.5. Below the bottom surface of the bus model the size of the wake flow region is decreases substantially due to the bed surface affect.

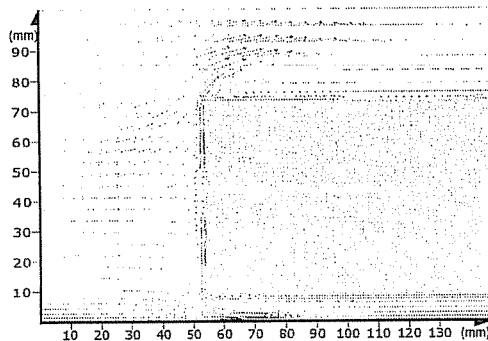


Figure 3.5. Time-averaged velocity vectors in the side view symmetry plane of the forward face of the bus model

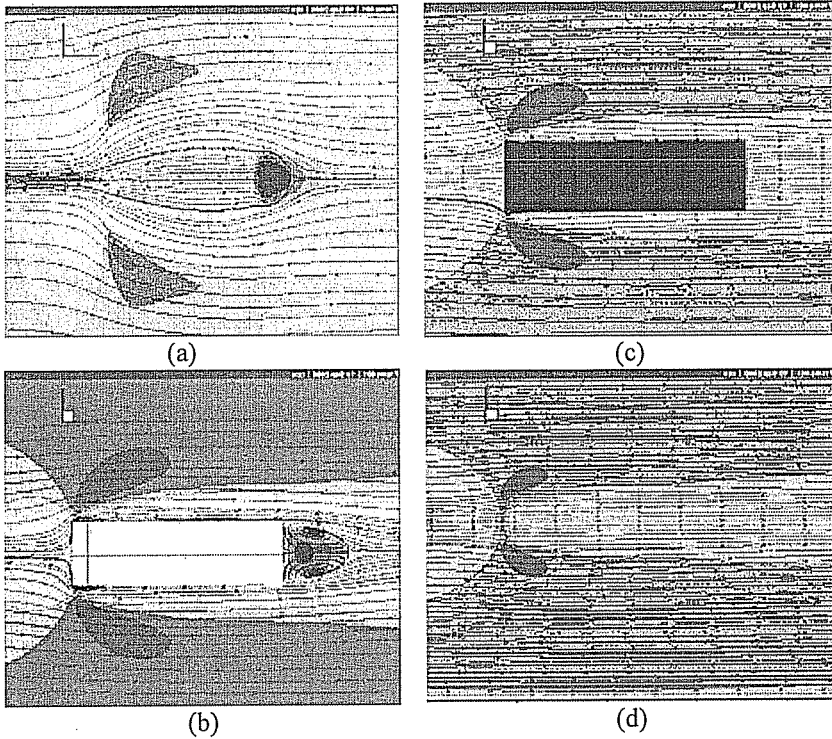


Figure 3.6. Time-averaged patterns of streamlines and corresponding various plan views having different heights from the bottom of the channel as a: $Y/H=0.09$, b: horizontal symmetry plane of the bus model, c: top of the bus model, d: $Y/H=1.433$.

Time-averaged patterns of streamlines and corresponding distribution of velocity vectors at various elevations are presented in Figure 3.6.

Below the level of bottom surface of the bus, for example, at an elevation of $Y/H=0.09$, as seen in Figure 3.6a, the size of the circulation flow is higher than the circulation size at an elevation of $Y/H=0.045$ as seen in Figure 3.6b. A middle sized circulation occurs at an elevation of $Y/H=0.634$ which is the horizontal symmetry plane of the bus model.

Due to the effect of core flow emanating from the top side of the bus model, the size of this circulating flow gradually decreases until the effect of core flow emerging above the bus model is dominant. As seen in Figure 3.6d at an elevation of $Y/H=1.433$ the circulating flow vanishes completely.

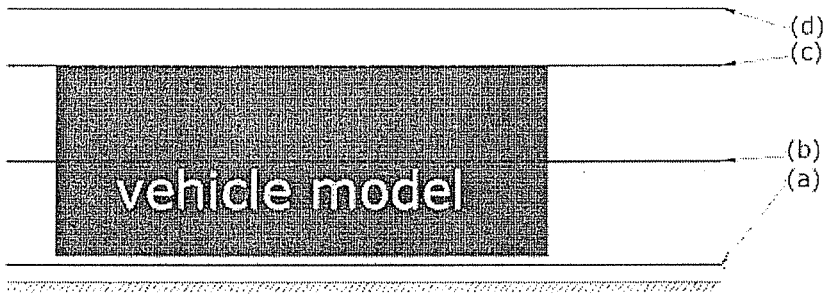


Figure 3.7. Planes mentioned in figure 4.6

4. CONCLUSIONS

The role of CFD in engineering predictions has become so strong that today it may be viewed as a new third dimension of fluid dynamics, the other two dimensions being the above stated classical cases of pure experiment and pure theory. One of the advantageous of the numerical simulation is the ease to carry out changes in the geometry, parametric studies and analysis of anomalous operation conditions.

In the present study, RANS $k-\epsilon$ turbulence model was employed to simulate the flow around the vehicle, and the results of the experiments performed by PIV are used to validate the corrections of the numerical simulation.

CFD analysis was conducted with the commercial software, called FLUENT. The present numerical analysis was conducted for, incompressible, turbulent, steady and viscous flow.

It is worth to mention that RANS $k-\epsilon$ turbulence model is capable of providing accurate results for these types of flow cases include small scale vortices which may cause vibration and noise.

Comparison of time-averaged experimental and numerical streamlines in plan view planes downstream of the bus model showed that, in both experimental and numerical cases, well defined foci F_1 and F_2 are present. Just downstream of these foci F_1 and F_2 a saddle point appears indicating that core flows, which take place on both sides of the bus model, reattach at this saddle point. The size and the length of the wake flow region; downstream of the bus model, which is predicted numerically, is nearly same as the experimental result.

From the numerical results and discussions, the following conclusions can be summarized;

- The flow around a bus-like vehicle can be investigated by FLUENT solver.
- $k-\epsilon$ turbulent model can give valuable information about the flow around the vehicle.
- In order to get more precise results at the back of the vehicle, a different technique called, LES can be employed.
- Sharp corners of the vehicle increase the vorticity fluctuations and these are a source of aero-acoustic noise, and cause of vibration.
- In order to minimize the vibration caused by aerodynamic forces, the sharp corner must be avoided in designing a bus model.

5. REFERENCES

1. Krajnovic, S. and Davidson, L., "Exploring the Flow Around a Simplified Bus with Large Eddy Simulation and Topological Tools", *The Aerodynamics of Heavy Vehicles: Trucks, Busses and Trains*, Monterey-Pacific Grove, California, USA, 2002.
2. Takeuchi, T. and Kohri, I., "Development of Truck and Bus Aerodynamics Using Computational Fluid Dynamics", *Mitsubishi Motors Corp. JSAE Review*, pp. 185-209, 1997.
3. Kuriyama, T., "Transient Aerodynamic Simulation in Crosswind", *JSAE Review*, pp. 185-209, 1998.
4. Krajnovic, S. and Davidson, L., "Large-Eddy Simulation of the Flow Around a Simplified Bus", *Third Afosr International Conference on DNS and LES*, University of Texas at Arlington, Texas, USA, August 5-9, 2001.
5. Duell, E.G., George, A.R., "Experimental Study of a Ground Vehicle Body Unsteady Near Wake", *SAE Paper 1999-01-0812*, 1999.
6. Craft, T.J., Gant, S.E., Iacovides, H., Launder, B.E. and Robinson, C.M.E., "Computational Study of Flow Around the "Ahmed" Car Body (Case 9.4)", *9th ERCOFTAC/LAHR Workshop on Refined Turbulence Modelling Darmstadt University of Technology, Germany, 4-5 October, 2001*.
7. Gürlek, C., "Study of the Flow around a Bus Model", *PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering, Cukurova University, Institute of Natural and Applied Science, Adana, (Unpublished work), 2006*.
8. Krajnovic, S. and Davidson, L., "Large-Eddy Simulation of the Flow Around Simplified Car Model", *2004 SAE World Congress, SAE Paper No.2004-01-0227, Detroit, USA, 2004*.



APPLICATION OF FUZZY SIMILARITY MEASURES TO ROBOT HAND PRESHAPE AND GRASP TASK MATCHING

Cabbar Veysel BAYSAL

E.U., Electrical-Electronics Engineering Department, Kayseri / Türkiye

Süleyman GÜNGÖR

C.U., Electrical-Electronics Engineering Department, Adana / Türkiye

ABSTRACT : *In this paper, application of "Fuzzy Similarity Measures" to robot hand preshape and grasping task matching is presented. Robot hand preshape is represented by estimated contact wrench pattern of that preshape and relevant virtual grasp performed in simulation. Grasping task is represented by spatial displacement in wrench system. Since both patterns are represented by similar attributes, the matching degree between these two patterns is analyzed in order to infer about suitability of the task and proposed preshape which is executed with a virtual grasp on object model. The matching degree is implemented and enhanced as a criteria for reasoning about grasping task and preshape suitability.*

Keywords: Preshape Estimation, Fuzzy Similarity Measures, Grasp Preshape.

BULANIK BENZERLİK ÖLÇÜTLERİNİN ROBOT ELİ TUTUŞ BİÇİMİ VE TUTUŞ GÖREVİ EŞLEŞTİRİLMESİNDE UYGULANMASI

ÖZET : *Bu makalede, robot eli tutuş biçimi ile tutuş görevi eşleştirmesinde, bulanık mantık tabanlı benzerlik ölçütlerinin uygulanması sunulmaktadır. Robot eli tutuş biçimi, tutuş biçiminden kaynaklanan, parmak kontak burgu örüntü vektörleri ve sınamada gerçekleşen ilintili sanal tutuş biçimiyle ifade edilmektedir. Tutuş görevi ise burgu sisteminde düzlemsel yer değiştirme hareket vektörleri ile ifade edilmektedir. Her iki grup vektör de burgu sistemiyle ifade edildiğinden, gruplar arasındaki benzerlik ölçütü, tutuş görevi ve robot el tutuş biçimi arasındaki uygunluk ölçütü olarak incelenmiştir. Tutuş görevi ve robot eli tutuş biçimi sınamalı sanal ortamda denetlenmiştir. Benzerlik ve eşleşme ölçütü, tutuş görevi ile robot eli tutuş biçimi uygunluğuna karar verme kriteri olarak geliştirilmiş ve uygulanmıştır.*

1. INTRODUCTION

Robot grasping is one of the major research areas of robotics since it is required for many applications, from handling hazardous material to surgical operations. A review of robot grasping was given by Bicchi and Kumar [1]. One of the main problems in robot grasping is the dexterous manipulation of a multifingered robot hand. An overview of dexterous manipulation was given by Okamura et al. [2].

In general, a combination of the object geometry and task properties are the main factors for determining the robot hand preshape. Furthermore, in order to have a successful grasping and dexterous manipulation, the preshaping phase should be controlled as combination of object shape matching with task properties, and preshape kinematic effects.

The hand preshape representation is described by number of fingers to be involved in grasp and approach direction of robot hand towards the object. Considering the problem of preshaping as a matching between grasping task and the object attributes, preshape estimation must be planned in a virtual situation, before any actual movement. In this perspective, we use the grasping task representation that is analyzed and decomposed into primitives of axial translational and axial rotational displacements as a wrench system, in a 3D environment, where the coordinate frame is centered at center of geometry of the object (COG). The details of task decomposition, task wrench system and plain preshape representation could be found at the dissertation made by Baysal [3]. In that work, we have formulated a wrench representation of the task as a spatial displacement and interpreted the resultant net wrench on the object as a pattern representing the grasp preshape.

Based on our method, it is possible deduce that those two representations are semantically similar because they are represented by the same known classes, hence, the matching degree between these two patterns can be analyzed in order to infer about suitability of the task and proposed preshape which is executed with a virtual grasp on object model. Therefore, we can utilize the matching degree, as a criteria for reasoning about task and preshape suitability. We foresee that the matching degree analysis can be handled as a pattern matching problem where matching between a sample and data are represented by a number of known classes. Pattern classes are represented by symbolic attributes or numerical representations, such as vectors.

For patterns represented in vector space notation, different forms of Norms, such as Euclidean Norms, can be defined as metrics to represent distance based matching. On the other hand, patterns represented symbolic attributes, similarity measures are defined, using attributes.

Since our patterns, task and preshape, are symbolically represented and to avoid possible errors which could originate from estimations, approximations, we need approximate reasoning methods to infer about matching degree of our patterns. We choose Fuzzy Similarity Measures as the approximate reasoning method for pattern matching since it fits better than other methods to our symbolic representation.

In this work, we introduce an application of Fuzzy Similarity Measures for pattern matching between grasping task wrench pattern and contact wrench pattern resulted from virtual grasp preshape for precision grasps.

2. FUZZY SIMILARITY MEASURES

In order to introduce Fuzzy Similarity Measures, we first give the basic definition of set theoretic similarity as a similarity measure, such as : Given two sets A and B defined at universe U. The similarity between A,B is given by equation 2.1

$$s(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} = \frac{|A \cap B|}{|A| + |B| - |A \cap B|} \quad (1)$$

where $|\cdot|$ denotes cardinality of the set. Santini and Jain [4] gives definitions on similarity measures, in their work .

In order to fullfill our requirements for symbolic representation, we decide to use fuzzy set representation of our patterns therefore, we can use the fuzzy sets obtained for task and fuzzy sets obtained for grasp wrench, to analyze pattern matching. Yeung and Tsang [5] gives a comparative survey on fuzzy similarity methods. Yoshikawa and Nishimura [6] evaluated a comparative analysis on various mathematical similarity indices between fuzzy sets , by carrying certain tests. Among these methods, most remarkable ones are “Fuzzy Distance Based Similarity” and “Approaching Degree Index ”, according to our rough categorization of the matching methods. Next, we explain fuzzy vectors which we would use in fuzzification of our wrench patterns.

A Universe U can be partitioned by nonintersecting features , represented by N fuzzy sets with Membership values. Any variable x can be represented in U by fuzzy sets. The fuzzy set with Membership values, including all features, representing variable x is called a “Fuzzy Vector”. Fuzzy Vector for x is shown by F(x).

$$F(x) = \{ \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N \} \quad (2)$$

Similarly, a vector V represented in M dimensional space, having common feature space , can also be represented by Fuzzy Matrix of MxN, where each row of the matrix is a Fuzzy Vector for a dimensional element in V. Our wrenches are screws which are vectors in general are fuzzified using m-Fuzzy Vector or Fuzzy Matrix of MxN. Wrenches are 6 dimensional vectors. In the following, we give definitions of Fuzzy Distance Based Similarity and Approaching Degree Index measures.

Given two Fuzzy sets or vectors of dimension N,A,B, defined on Universe U:

$$A = \left\{ \frac{\mu_{a1}}{x_1}, \frac{\mu_{a2}}{x_2}, \frac{\mu_{a3}}{x_3}, \dots, \frac{\mu_{an}}{x_n} \right\}; \quad B = \left\{ \frac{\mu_{b1}}{x_1}, \frac{\mu_{b2}}{x_2}, \frac{\mu_{b3}}{x_3}, \dots, \frac{\mu_{bn}}{x_n} \right\} \quad (3)$$

Fuzzy Distance Based Similarity, is defines as follows:

$$D_2(A, B) \triangleq \sqrt{\sum_{i=1}^n |\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)|^2} \quad (4)$$

which is Fuzzy Euclidean Metric, L_2 Norm.

Since our pattern is a 6-Fuzzy Vectors, when we apply D operator on our pattern, we obtain 6 values, one for each dimension. In order to combine these values into a general index, we define Total Fuzzy Distance Between M-Fuzzy Vectors.

$$TFDist (Q, W_n) \underline{\Delta} \sum_{i=1}^M D_2 (q_i, w_i) \quad (5)$$

where Q represents the task and W_n represents the resultant wrench of grasp.

$$Q = \left\{ \overline{\overline{T_x, T_y, T_z, R_x, R_y, R_z}}, \overline{\overline{T_x, T_y, T_z, R_x, R_y, R_z}} \right\} \quad W_n = \{w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6\} \quad (6)$$

In the literature, Wang [7], derived the ‘‘Approaching Degree Index’’ (ADI) which measures exactness or similarity between two fuzzy sets or vectors. $ADI(A,B)$ gives a scalar, $[0,1]$. Ross [8] gives examples for evaluation of ADI.

$$ADI (A, B) \underline{\Delta} (A \bullet B) \wedge (\overline{A \oplus B}) \quad (7)$$

$$(A \bullet B) \equiv (A \bullet B) = \bigvee_i^n (a_i \wedge b_i) \quad , \text{Fuzzy Inner Product ,} \quad (8)$$

$$(A \oplus B) \equiv (A \oplus B) = \bigwedge_i^n (a_i \vee b_i) \quad , \text{Fuzzy Outer Product ,} \quad (9)$$

Using Fuzzy Algebra and De Morgan Properties,

$$ADI(T,W) = (T \bullet W) \wedge (\overline{T \oplus W}) = (T \bullet W) \wedge (\overline{T} \bullet \overline{W}) \quad (10)$$

Since our pattern is a 6-Fuzzy Vectors, when we apply ADI operator on our pattern, we obtain 6 values, one for each dimension. In order to combine these values into a general index, we define Total Fuzzy Vector Approaching Degree Index between M-Fuzzy Vectors.

$$TFVADI (Q, W_n) \underline{\Delta} \sum_{i=1}^M ADI (q_i, w_i) \quad (11)$$

where Q represents the task and W_n represents the resultant wrench of preshape. In the following section, we give the implementation of the ‘‘Fuzzy Similarity Measures’’ defined.

3. IMPLEMENTATION OF FUZZY SIMILARITY MEASURES

Fuzzy Similarity Measures which are defined in previous section, are implemented as the decision making module of the “Fuzzy Inference System” software designed by Baysal [3]. In the implementation, task and preshape contact patterns are presented to module in wrench system format. After that, each pattern, which is 6 dimensional, is fuzzified by using developed fuzzy set and as the result, 6x7 fuzzy matrices are obtained. The matching degree factor is obtained by applying TFADI and TFDIST methods to those fuzzy matrices. The found values indicates the matching degree between task and preshape contact patterns.

Fuzzification process for our 6-fuzzy vectors is presented next. Our vectors are in wrench system representation format, as mentioned previously. The wrench system representation is composed of translational and rotational displacement parts. For instance, T_x item represents the translational motion possibility degree along x axis and similarly R_x item represents the rotational motion possibility degree around x axis. Furthermore, any task or wrench attribute is classified by using following classes, with a degree of possibility, given in figure 3.1.

Class Tag	Class Explanation
RWD-H	Reverse motion along that axis with High possibility degree
RWD-M	Reverse motion along that axis with Medium possibility degree
RWD-L	Reverse motion along that axis with Low possibility degree
ZERO	No motion along that axis with almost Zero possibility degree
FWD-L	Forward motion along that axis with Low possibility degree
FWD-M	Forward motion along that axis with Medium possibility degree
FWD-H	Forward motion along that axis with High possibility degree

Figure 3.1. Classes for Fuzzification of Preshape Contact Wrenches or Tasks

Those classes are represented as a fuzzy set with trapezoid membership functions given in figure 3.2. Based on our implementation trials with different membership functions rather than an optimization work, we found that the trapezoid membership fits the best for the our partitioning purposes.

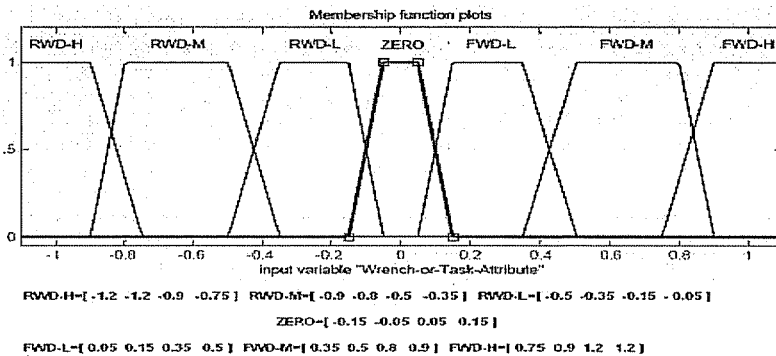


Figure 3.2. Fuzzy Set for Grasp Wrench or Tasks

In order to further illustrate use of TFVADI, we interpret an estimation example is given in figure 3.3.

FUZZIFIED TASK VECTOR							FUZZIFIED PRESH.CONT.VECTOR								
	Rw-H	Rw-M	Rw-L	Zero	Fw-L	Fw-M	Fw-H		Rw-H	Rw-M	Rw-L	Zero	Fw-L	Fw-M	Fw-H
Tx	0	0	0	0	0	0	1	Tx	0	0	0	0	0	0	1
Ty	0	0	0	0	0	0	1	Ty	0	0	0	0	0	0	1
Tz	0	0	0	0.5	0.5	0	0	Tz	0	0	1	0	0	0	0
Rx	0	0	0	0.9	0.1	0	0	Rx	0	0	0	0	0	1	0
Ry	0	0	0	0	0	1	0.27	Ry	0	0	0	0	0	1	0
Rz	0	0	0	0.7	0.3	0	0	Rz	0	0	0	1	0	0	0

	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
Q TASK VECTOR	1.14	1.02	0.10	0.06	0.79	0.08
W PRESH. CONT.VECTOR	2.3	1	-0.28	0.65	0.73	-0.016

TFVADI: 3.7 TFDIST: 3.3

Figure 3.3. Estimation Example for TFVADI

In figure 3.3, preshape contact wrench vector and task vector are given as $W=[2.3 \ 1 \ -0.28 \ 0.65 \ 0.73 \ -0.016]$; $Q=[1.14 \ 1.02 \ 0.10 \ 0.06 \ 0.79 \ 0.05]$. First W and Q in wrench form are fuzzified and 6x7 fuzzy matrices for each is obtained. The figure 3.3 also gives the 6x7 Fuzzy matrices, as labeled. Using the equations 10 and 11 successively on estimated fuzzy matrices, TFVADI is found as 3.7. Similarly TDIST is found as 3.3, using equations 4 and 5 successively.

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

In order to evaluate performance of Fuzzy Similarity Measures, TFVADI and TFDIST, we applied them in the following cases. The preshape contact wrench vectors are obtained by means of Virtual Hand Grasp Simulator software developed for Fuzzy Inference System. Task Vectors are user selected.

FUZZIFIED TASK VECTOR							FUZZIFIED PRESH.CONT.VECTOR								
	Rw-H	Rw-M	Rw-L	Zero	Fw-L	Fw-M	Fw-H		Rw-H	Rw-M	Rw-L	Zero	Fw-L	Fw-M	Fw-H
Tx	0	0	0	0	0	0	1	Tx	0	0	0	0	0	0	1
Ty	0	0	0	0	0	0	1	Ty	0	0	0	0	0	0	1
Tz	0	0	0	0.71	0.5	0	0	Tz	0	0	1	0	0	0	0
Rx	0	0	0	1	0	0	0	Rx	0	0	0	0.34	0.76	0	0
Ry	0	0	0	0	0	1	0.33	Ry	0	0	0	0	0	1	0.33
Rz	0	0	0	1	0	0	0	Rz	0	0	0	1	0.17	0	0

	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
Q TASK VECTOR	1.00	1.00	0.10	0.06	0.20	0.05
W PRESH. CONT.VECTOR	1.2	1.0	-0.25	0.13	0.8	0.067

TFVADI: 4.3 TFDIST: 2.5

Figure 4.1. Example Case #1 for task and preshape matching, for Unit Cube

For Example case #1, we selected object model as unit cube and task vector $Q=[1.14 \ 1.02 \ 0.10 \ 0.06 \ 0.79 \ 0.05]$. Contact wrench pattern from virtual grasp simulator $W=[2.3 \ 1 \ -0.28 \ 0.65 \ 0.73 \ -0.16]$ is obtained for a relevant preshape. Task and contact wrench pattern numerically not close to each other however, after fuzzification and evaluation of TFVADI measure we observe that these two pattern vectors are mated with a degree of 4.3. This indicates that TFVADI method developed works for symbolic matching.

FUZZIFIED TASK VECTOR							FUZZIFIED PRESH.CONT.VECTOR								
	Rw-H	Rw-M	Rw-L	Zero	Fw-L	Fw-M	Fw-H		Rw-H	Rw-M	Rw-L	Zero	Fw-L	Fw-M	Fw-H
Tx	0	0	0	0	0.5	0	0	Tx	0	0	0	0	1	0	0
Ty	0	0	0	0	0	0	1	Ty	0	0	0	0	0	0	1
Tz	0	0	0	0	0	0	1	Tz	0	0	0	0	0	0	1
Rx	0	0	0	1	0	0	0	Rx	0	0	0	1	0	0	0
Ry	0	0	0	0	0	0.5	0.67	Ry	0	0	0	0	0	1	0
Rz	0	0	0	1	0	0	0	Rz	0	0	0	0.02	0.49	0	0

	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
Q TASK VECTOR	0.10	1.05	1.05	0.05	0.05	0.05
W PRESH. CONT.VECTOR	0.2	1.0	1.0	-0.048	0.56	0.099

TFVADI: 4 TFDIST: 2.4

Figure 4.2. Example Case #2 for Unit Cube and another task

FUZZIFIED TASK VECTOR							FUZZIFIED PRESH.CONT.VECTOR								
	Rw-H	Rw-M	Rw-L	Zero	Fw-L	Fw-M	Fw-H		Rw-H	Rw-M	Rw-L	Zero	Fw-L	Fw-M	Fw-H
Tx	0	0	0	0	0	0	1	Tx	0	0	0	0	0	0	0
Ty	0	0	0	0	0	0	1	Ty	0	0	0	0	0	0	0
Tz	0	0	0	0.71	0.5	0	0	Tz	0	0	1	0	0	0	0
Rx	0	0	0	1	0	0	0	Rx	0	0	0	1	0.16	0	0
Ry	0	0	0	0	0	1	0.33	Ry	0	0	0	0	0	0	0.93
Rz	0	0	0	1	0	0	0	Rz	0	0	0	0.52	0.64	0	0

	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
Q TASK VECTOR	1.00	1.00	0.10	0.05	0.80	0.05
W PRESH. CONT.VECTOR	1.3	1.1	-0.27	0.06	0.86	0.11

TFVADI: 4.4 TFDIST: 2.7

Figure 4.3. Example Case #3 for task and preshape matching, for Unit Sphere

To summarize, in figures 4.1 to 4.3, we have demonstrated 3 cases. In case #1 and case # 2, we used same object, unit cube but with different tasks. In case #3 we changed the object to unit sphere with same task of case #1. The results indicate that eventhough we change task and objects for preshapes, the method still yields

satisfactory results. This indicates that by means of this method it is possible to justify task and preshape matching. It is also worth to mention that TFVADI is superior to TFDIST due to its more symbolic attribute based estimation characteristics whereas TFDIST is based on more algebraic estimations.

5. CONCLUSION

In conclusion, for our pattern matching problem of the task and the grasp wrench, we have introduced and enhanced two similarity measures as the matching methods to be used in conjunction. The use of the methods are implemented as a module in our Fuzzy Inference System for Preshape Estimation.

6. REFERENCES

1. Bicchi, A. and Kumar, V., "Robotic Grasping and Contact: A Review", In *Proc. IEEE ICRA 2000, San Francisco, CA, 2000*.
2. Okamura, A.M. et al., "An overview of dexterous manipulation", *IEEE International Conf. on Robotics and Automation, San Francisco, CA, 255-262, 2000*.
3. Baysal, C.V., "Preshaping Control for Dexterous Manipulation with a Multifingered Robot Hand", *PhD Thesis, Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Cukurova University, 2006*.
4. Santini, S. and Jain, R., "Similarity Measures", *The IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 21(9):871-883, 1999.
5. Yeung, D.S and Tsang, E.C.C, "A Comparative Study on Similarity Based Fuzzy Reasoning Methods", *The IEEE Trans. on Systems Man and Cybernetics Part B: Cybernetics*, vol 27 No 2, April 1997.
6. Yoshikawa, A. and Nishimura, T., "Relationship between Subjective Degree of Similarity and Some Similarity Indices of Fuzzy Sets", *Proc. of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 1999.
7. Wang, P., 1983, "Approaching Degree Method", in *Fuzzy Sets Theory and Its Applications*, Science and Technology Press, Shanghai, P.R.C. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1988.
8. Ross, T.J. "Fuzzy Logic with Engineering Applications", McGraw-Hill, New York, USA, 1995.

A FUZZY INFERENCE SYSTEM FOR PRESHAPE DETERMINATION OF ROBOT HAND GRASPING

Cabbar Veysel BAYSAL

E. U., Electrical-Electronics Engineering Department, Kayseri / Türkiye

Süleyman GÜNGÖR

C. U., Electrical-Electronics Engineering Department, Adana / Türkiye

ABSTRACT : *In this work, a Fuzzy Inference System (FIS) which estimates the robot hand grasp preshape for a given grasping task and a object, is presented. The fuzzy inference system is based on fuzzy similarity measures and virtual grasp kinematics. Grasping task is represented by using wrench system. Virtual grasp contact wrench patterns for preshapes and task in wrench system are fuzzified and then used as the matching pattern for the suitability of task and preshape. Output preshape is described by number of fingers to be involved in grasp and approach direction of hand towards object. The fuzzy inference system is designed and results are tested by using robot hand grasp preshape simulation.*

Keywords: Preshape Estimation, Fuzzy Inference System, Grasp Preshape, Virtual Grasp.

ROBOT EL TUTUŞ BİÇİMİ SAPTANMASI İÇİN BULANIK KARAR VERME SİSTEMİ

ÖZET: *Bu makalede, verilen bir tutuş görevi ve tutulacak nesne için, robot eli tutuş biçimini hesaplayan bulanık karar verme sistemi sunulmaktadır. Bulanık karar verme sistemi, bulanık benzerlik ölçütleri ve sanal tutuş kinematikiğini esas almaktadır. Tutuş görevi burğu sistemi kullanılarak ifade edilmektedir. Sanal tutuşun kontak burğu örüntüleri ve burğu sistemiyle gösterilen tutuş görevi önce bulanıklaştırılmakta ve daha sonra uygunluk ve eşletirme kistası olarak kullanılmaktadır. Sonuç olarak, tutuş biçimi, tutuşa dahil olan paramak sayısı ve robot elin nesneye yaklaşma yönü ile tespit edilmektedir. Bulanık karar verme sistemi tasarlanmış ve sonuçları robot eli tutuş sınamasında elde edilmiştir.*

1. INTRODUCTION

In robotics, the dextrous manipulation of robot hand has become one of the prominent issues worked on. The importance is due to many aspects such as desire to increase the flexibility of the current generation industrial robots systems, desire to improve prosthetic devices for humans who have deficiencies in limb control and applications in humanoids. In the dextrous manipulation, one of the major problems that remains to be solved is the determination of an appropriate preshape for grasping the given object under manipulation and the desired task.

The grasping with robot hand is analyzed in the literature [1,2], in many aspects that are conducted in a decoupled way. For instance, preshaping based on object geometry, stability and manipulability of grasp after grasp performed, finding optimal grasping configuration, development of grasp performance measures [3,4]. The grasp itself can be grouped into two main phases: Approach or Preparation phase and Grasp execution phase. In order to have a successful grasp execution, the system should have a successful grasp preparation phase. Therefore, the grasp preparation is one of the critical issues for manipulation with a dextrous robot hand.

Existing works have been conducted in many approaches to obtain a successful grasp preparation in terms of hand preshaping. The approaches can be categorized into two main subbranches. Object shape based approaches and Task based approaches [5,6]. Eventhough there are very rare approaches combining all factors into control action, however, it is observed that those works have either limited solution for certain environments, or are themselves theoretical models which are quite difficult to be implemented practically [7].

For dextrous manipulations, Intelligent Control Methods can then be used for inferencing in the grasp preparation phase, towards an optimal initialization of the subsequent grasp. As a consequence, in order to have a successful grasping, the preshaping phase and grasp execution phase should be controlled as combination of object shape matching with task properties, and preshape kinematic effects in the object at landing. In our work, we design and implement a Fuzzy Inference System (FIS) for precision grasping, considering a physical object under certain grasp contact wrench patterns.

2. FUZZY INFERENCE SYSTEM ARCHITECTURE

In our work, we have designed and implemented Fuzzy Inference System (FIS). Fuzzy Inference System analyzes the given object for physical properties and calculates a set of virtual grasps for each different approach directions for a precision grasp and estimates the robot hand preshape for a given grasping task. The fuzzy inference system is based on fuzzy similarity measures and heuristic search algorithms. Task is represented by using wrench system. Contact wrench patterns for preshapes and task in wrench system are fuzzified and then used as the matching pattern. Final output is in terms of preshape that is described by number of fingers to be involved in grasp and approach direction of hand towards object. The fuzzy inference system is designed and tested by using robot hand grasp preshape simulation. FIS block diagram is given in figure 1.

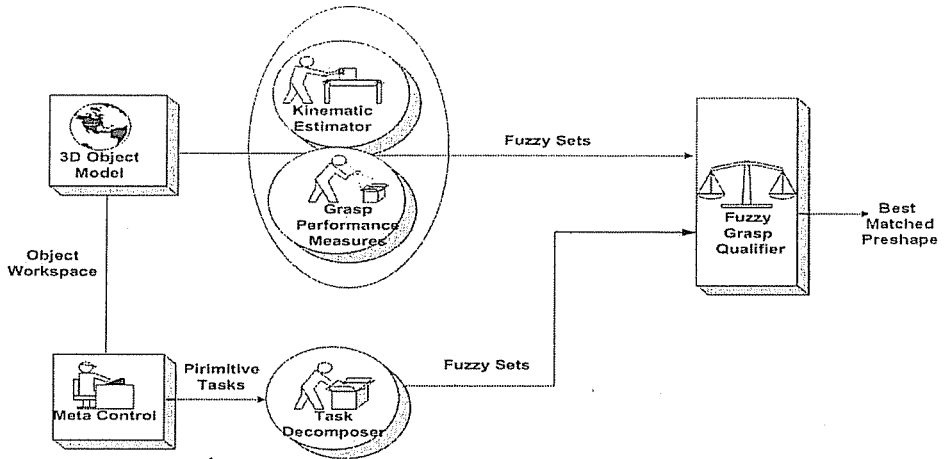


Figure 1. Block diagram for Fuzzy Inference System

In other words, FIS combines the requested task primitive given by the Meta Control, which is user input in our case, with the possible set of virtual grasps that are formed, hence it finds out most suitable approach direction and grasp preshape, by evaluating the fuzzy similarity measures. In addition, as an important difference from some previous methods, our system does not use predefined preshapes, contact positions are determined by the controller after the object has been analyzed in 3D. The preshapes are obtained as a result of heuristic search to find best matching virtual grasp. The algorithm flow diagram is given in details in the following relevant sections.

First of all, Workspace needs some conditions to be set initially. Hence, we make certain settings and assumptions priori to design and implementation. FIS deals with precision type grasps for dextrous manipulations. Since precision type grasps are considered, physical dimensions of the object should fit the maximum contact space of the robot hand. In this work, for a starting point, we use convex and prismatic medium size objects. The Objects for the workspace are basic 3D objects which are created by well known 3D editors and stored in files. Sample object models are given in figure 2. During system execution, objects are accessed from the data files. We use the finger link of robot hand middle finger size, to scale object dimensions with respect to robot hand finger size. FIS also uses, size info for length, width and depth, relative to Approach Direction.

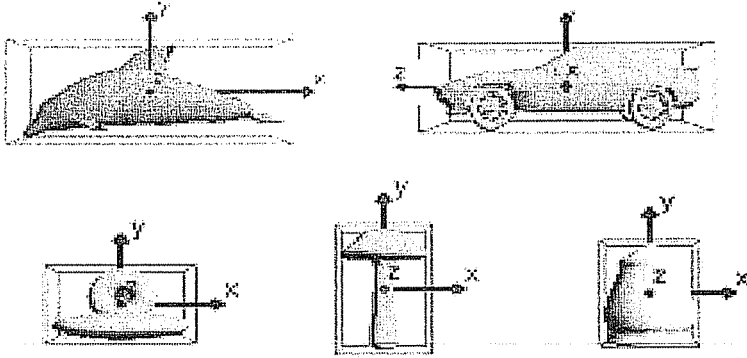


Figure 2. Sample Object Models for FIS created by 3rd party graphic editors.

Furthermore, FIS is composed of following sub blocks, named as Kinematic Estimator with Grasp Performance, Task Decomposer and Fuzzy Grasp Qualifier, which we briefly explain in the following sections. The details of the methods developed for task wrench representation, fuzzification in task decomposer, virtual grasp contact wrench estimations in kinematic estimator and application of fuzzy similarity measures in fuzzy grasp qualifier could be found in the dissertation made by Baysal [8].

The Task Decomposer part takes the user input task in wrench system representation. It fuzzifies the task wrench vector in M-Fuzzy vector. Fuzzified task is stored for further processing.

The FIS has Kinematic Estimator part which estimates the effect of contact wrenches for preshaping based on different approaches towards to object and with virtual grasps. In order to determine preshape forms, we analyze approach to object model in each plane of 12 planes, since each approach direction leads to a different contact positions & grasp contact patterns having different contact spaces and different kinematic effects.

In order to further explain structure of Kinematic Estimator, we give an example for approach and virtual grasp, illustrated by figure 3. We take X as hand approach direction. In this view, X - Y plane is the perpendicular plane to palm of virtual hand. The transverse axis is Z axis in this case. The index finger and thumb opening will be in parallel to X - Y plane and according to the 2D contour of X - Y plane. In this scheme, Y -axis is accepted as opposition axis parallel to fingers. Then, fingertip contacts for index finger and thumb occur on points of lines which go along the Y axis.

The virtual grasp preshape occurs as follows: Initially, thumb and index fingers (and other fore fingers) are at an arbitrary position to give maximum opening size for the hand. Thumb and index fingertips virtually moves in approaching to object model boundary. As an initial point, for the precision grasps, we assume that virtual robot hand performs the grasp just catching the object from the near edge to the fingertips.

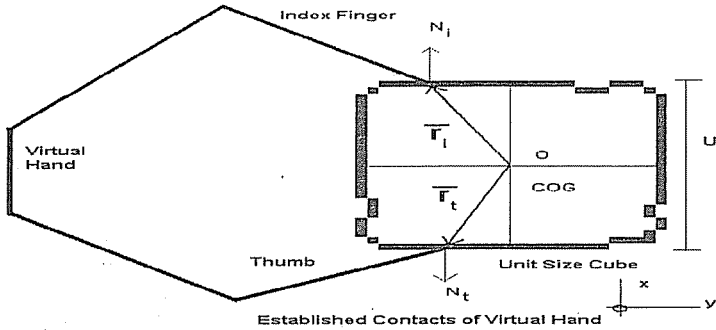


Figure 3. An Example for Approach and Virtual Grasp.

We also accept that, the thumb and index finger move planarly and they are symmetric in landing points. Analysis for finding optimal contact points is beyond our work.

Planar movements of the both virtual fingers continue until a touch to object surfaces. After, the contacts occur, the next point is the determination of the contact normal. FIS tries to establish fingertip contacts on the object model. The fingertip contacts are assumed to be soft finger contacts. Here, we use the soft finger contact model of Salisbury [9]. For the all possible contacts, soft finger contact model is assigned with calculated contact normals for contact tangent planes. Figure 2.4 indicates an example of virtual four finger grasp preshape with estimated contact locations on object model with contact normals.

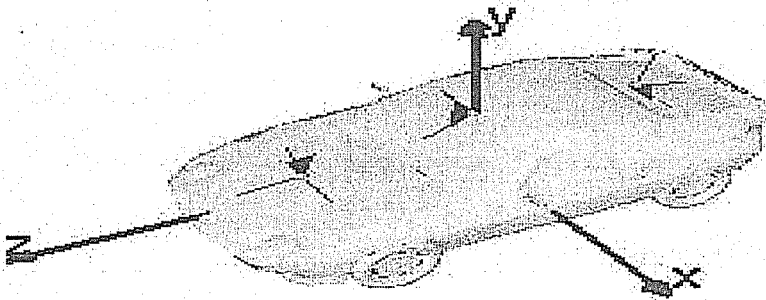


Figure 4. Virtual Finger Contact Illustration on Object Model

By using the model properties, for the estimated contact points, wrenches for contacts are calculated and projected to Center of geometry of the object model (COG). The estimated

contact wrenches are fuzzified and M-Fuzzy vector and used as input by Fuzzy Grasp Qualifier.

The Fuzzy Grasp Qualifier takes M-Fuzzy Vectors for both task and virtual grasp contact wrench as input. It measures the matching degree between fuzzified task wrench vector and fuzzified contact wrench vector resulted from virtual grasp on object model by using TFVADI method developed by Baysal [8]. Output of the Fuzzy Grasp Qualifier is the best matched preshape and send to robot hand grasp simulation for demonstration of preshape.

3. COMPUTER IMPLEMENTATION

The designed FIS is implemented in a software environment of 3D graphics. The software source code is written in C++ programming language and using OpenGL Libraries, under Windows XP. The FIS uses data files which are previously formed by 3D graphics editors, to regenerate objects. Objects after accessing, are processed by the controller to obtain size information. Approach directions, virtual contacts and resultant virtual-grasps are estimated as explained in previous sections. The virtual contact and grasp formation is done using exact 3D geometric contact detection algorithms. Therefore, virtual finger contact points, contact surface normals are real 3D information which obtained from object data for our model.

In figures 5 and 6, a screen snapshot of the FIS and flow diagram of FIS software and with robot hand grasp preshape simulation are given.

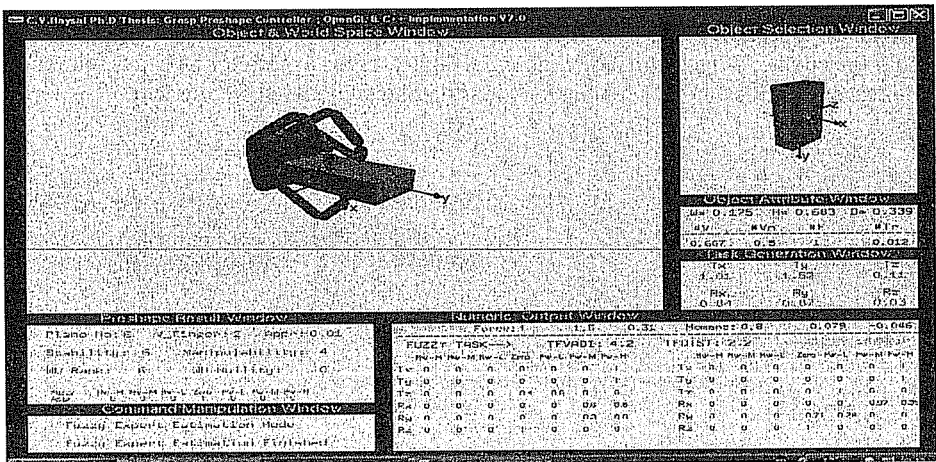


Figure 5. FIS Software Screen Snapshot

*A FUZZY INFERENCE SYSTEM FOR PRESHAPE DETERMINATION
OF ROBOT HAND GRASPING*

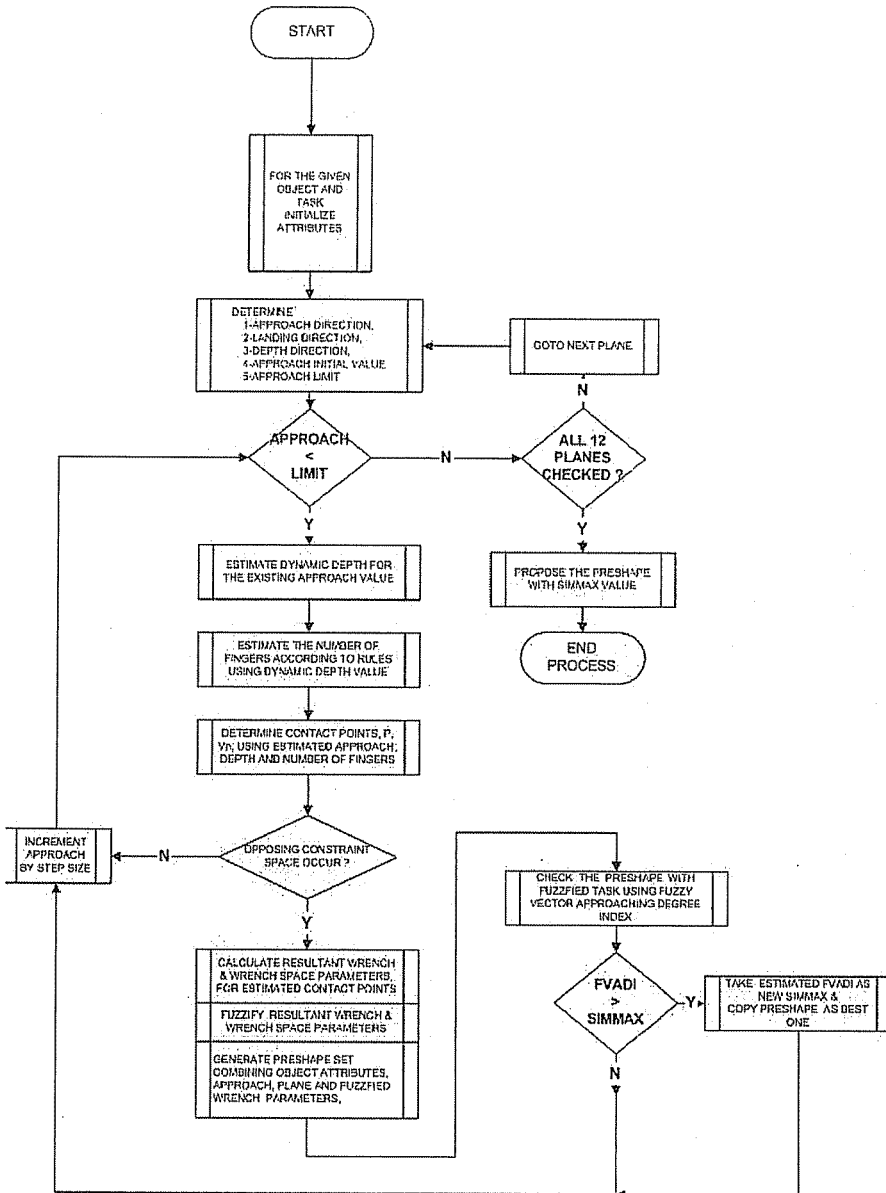


Figure 6. FIS Software Flow Diagram

4. RESULTS & DISCUSSIONS

In our design and implementation of preshaping inference system, we basically tested our model with a simple object set, by neglecting external disturbances. The resultant preshapes are sent to Grasp Simulation for demonstration. We have obtained successful results. Some of those results are given in the following figures.

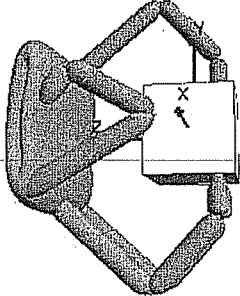
Task Attribute Set	Task: Translation along Y and Z axes, and Rotation around Y axis.	
	T_x T_y T_z R_x R_y R_z	
0.09 0.95 0.93 0.1 0.83 0.2		
Virtual Grasp Wrench Pattern	Wrench:	
	T_x T_y T_z R_x R_y R_z	
0.3 1.0 1.3 0.02 0.78 0.15		
FIS Preshape Output	Hand Approach: Plane Id 7, Along -Z axis.	
	Number of VF: 2	
	TFVADI: 4.09	

Figure 7. Result from FIS with Object Unit Cube and Task #1

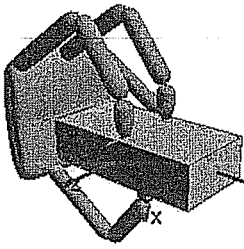
Task Attribute Set	Task: Translation along X and Y axes, and Rotation around X and Y axes.	
	T_x T_y T_z R_x R_y R_z	
1.01 1.5 0.1 0.84 0.87 0.05		
Virtual Grasp Wrench Pattern	Wrench:	
	T_x T_y T_z R_x R_y R_z	
1.0 1.54 0.31 0.8 0.08 - 0.04		
FIS Preshape Output	Hand Approach: Plane Id 6, Along Y axis.	
	Number of VF: 2 TFVADI:	
	4.2	

Figure 8. Result from FIS with Object Rectangular Prism and Task #2

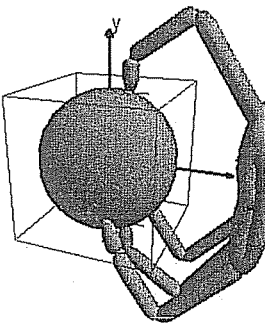
Task Attribute Set	Task: Translation along Y and Z axes, and Rotation around Y axis.	
	T_x T_y T_z R_x R_y R_z 0.13 1.12 1.08 0.06 0.82 0.07	
Virtual Grasp Wrench Pattern	Wrench:	
	T_x T_y T_z R_x R_y R_z 0.3 1.2 1.7 -0.23 0.88 0.12	
FIS Preshape Output	Hand Approach: Plane Id 5, Along -X axis.	
	Number of VF: 3 TfvADI: 3.7	

Figure 9. Result from FIS with Object Sphere and Task #3

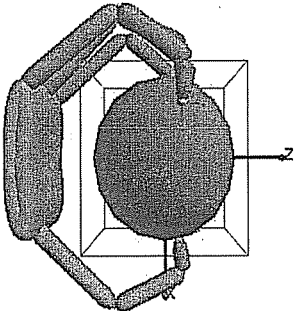
Task Attribute Set	Task: Translation along X and Z axes, and Rotation around X axis.	
	T_x T_y T_z R_x R_y R_z 1.03 0.11 1.03 0.84 0.05 0.05	
Virtual Grasp Wrench Pattern	Wrench:	
	T_x T_y T_z R_x R_y R_z 1.3 -0.35 1.5 1.1 0.27 0.03	
FIS Preshape Output	Hand Approach: Plane Id 10, Along Z axis.	
	Number of VF: 3 TfvADI: 3.6	

Figure 10. Result from FIS with Object Sphere and Task #4

For the results given in figures 7 to 10 , we could observe that although we introduced different objects with different tasks, grasp preshape is successfully estimated. The results indicate that even we change task and objects for preshapes, the method still yields satisfactory results. The results with grasp simulation is also effective to visualize the practical implementation of the estimated grasp preshape. By doing so, we experimentally proved the success of the FIS.

5. CONCLUSION

In this work, for a multifingered robot hand, a new fuzzy inference system for grasp preshaping estimation is designed and the FIS is implemented at software environment. We have interpreted some of existing analytic methods in another simplified form and introduced new methods to obtain a symbolic representation for fuzzy inference mechanism. This brings us computational and decision making advantages over classical analytical methods, since symbolic attributes provided more features for inferencing.

6. REFERENCES

1. Lyons, D.M., "A simple set of grasps for a dextrous hand", *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics & Automation*, pp.588-594, 1985.
2. Cutkosky, M.R., "On grasp choice grasp models and the design of hands for manufacturing tasks", *IEEE Trans. Robotics and Automation*, Vol.5, No.3, 1989.
3. Liu, H., Iberall, T., "The multidimensional quality of task requirements for dextrous robot hand control", *IEEE -Control Systems Magazine*, pp452-457, 1989.
4. Li, Z., Sastry, S.S., "Task oriented optimal grasping by multifingered robot hands", *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol.4, No.1., 1988.
5. Nguyen, T.N., Stephanou, H.E., "A continuous model of robot hand preshaping", *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics & Automation*, pp83-89, 1987.
6. Mishra, B., Silver, N., "Some Discussion of static Gripping and Its Stability", *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, Vol.19, No.4, 1989.
7. Troccaz, P.J., "Grasping: a state of the art", *The Robotics Review I*, MIT Press, 1989.
8. Baysal, C.V., "Preshaping Control for Dexterous Manipulation with a Multifingered Robot Hand", *PhD Thesis, Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Cukurova University*, 2006.
9. Salisbury, J.K., "Kinematic and Force Analysis of Articulated Hands", *PhD Thesis, Dept. of Mech. Engineering, Stanford University*, 1982.

A NEURAL NETWORK CLASSIFIER FOR ROBOT HAND PRESHAPE AND GRASP TASK MATCHING

Cabbar Veysel BAYSAL

E.U., Electrical-Electronics Engineering Department, Kayseri / Türkiye

Süleyman GÜNGÖR

C.U., Electrical-Electronics Engineering Department, Adana / Türkiye

ABSTRACT : *In this paper, a neural network classifier for grasping task and robot hand preshape matching is presented, which is based on a plain representation of robot hand grasp preshape for precision grasps, described by number of fingers to be involved in grasp and approach direction of hand towards object. The classifier is initially trained and takes the desired grasp task and object attributes as input and yields the preshape as output. The classifier is tested by using robot hand grasp preshape simulation.*

Keywords: Preshape Estimation, Neural Network Classifier, Grasp Preshape

ROBOT EL TUTUŞ BİÇİMİ VE TUTUŞ GÖREVİ EŞLEŞTİRMESİ İÇİN YAPAY SİNİR AĞI SINIFLANDIRICI

ÖZET : *Bu makalede, robot eli tutuş biçimi ve tutuş görevi eşleştirmesi için tasarlanan yapay sinir ağı sınıflandırıcı sunulmaktadır. Robot eli tutuş biçimi, sade bir gösterimle, hassas tutuşlar için, tutuşa dahil olan parmak sayısı ve robot elin nesneye yaklaşma yönü ile ifade edilmiştir. Sınıflandırıcı, tutuş görevi ve nesne özelliklerini girdi olarak almakta ; çıktı olarak ise tutuş biçimini vermektedir. Sınıflandırıcı, başlangıçta eğitilmektedir. Tasarlanan sınıflandırıcı robot eli tutuş sınavında denenmiştir.*

1. INTRODUCTION

Robot grasping is one of the major research areas of robotics since it is required for many applications, from handling hazardous material to surgical operations. A review of robot grasping was given by Bicchi and Kumar [1]. One of the main problems in robot grasping is the dexterous manipulation of a multifingered robot hand. An overview of dexterous manipulation was given by Okamura et al. [2].

For dexterous manipulation of a robot hand, there are two main existing approaches, synthesis and heuristic approaches. The synthesis approach is mathematically based and seek to develop computational algorithms for the low-level control of the hand. Low-level control includes computation of finger contact positions and controlling of finger force and torque and joint angles. This approach assumes well defined models and precise sensory information. Shimoga provides a survey and overview of grasp synthesis techniques with algorithms used [3]. The heuristic approach is knowledge based and utilizes hand preshaping of human grasps Lyons [4] gives a simple set of grasps for dexterous hand. Cutkosky [5] illustrates a grasp taxonomy for hand preshape matching for manufacturing tasks. Iberall [6] gives a task oriented approach to hand preshaping as well as introducing Virtual Finger (VF) concept. Heuristic methods are efficient for grasp posture formation utilizing hand preshapes however they are lack of low-level kinematics to execute the grasp.

In general, a combination of the object geometry and task properties are the main factors for determining the hand preshape. Furthermore, in order to have a successful grasping and dexterous manipulation, the preshaping phase should be controlled as combination of object shape matching with task properties, and preshape kinematic effects.

In this work, we introduce a new heuristic approach that is based on a plain representation of robot hand grasp preshape for precision grasps. The preshape representation is described by number of fingers to be involved in grasp and approach direction of robot hand towards the object. Considering the problem of preshaping as a matching between grasping task and the object attributes, preshape estimation must be planned in a virtual situation, before any actual movement. In this perspective, we use the grasping task representation that is analyzed and decomposed into primitives of axial translational and axial rotational displacements as a wrench system, in a 3D environment, where the coordinate frame is centered at center of geometry of the object. The details of task decomposition, task wrench system and plain preshape representation could be found in the dissertation made by Baysal [7].

2. NEURAL NETWORK CLASSIFIER STRUCTURE

In our approach, preshape estimation is foreseen as a nonlinear matching between task and object attributes, to find most suitable approach direction and to estimate number of Virtual Fingers. It is also foreseen that this type of matching could be performed by an Artificial Neural Network, acting as a classifier. We estimate the approach plane and the Virtual Fingers value by a Multilayer Neural Network, given the task attributes and object properties as input. In literature, Haykin [8], Multilayer Neural Networks such as Multi Layer Perceptrons have been widely used as classifier. For a classification work with N-nonlinearly separable classes, a Multi Layered

Perceptron Network is required at least 1-hidden layer , an input and an output layer with nonlinear activation functions.

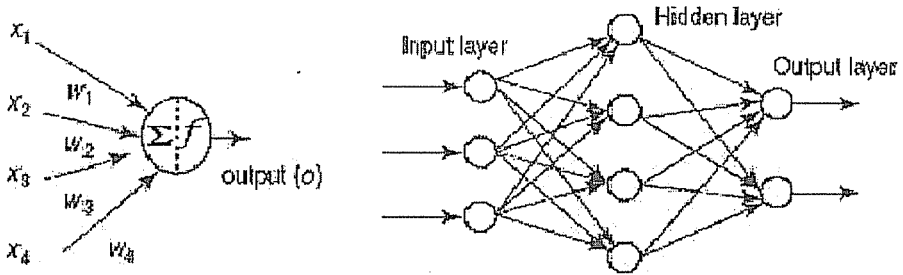


Figure 1. Artificial Neuron and Multilayered Artificial Neural Network

In figure 1, the structure of an Artificial Neuron and a Multilayered Artificial Neural Network (ANN) is given. In our case, we implement a 3-layer Multi Layered Perceptron (Input, Output and a Hidden Layer) as ANN, in which nonlinear activation function $f(\cdot)$ is logarithmic sigmoid, and a Back Propagation algorithm is used for training. The Block Structure of the ANN Classifier is given in figure 2.

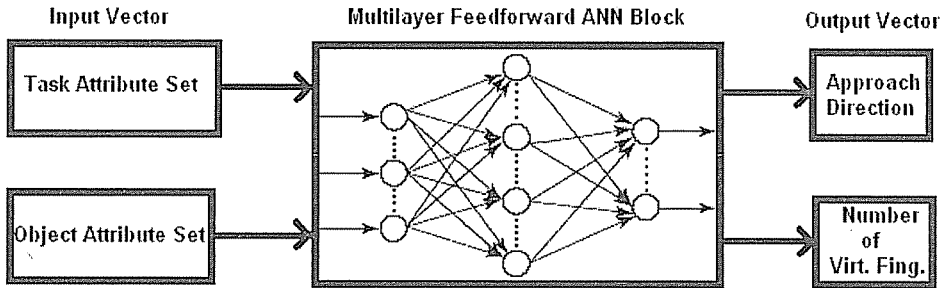


Figure 2. The Block Structure of ANN Preshape Classifier

The input vector to ANN is composed of by two parts. In the first part, we use task represented as wrench system formed to represent a spatial displacement. In the second part, we use object model attributes, such as size attributes (W, H, D), number of vertices, number of mesh triangles of its modeling.

$$\text{Input Vector, } IV = \{ \text{Task ; Object} \} \tag{1}$$

$$T = \{ T_x, T_y, T_z, R_x, R_y, R_z \} \tag{2}$$

$$O = \{ W, H, D, \#Vert, \#V.Norm, \#Faces, \#Triang \} \tag{3}$$

The output vector of the ANN is a binary output vector composed of approach plane index (PI) that indicates hand approach direction towards the object and estimation for number of fingers (VF) to be involved in grasp.

$$\text{Output Vector, } OV = \{ PI ; VF \} \quad (4)$$

$$PI = \{ Y_0, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 \} \quad (5)$$

$$VF = \{ Y_5, Y_6, Y_7 \} \quad (6)$$

In this section, we also present the details for the design of ANN and parametric analysis to optimize the ANN structure. First, we explain that how we obtained the Training Data for Neural Network. During our work, in order to reach our goals, while we analyze our workframe for kinematic estimations, we developed a stand-alone software program as an auxiliary tool. With this software, we have developed training data for the ANN Classifier. ANN Classifier is initially trained only with Cube object model and 6 Basic tasks. We also performed an optimization analysis for ANN parameters such as Learning Rate, Number of Hidden Nodes, EMS Thresholds. After forming general structure of the ANN, using the Pretraining data we obtained, we started to perform experiments with different sets of ANN parameters. According to our parametric analysis of ANN, we found that 45 hidden node is the optimum value for hidden layer. At the end, we have collected responses of ANN with different parameter sets. As a result of the tabulated forms, we obtained a surface plot to find an optimum set for the ANN parameters given in figure 3.

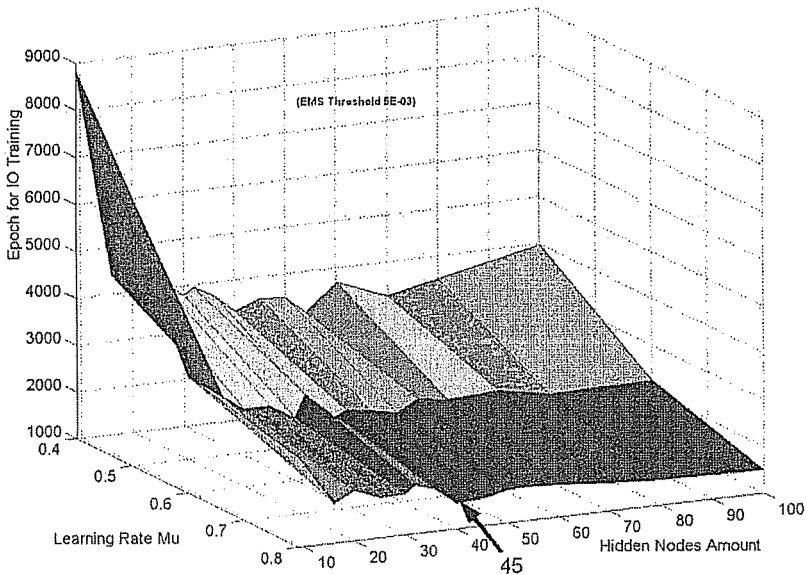


Figure 3. The Optimum Parameter Surface Plot for ANN Classifier.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Designed ANN classifier is tested for learning performance of trained tasks and objects as well as with new objects. In the following figures, we illustrate the results obtained from the NN Preshape Classifier. We have first tested learning performance of NN Classifier with trained tasks and object. The results given in figure 4 and figure 5 demonstrate that the classifier is successful to remember basic tasks and sample training object which is cube .

In this way, we tested that proper matching capability of the classifier exists. For the results given in figure 6 and figure 7, we observe that by presenting new object along with trained tasks, the classifier is able match task attributes and new objects.

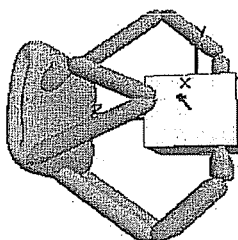
Object Attribute Set	Task Attribute Set	NN Class. Preshape Output	Preshape Simulation Result												
Object: Cube Scaled Attrib.: <u>W:0.33</u> <u>H:0.33</u> <u>D:0.33</u> <u>#Vert.:0.67</u> <u>#V.Norm:0.5</u> <u>#Faces:1.0</u> <u>#Triang.:0.012</u>	Task#1: Translation along Y and Z axes, and Rotation around Y axis. <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black; padding: 2px;">T_x</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; padding: 2px;">T_y</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; padding: 2px;">T_z</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">0.09</td> <td style="padding: 2px;">0.95</td> <td style="padding: 2px;">0.93</td> </tr> </table> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black; padding: 2px;">R_x</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; padding: 2px;">R_y</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; padding: 2px;">R_z</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">0.1</td> <td style="padding: 2px;">0.83</td> <td style="padding: 2px;">0.2</td> </tr> </table>	T_x	T_y	T_z	0.09	0.95	0.93	R_x	R_y	R_z	0.1	0.83	0.2	Hand Approach: Plane Id 7, Along -Z axis. Number of VF: 2	
T_x	T_y	T_z													
0.09	0.95	0.93													
R_x	R_y	R_z													
0.1	0.83	0.2													

Figure 4. Classifier Test Result for Training Object with Basic Task #1

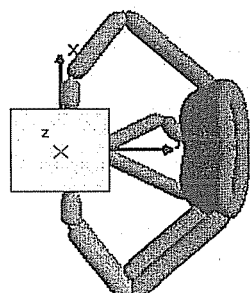
Object Attribute Set	Task Attribute Set	NN Class. Preshape Output	Preshape Simulation Result												
Object: Cube Scaled Attrib.: <u>W:0.33</u> <u>H:0.33</u> <u>D:0.33</u> <u>#Vert.:0.67</u> <u>#V.Norm:0.5</u> <u>#Faces:1.0</u> <u>#Triang.:0.012</u>	Task#2: Translation along X and Y axes, and Rotation around X axis. <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black; padding: 2px;">T_x</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; padding: 2px;">T_y</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; padding: 2px;">T_z</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">1.02</td> <td style="padding: 2px;">0.98</td> <td style="padding: 2px;">0.05</td> </tr> </table> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black; padding: 2px;">R_x</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; padding: 2px;">R_y</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; padding: 2px;">R_z</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">0.84</td> <td style="padding: 2px;">0.05</td> <td style="padding: 2px;">0.1</td> </tr> </table>	T_x	T_y	T_z	1.02	0.98	0.05	R_x	R_y	R_z	0.84	0.05	0.1	Hand Approach: Plane Id 6, Along Y axis. Number of VF: 2	
T_x	T_y	T_z													
1.02	0.98	0.05													
R_x	R_y	R_z													
0.84	0.05	0.1													

Figure 5. Classifier Test Result for Training Object with Basic Task #2

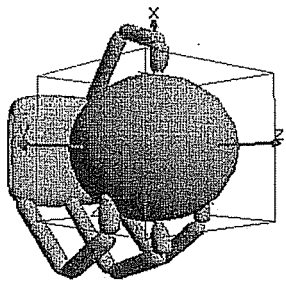
Object Attribute Set	Task Attribute Set	NN Class. Preshape Output	Preshape Simulation Result
Object: Sphere Scaled Attrib: <u>W:0.66</u> <u>H:0.66</u> <u>D:0.66</u> <u>#Vert.: 0.51</u> <u>#V.Norm: 0.51</u> <u>#Faces: 1</u> <u>#Triang.: 0.32</u>	Task#3: Translation along X and Z axes, and Rotation around X axis. $\begin{array}{ccc} T_x & T_y & T_z \\ 1.05 & 0.1 & 0.96 \end{array}$ $\begin{array}{ccc} R_x & R_y & R_z \\ 0.84 & 0.05 & 0.05 \end{array}$	Hand Approach: Plane Id 10 Along +Z axis. Number of VF: 3	

Figure 6. Classifier Test Result for New Object with Basic Task #3

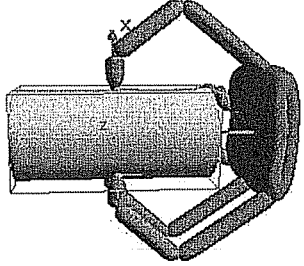
Object Attribute Set	Task Attribute Set	NN Class. Preshape Output	Preshape Simulation Result
Object: Cylinder Scaled Attrib: <u>W:0.4</u> <u>H: 0.8</u> <u>D:0.4</u> <u>#Vert. 0.53</u> <u>#V.Norm: 0.3</u> <u>#Faces: 1</u> <u>#Triang.: 0.06</u>	Task#4: Translation along Y and Z axes, and Rotation along X and Y axes. $\begin{array}{ccc} T_x & T_y & T_z \\ 1.05 & 1.05 & 0.1 \end{array}$ $\begin{array}{ccc} R_x & R_y & R_z \\ 0.85 & 0.95 & 0.1 \end{array}$	Hand Approach: Plane Id 6, Along Y axis. Number of VF: 2	

Figure 7. Classifier Test Result for New Object with Basic Task #4

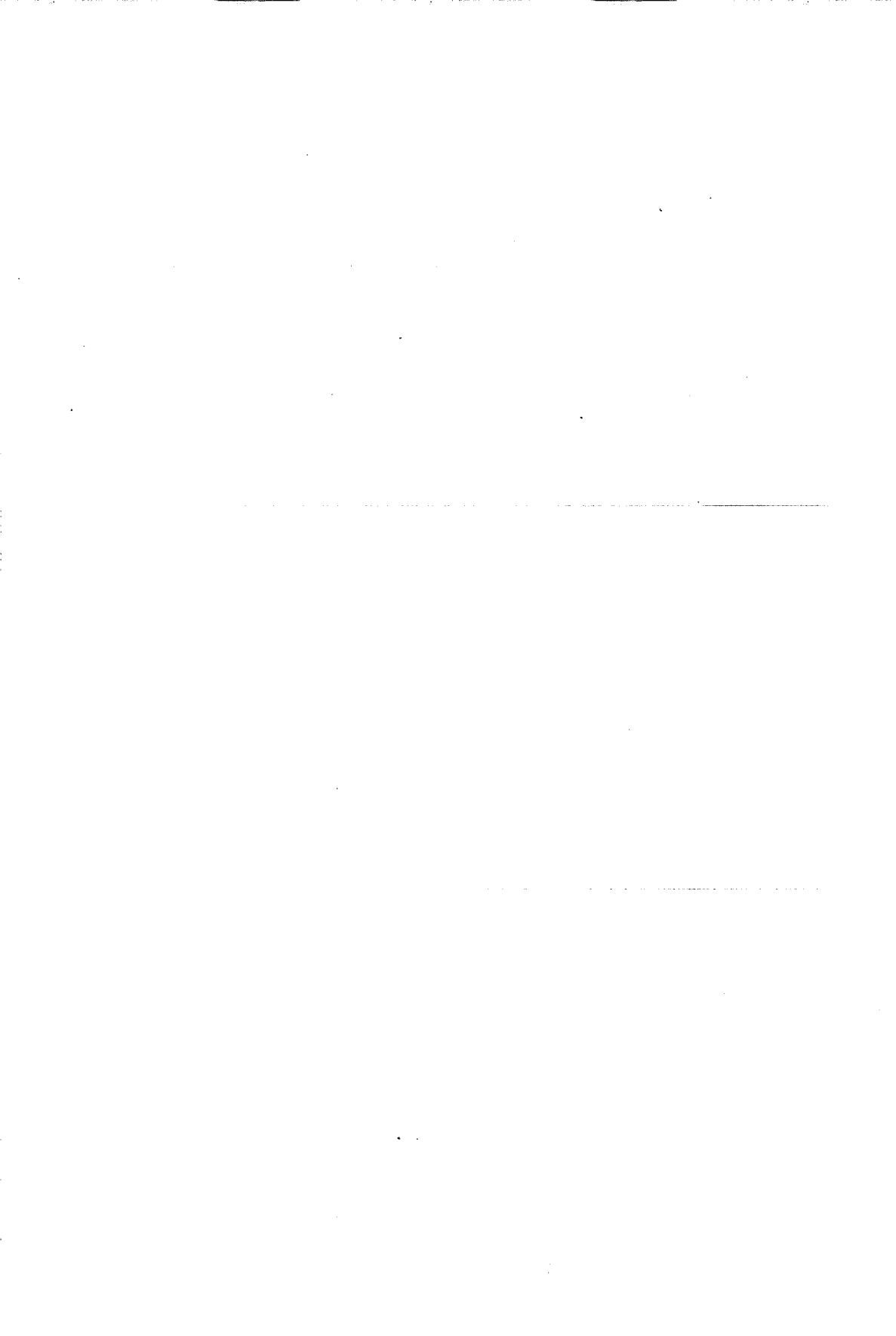
When we compare the performance of our classifier with some other works such as NN implementation of grasp taxonomies, we observe that it is possible to extend object and task learning capacity of the NN classifier whereas taxonomy based NN implementations only perform matching of the knowledge based prefixed taxonomy values. It is also possible to compare the classifier with synthesis approach works such as Pollard's OWS method [9] which also tries to generalize preshape matching between object and grasping task. Our classifier is computationally simple and low cost one whereas OWS method requires high computational facilities.

4. CONCLUSION

In conclusion, a neural network classifier for grasping task and robot hand preshape matching is designed to perform matching between object attributes and decomposed task which is presented as wrench system. The classifier is based on a plain representation of robot hand grasp preshape for precision grasps, described by number of fingers to be involved in grasp and approach direction of hand towards object. The classifier is initially trained with a single object. It takes the desired grasp task and object attributes as input and yields the preshape as output. The classifier is tested by using robot hand grasp preshape simulation, demonstrating successful results.

5. REFERENCES

1. Bicchi, A. and Kumar, V., "Robotic Grasping and Contact: A Review", In Proc. IEEE ICRA 2000, San Francisco, CA., 2000.
2. Okamura, A.M. et al., "An overview of dexterous manipulation." IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Francisco, CA. 255-262, 2000.
3. Shimoga, K.B., "Robot grasp synthesis algorithms: A survey", International Journal of Robotics Research, 15 (3):230-266, June 1996.
4. Cutkosky, M.R., "On grasp choice grasp models and the design of hands for manufacturing tasks", IEEE Trans. Robotics and Automation, Vol. 5, No. 3., 1989.
5. Iberall, T., "The Nature of Human Prehension: Three Dexterous Hands in One," Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 396-401, 1987.
6. Lyons, D.M., "A simple set of grasps for a dextrous hand", Proc. Of IEEE Int. Conf. Robotics & Automation, pp. 588-594, 1985.
7. Baysal, C.V., "Preshaping Control for Dexterous Manipulation with a Multifingered Robot Hand", PhD Thesis, Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Cukurova University, 2006.
8. Haykin, S., "Neural Networks-A Comprehensive Foundation", Macmillan College Publishing, 1994.
9. Pollard, N. S., "Closure and Quality Equivalence for Efficient Synthesis of Grasp from Examples", The International Journal of Robotics Research, Vol 23, No 6, pp595-613, June 2004.



DATA TRANSFER IN LAYERED MANUFACTURING

Durmuş Ali BİRCAN ve A. Kadir EKŞİ

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

ABSTRACT : *Introducing new products at ever increasing rates is important for remaining successful in a competitive global economy; decreasing product development cycle times and increasing product complexity require new ways to take in novel ideas. During the last decades, a new concept called Layered Manufacturing (LM), has gained popularity in Turkey and worldwide especially in the area of product development, prototyping and tooling. The goal of Rapid Prototyping is to be able to quickly fabricate complex-shaped, three-dimensional parts directly from Computer Aided Design (CAD) models.*

In this study, the data formats and data transfer in LM was considered. A summary of existing data formats was presented. In this context, the informational needs in RP and various data transfer instances were identified and the need for neutral formats was shown.

Keywords : *Layered Manufacturing, rapid prototyping, LM, data transfer, stl.*

KATMANLI ÜRETİM TEKNOLOJİSİNDE BİLGİ TRANSFERİ

ÖZET : *Teknolojideki ilerlemeye ve günümüz rekabet şartlarının artmasına paralel olarak, her geçen gün daha karmaşık parça, makine ve sistemlerin daha hızlı, kolay ve ucuz bir şekilde imalatına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum çok farklı ve yeni imalat teknolojilerinin geliştirilmesine öncülük etmektedir. Yeni imalat teknolojilerinde varılan son noktalardan biri olan Katmanlı Üretim (KÜ) Teknolojisi son 10 yıldan günümüze kadar Dünya'da ve Türkiye'de hızla gelişme göstermiş, özellikle ürün geliştirme, prototip ve kalıp imalatı konularında önemli ilerlemelere sebep olmuştur. Katmanlı Üretim teknolojileri 3 boyutlu tasarım programı ile hazırlanmış modellerden fiziksel prototipler üretmeyi sağlar.*

Bu çalışmada, Katmanlı Üretim teknolojisinde kullanılan bilgi formatları ve farklı formatlar arasındaki bilgi transferleri incelenmiştir. Bu amaçla, KÜ teknolojisindeki bilgi gereksinimleri ve hali hazırda kullanılan ve araştırılan bilgi transfer protokolleri incelenmiş ve yeni bir bilgi transfer formatı ihtiyacı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : *Katmanlı Üretim, Hızlı Prototipleme, KÜ, bilgi transferi, stl.*

1. INTRODUCTION

The data transfer is used to translate mathematically represented solid/surface model to a sequence of 2-D cross sectional images which can be used to drive LM machine. Generally speaking, the data input source of LM systems is from CAD systems. While different CAD software packages have different internal data representations, the exchange of information has been on the same basis, i.e., 2-D drawing or 3-D solid/surface model.

With rapid developments in hardware and software, LM will soon emerge as a mainstream fabrication technology. The surface/solid models are used as input for process planning for fabrication in LM. One of the important tasks, slicing, which utilize these models to generate layers (2D domain). This layer information is processed further to generate toolpaths (ID domain) for fabrication of objects. The transfer of data from 3D to 2D and then to ID and various stages in each domain becomes important as LM gets adopted by the industry.

Data transfer instances and the methods used for transfer have proven to be crucial for adopting any technology in the industry. In conventional CAD/CAM, the critical issues of data representation and their exchange between various design and manufacturing stages have received wide attention. The LM is entirely dependent on computer tools for fabrication and this makes it imperative that data transfer issues for LM be investigated.

Data representation and exchange issues have to be reviewed and new protocols established to provide a standard framework for data exchange. Importantly, the standardization efforts must consider the broadening scope of LM processes.

2. CURRENT STATUS OF DATA TRANSFER IN LM

LM technologies are computer-based and require the computer model of the object that is to be manufactured [1-4]. As shown in Figure 1, almost all these models have to be converted to the STL format prior to fabrication by LM. Currently, STL serves as an intermediate representation as well as a format for LM applications. There is a growing dissatisfaction among LM users about the role of STL and its benefits.

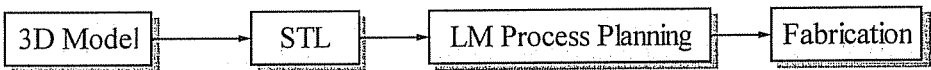


Figure 1. Traditional data flow in LM

2.1. 3D Model Generation for LM

The most basic input to a LM process planning system is the description of the shape of the object to be manufactured. Additionally, tolerance information, surface finish, material data, etc. should ideally be used in performing certain process planning tasks. However, the process planning modules of most LM systems currently accept only shape information. The 3D data input for the LM process can be obtained from a wide variety of sources:

- **3D CAD Model:** This model is created by the designer using CAD software in the computer. In general, a CAD model could either be a solid model or a surface model.
- **Reverse Engineering Data:** This form of input is usually obtained by reverse

engineering where an existing part is to be duplicated. The existing part is scanned using a 3-D shape digitizer (CMM, optical sensors) to generate points from the surface of the object [3,4].

- **Mathematical data:** This form of input is mainly experimental data or data from mathematical programs.
- **Medical/Voxel data:** Medical data are obtained by scanning parts of human body; the only difference being the data is truly three-dimensional, i.e. data is obtained both from the exterior and the interior of the object. The most commonly used methods for getting these data are Computed Tomography (CT) and Nuclear Magnetic Resonance (MR). CT scan data is a particular approach for medical imaging [5, 6]. This is not a standardized data. The scan generates data as a grid of three-dimensional points, where each point has a varying shade of gray indicating the density of the body tissue found at that particular point. Data from CT scans have been used to build skull, femur, knee, and other bone models on Stereolithography systems. Some of the reproductions were used to generate implants, which have been successfully installed in patients. The CT data consist essentially of raster images of the physical objects being imaged. It is used to produce models of human temporal bones. There are three approaches to making models out of CT scan information: (1) Via CAD Systems (2) STL-interfacing and (3) Direct Interfacing. The main advantage of using CT data as an interface of rapid prototyping is that it is possible to produce structures of the human body by the rapid prototyping systems. But, disadvantages of CT data include increased difficulty in dealing with image data as compared with STL data and need for a special interpreter to process CT data.
- **Layered data:** The 3D data may also be obtained as layers/contours/slices i.e. cross-sections of the shape at different levels. Examples include topographic data, geophysical data [7], engineering data [8], etc.

2.1.1. The STL Format

The STL file format was developed by 3D systems in 1987 and it has now become the de facto industry standard [9]. The rapid prototyping system control software uses the stack of digital cross sections to produce each layer of material, one on top of the next. The STL format has a list of facets (planar triangles), with each triangle described by three unique vertices and a normal direction pointing towards the exterior of the model. As the STL format stores the vertex list for each facet explicitly, the edges of the facet are defined implicitly. In both cases the data is ordered, traversing along the boundary according to the listed vertices. The STL format is shown in figure 2. The STL file format includes both an ASCII and a binary version. However, they are not fully compatible. The binary version has additional attribute information which is not used currently. The ASCII format is meant for debugging and test purposes.

In the following sections, we present the advantages and disadvantages of STL with respect to the LM process.

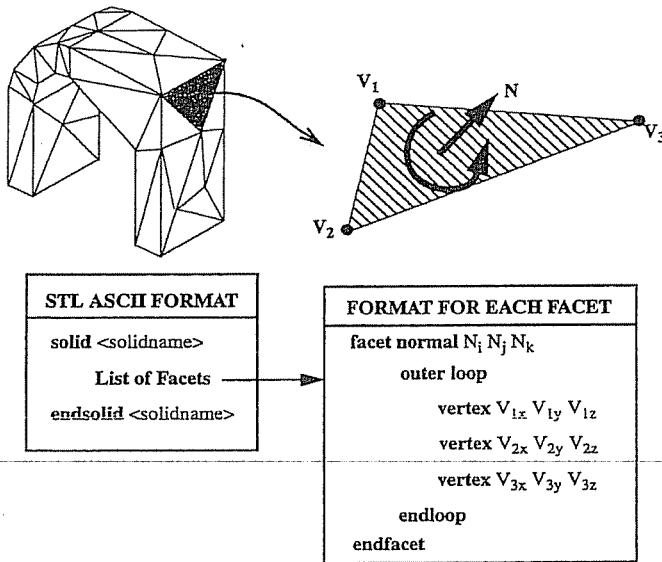


Figure 2. The STL format description [2]

The use of STL format has certain advantages [3, 4, 10].

- **Easy conversion:** The STL format is very simple as it contains only a list of planar triangles. The conversion of a 3-D model to the STL format is done using the standard surface triangulation algorithms. These algorithms are known to be simple, robust and reliable when compared with other approximations. Also, the accuracy of the output can be easily controlled and the degeneracies that could occur are minimal.
- **Wide range of input:** Any form of 3D geometry can be converted to a triangulated model due to the wide applicability of the available surface triangulation algorithms.
- **Simple slicing algorithm:** The algorithm for slicing an STL model is usually simple but not necessary efficient as it only involves processing a list of triangles.

Despite the above mentioned advantages, the STL format has several drawbacks [11-13].

- **Verbose:** STL file is verbose and has redundant data such as normal information and repetition of vertex data.
- **Approximation:** A major problem with the triangulated boundary representation is that curved surfaces can only be approximated by triangular facets. A large number of facets give high approximation accuracy, but results in an extremely large amount of data. A smaller number of facets allows for less data but lacks accuracy.
- **Truncation:** The original CAD model which is represented in double precision is converted to single precision while generating the STL data. Hence, with the absence of topological information in the STL model, truncation errors become significant.
- **File size:** STL file sizes are unnecessarily large because of redundancy in the

file format. Facet normal information is redundant, since the semantics of the representation allow this to be calculated from the ordered vertex list of each facet. Also, the great majority of vertices are multiply specified in the file, since they belong to more than one facet. It would be more efficient to specify each vertex once and make reference to it from each owning facet.

- **Lack of Information:** The original 3D model, in general, is complete with geometry/topology information. By converting it to STL format, only the basic geometry information is stored and other information are neglected. Also, STL does not have the capability to communicate all relevant process information regarding the model.
- **Gaps:** Surface facets connect to form a set of closed shells that enclose or exclude material. If any facet is missing, then the shell is punctured, leaving a gap, and there is then no clear distinction between the inside and the outside the object. When a faceted model with gaps is sliced, the slices contain non-closed contours, and scan path vectors may extend beyond the boundary of the desired object [11, 12].
- **Inconsistent and Incorrect Normals:** Facet normals could be flipped and thus be inconsistent with the orientation of other facets. Also, facet normals may not be the same as the normal computed from the facet's vertices.
- **Incorrect Intersections:** Facets may intersect at incorrect locations (apart from their edges) i.e. overlapping facets.
- **Internal walls and structures:** These could be generated by faulty geometric algorithms while closing gaps in STL and can cause discontinuities in the solidification of the material.
- **Inconsistencies:** An STL file might have inconsistent tolerance values as it was created by appending two different STL files. Also, there may be gaps at the intersection of the two STL models that were appended.
- **Facet Degeneracy:** Facets may be degenerate i.e., they do not span finite area and consequently have no normal.
- **STL Repair:** Due to the previously mentioned problems, additional operations/manipulations have to be performed on the STL model to guarantee the correctness of the model which is very computational intensive.

To summarize; much time and effort is currently spent in correcting faulty STL files and generating topological information from the facets [13-18]. It has been estimated that about 10% of STL files formed from solid models have flaws, while 90% of those formed from surface models exhibit problems [19]. Often, corrections made to the STL file, necessitated by missing or redundant surfaces in the surface or solid model of the part are not passed back to the designer for correction in the original shape model. If further design refinements or changes are made by the designer and another STL file is generated and transmitted to the manufacturer, it is therefore likely that the same facet corrections will need to be made again before process planning can continue.

2.1.2. Alternatives to STL

Over the last decades, significant advances have been made in all aspects of LM technology, including hardware, software and materials. New materials and process capabilities have expanded the application domain of LM beyond rapid prototyping to the manufacture of tooling, and to the production of one-off or short run functional parts.

Consequently, the nature of the information transmitted to the LM process planning system has become more critical. The automation of process planning algorithms ideally requires more accurate geometrical information together with topological and process information than is provided by STL. Further, selective deposition of material for the creation of heterogeneous structures requires material information in the object model. Such requirements cannot be met by the triangulated boundary representation of the purely geometric STL format. These facts, together with the drawbacks of the STL format, provide the motivation for developing alternative input formats for LM process planning systems.

Several alternatives to STL have been proposed in the literature to address the various drawbacks of STL.

Surface Triangles Hinted Format (STH): It was developed by Brock Rooney and Associates, it uses surface triangulation (like STL) with flexible rules for efficient storage of vertex and connection information [2, 20]. It is more compact and contains optional structural information on source volumes and surfaces.

Cubital-Facet List (CFL): This format was developed by Cubital [21, 22] to overcome the problems with STL. It defines a general planar-faceted polyhedral boundary representation, in which facets may contain multiple polygonal holes. The coordinates of all the vertices are stored and indexed. The facet descriptions reference the vertices by their indices and not by value. This saves space and also implicitly captures the connectivity relations between facets in the model. The format also has provisions for storing textual comments, unlike STL, allows for the alternative description of a model as a series of contour slices. Apart from this extension beyond the STL capability, this format possesses both geometry and topological information of the model. CFL files are several times smaller than equivalent STL files. This compactness stems from the fact that the CFL format stores the facet descriptions without storing redundant information, while an STL file unnecessarily repeats information, such as sets of coordinates and strings of text.

Rapid Prototyping Interface (RPI): It was developed by the Rensselaer Polytechnic Institute [23, 25]. The RPI format is capable of representing facet solids, but it includes additional information about the facet topology. Topological information is maintained by representing each facet solid entity with indexed lists of vertices, edges, and faces. Instead of explicitly specifying the vertex coordinates for each facet, a facet can refer to them by index numbers. This contributes to the goal of overall redundant information reduction.

The format is developed in ASCII to facilitate cross-platform data exchange and debugging. A RPI format file is composed of the collection of entities, each of which internally defines the data it contains. Each entity conforms to the syntax defined by the syntax diagram. Each entity is composed of an entity name, a record count, a schema definition, schema termination symbol, and the corresponding data.

The RPI format offers a number of features unavailable in the STL format. The format can represent CSG primitive models as well as facet models. Both can be operated by the Boolean union, intersection, and difference operators. Provisions for solid translation and multiple instancing are also provided. Process parameters, such as process types, scan methods, materials, and even machine operator instructions, can be

included in the file. Facet models are more efficiently represented as redundancy is reduced. The flexible format definition allows storage and processing cost to be balanced.

The disadvantage of the RPI format is that an interpreter which processes a format as flexible and extensible as the RPI format is more complex than that for the STL format. Surface patches suitable for solid approximation cannot be identified in the RPI format.

Geometric Workbench for Rapid Prototyping (G-Worp): This format [26] was proposed as a design tool for parts to be fabricated by LM. It has not been proposed as an alternate 3D or slice format. However, it does possess representations and formats for storing a 3-D model and a slice. G-WoRP uses the voxel and the slice as primary primitives to represent the model. The voxel primitive is used for 3-D representation of the model from which slices are generated for LM. As the initial model is voxel/slice based, the designer has to think in terms of voxels and slices which is not very intuitive. The boundary information of the model is not stored explicitly and has to be computed. Also, true parametric surfaces cannot be represented using this method. However, the internal volume information of the model, which is normally absent in most representations.

As a comparison; considering alternatives to STL, STH improves on the STL by storing more information and using better storage schemes. But, it does not have the capability to store a polyhedral model. Both CFL and RPI can store a polyhedral model. However, the use of a polyhedral representation of a 3-D geometry has its own drawbacks. The RPI format has the flexibility to define new entities and can store process specifications neither of which is fully available in CFL.

2.2. Slice Formats for LM

The use of models with exact rather than faceted geometry allows increased accuracy. This implies that slicing may be done in the CAD system where the design model originates, because that provides all the necessary capabilities for accurate geometric computation. In this case, a neutral format is needed for the transfer of the resulting slice data from the CAD system into the LM process planning system.

A slice format must enable the capture of all the geometrical data of the layer, including the layer thickness. Also, it must have provision to store material and process-related information, if necessary. The method for the representation of 3D material distributions will need to be specialized for use in 2D slice representation. Currently, there does not exist any industry standard for a slice format. A slice standard must provide a common basis for communicating layer information. Some of the slice formats are discussed below:

Common Layer Interface (CLI): This format was developed in a BRITE/EURAM project [27-29]. CLI is intended as a simple, efficient and unambiguous format for data input to all LM systems. The CLI file can be in binary or ASCII format. The geometry part of the file is organized in layers in the ascending order. Every layer is started by a layer command, giving the height of the layer.

Each layer is represented by its thickness and a set of contours. Contours define the boundaries of the solid material within a layer and are represented by polylines.

Each contour should be closed and should not intersect itself or other contours. A hatch is a set of independent straight lines, each defined by a start and an end point. The purpose of hatches and open polylines is to define support and filling structures. The build direction is assumed to be the positive Z-axis and hence the slices are in the planes parallel to the *XY* plane. Polylines representing internal contours must be clockwise and that of external contours must be counter-clockwise when viewed along the negative Z-axis. There are no non-geometric commands in CLI.

CLI format has some advantages that; since the CLI format only supports polyline entities, it is a simpler format compared to the HP/GL format. Also, the error in the layer information is much easier to be correct than that in the 3D information. Automated recovery procedures can be used and if required, editing is also not difficult.

However, there exist several disadvantages of the CLI format. It only has the capability of producing polylines of the outline of the slice. And, although the real outline of the part is obtained, by reducing the curve to segments of straight lines, the advantage over the STL format is lost.

The CLI format also includes the layer information like the HP/GL format. But, the CLI format only has polyline entities, while HP/GL supports arcs and lines.

Layer Exchange ASCII Format (LEAF): LEAF was developed by Helsinki Institute of Technology also for the BRITE/EURAM project [30, 31]. The format consists of two sections - the header section and the geometry section. The header section defines the preprocessing instructions, mathematical arrangements and technological arrangements. These arrangements are necessary for the geometry section. The preprocessing instructions contain keyword definitions, machine specific information, etc. The mathematical arrangements define the radix of the number system used, units and ranges of values. The technological arrangements define the structure of hatches and supports. These arrangements can be directly referenced by the geometry section instead of stating it explicitly each time. The geometry section is the layerwise geometrical data of the model. The layer is the main entity used and it contains both geometry data and process data. The layer entity can have sub-entities such as region, contour, hatch, support, etc. Each contour is a non-self-intersecting polygon described in terms of 2-D primitives, the polyline and the circular arc.

The advantages of the LEAF format are; easy to implement and use, not ambiguous, allows for data compression and for a human-readable representation, machine independent and LMT process independent, slices of CSG models can be represented almost directly in LEAF, and the part representing the support structures can be easily separated from the original part.

The disadvantages of the LEAF format include; the new interpreter is needed for connecting the rapid prototyping systems, the structure of the format is more complicated than that of the STL format, and the STL format cannot be changed into this format.

Hewlett Packard Graphics Language (HP/GL): It is a standard data format for graphic plotters [32]. Data types are all two-dimensional, including lines, circles, splines, texts, etc. The approach, as seen from a designer's point of view, would be

to automate a slicing routine which generates a section slice, invoke the plotter routine to produce a plotter output file and then loop back to repeat the process.

The advantages of the HP/GL format are that a lot of commercial CAD systems have the interface to output the HP/GL format and it is a 2D geometry data format which does not need to be sliced.

However, there are two distinct disadvantages of the HP/GL format. First, because HP/GL is a 2D data format, the files would not be appended, potentially leaving hundreds of small files needing to be given logical names and then transferred. Second, all the support structures required must be generated in the CAD system and sliced in the same way. HP-GL is capable of representing an arbitrary 2-D shape filled with any pattern. Hence, it can be used to represent slices and can also be used to drive the LM machine like any plotting device.

The StereoLithography Contour (SLC): There are a several slice formats that are referenced SLC. However, each was developed by a different LM company (e.g., 3D Systems SLC, POGO SLC and Stratasys SLC [33, 34]). All of them are proprietary. A typical SLC format is shown in figure 3.

SLC attempts to solve problems by taking two-dimensional slices directly from a CAD model instead of using an intermediate tessellated STL model. According to 3D Systems, these slices eliminate the facets associated with STL files because they approximate the contours of the actual geometry. Three problems may arise from this approach. Firstly, in slicing a CAD model, it is not always necessarily more accurate as the contours of each slice are still approximations of the geometry. Secondly, slicing in this manner requires much more complicated calculations and, is very time-consuming when compared to the relatively straightforward STL files. Thirdly, a feature of a CAD model which falls between two slices, but is just under the tolerances set for inclusion on either of the adjacent slices, may simply disappear.

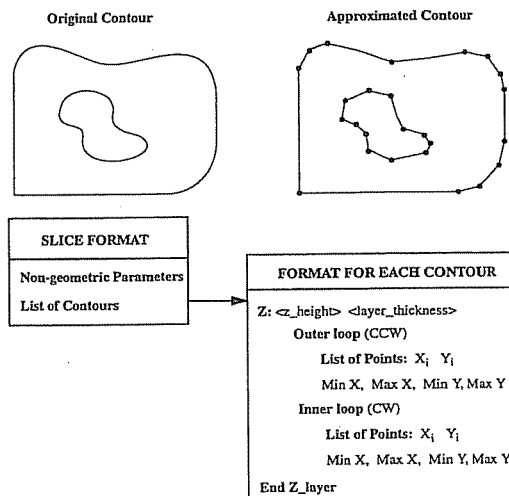


Figure 3. Slice format description for SCL

Initial Graphics Exchange Specification (IGES): It is a generally used data transfer medium which interfaces with various CAD systems. It was set up as an American National Standard in 1981 [35]. The IGES file can precisely represent CAD models. It includes not only the geometry information (Parameter Data Section) but also topological information (Directory Entry Section). In the IGES, surface modeling, CSG and boundary representation (B-rep) are introduced. Especially, the ways of representing the regularized operations for union, intersection, and difference have also been defined.

The advantages of the IGES standard are its wide adoption and comprehensive coverage. Virtually every commercial CAD/CAM system has adopted IGES implementations. Furthermore, it provides the entities of points, lines, arcs, splines, NURBS surfaces and solid elements. Therefore, it can precisely represent CAD model.

However, several disadvantages of the IGES standard in relation to its use as a LM format include; because IGES is the standard format to exchange data between CAD systems, it also includes much redundant information that is not needed for rapid prototyping systems, and the algorithms for slicing an IGES file are more complex than the algorithms slicing a STL file.

Standard for the Exchange of Product Model Data (STEP): STEP, based on ISO Standard 10303 [36-38], is an international standard for the exchange of product life-cycle data, covering design, analysis, manufacture, maintenance and disposal. STEP has three-level architecture, with conceptual, application and physical layers. The conceptual layer contains Integrated Resources (IRs), sets of related data entities that can be specialized to describe different domains of interest. For example, one IR (ISO 10303-42-'Geometrical and topological representation') contains wireframes and surface models with or without topology, faceted Breps, advanced Brep solids (with curved surfaces) and 2D and 3D CSG shape representations. The faceted Brep capability includes that of STL, but uses a more efficient and less error-prone format. The wireframe facility could be used in LM, for the capture of slice contours and tool paths. In the application layer, subsets of the IR data entities are specialized for particular product classes and life-cycle stages. These results in a series of Application Protocols (APs) that prescribe the scope and representation of the data that can be exchanged for that purpose. The physical layer of STEP architecture defines how the data elements are mapped into a physical file format (ISO 10303-21), or how it may be accessed in a data repository (ISO 10303-22).

The current status of data formats used in LM can be summarized as:

- Currently, STL is used as a standard for LM though it was never intended to serve as one. Also, STL is an incomplete geometrical representation and possess no topological as well as process related information. Alternatives to STL though eliminate certain pitfalls of STL are insufficient to satisfy the data transfer needs of LM.
- There exist no standard for representing layer information (i.e., slice data). A standard is required as it would provide a common basis for transfer of data during the various stages of process planning in LM.

Figure 4 shows the current status of LM data transfer.

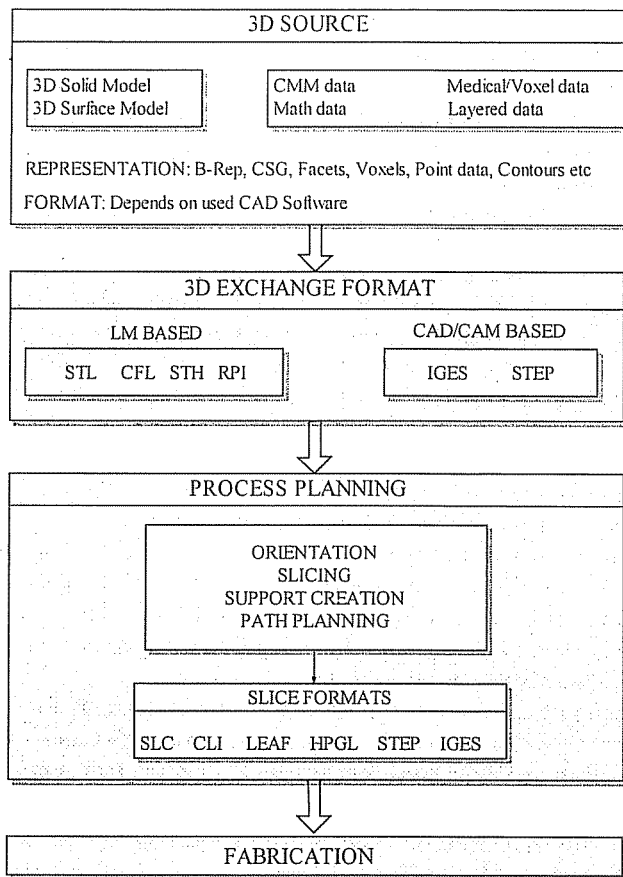


Figure 4. Data formats used in LM

2.3. Reason for alternate 3D representations

Current slice format would imply that slicing is performed prior to input of data to the LM system rather than system itself, as is usually the case at present. The suggested reasons for supporting the 3D format include the following:

- The CAD model could be analyzed directly to determine an optimum build direction and the required support structures. Then it could be sliced. Alternatively, the CAD model could be sliced first, and the support structures created by analyzing the slices. These operations could be performed using capabilities of the CAD system used.
- CAD models based on precise geometry representation (such as NURBS-based Brep) could be used to represent slice data without the loss of precision inherent in STL. Hence, direct slicing of such models can give parts with improved surface finish. It may also lessen the time needed for process planning, since in order to achieve similar accuracy using STL a fine level of discretization must be used in

generating the STL file. This results in a very large file and increases the chances of numerical problems in the triangulation and slicing algorithms.

- CAD systems could take advantage of their proprietary capabilities to optimize the slice algorithm and validate the results. This would avoid the generation of an STL file and the possible need to correct errors in it before transfer to the LM system.
- The data storage requirement of the STL file would be eliminated.
- In most cases, correction of faulty geometry is easier and quicker in sliced data.

The advantages are not intrinsic to the slice format itself, but arise mainly from the drawbacks of triangulated boundary representations (e.g., STL) and the current need to convert into that form from other representations. The initial input to process planning should not be a triangulated boundary representation, but some format more closely related to the original part data, i.e., an exact CAD model or a set of digitized data points. This would obviate the need for a 3D model transfer in cases where slicing is performed directly in a CAD or other external system, but that 3D capability needs to be retained for other cases in the interests of flexibility.

On the basis of the considerations given in this section, we recommend the adoption of an advanced boundary representation of a part as input to process planning for LM. This may be oriented and sliced in the originating CAD system, but a neutral format must be provided for the 3D representation to provide for cases where this is not done. A standard format for slice data is also needed, to allow the transfer of slice representations, either between an originating CAD system and a LM process planning system, or between different LM systems.

In this section we specify the most important requirements for neutral exchange of data in the context of LM. Then, compare the various 3D and slice formats against these requirements. Table 1 show the representations and their formats in LM data.

Table 1. Representations and formats in LM data

Representation	Format
Triangulated boundary	STL, STH, CFL, RPI, IGES
Faceted boundary	CFL, RPI, STEP
Surface	Software specific formats, IGES
Brep solid	Software specific formats, STEP
CSG solid	Software specific formats, RPI, STEP, IGES
Points	No available format yet
Images	No available format yet
Mathematical	No available format yet
Material	IGES,STEP
Surface finish	IGES,STEP
Tolerances	IGES,STEP

3. CONCLUSIONS

Process planning for LM involves several tasks, each having specific data requirements. Various file formats are in use or have been proposed for transferring the necessary data between different stages of LM process planning. A new neutral file format needs to be developed for this purpose because the current *de facto* standard, the STL file, does not allow for the storage of non-boundary data. The STL specification will not be a satisfactory long-term solution in view of the deficiencies.

IGES resources already exist for handling most of the different types of data required for LM process planning, including process parameters, tolerance and surface finish requirements. The 3D shape data can be transferred using the IGES faceted boundary representation (a direct replacement for STL) as advanced Brep solid containing topology information and having general curved surfaces. In addition to 3D models, IGES resources can be used to represent slice contours in terms of polylines, circular arcs, conic segments or free-form parametric curves.

IGES allows the most flexibility in choosing an appropriate representation for the data that needs to be transferred to the process planning system. Both 3D and slice data would be defined within the context of the same standard, which simplifies the standardization procedure. Also, it already has the necessary resources for representing the material, tolerance and process data needed for LM process planning.

4. REFERENCES

1. Barequet, G. and Kaplan, Y., "A data front-end for layered manufacturing", *Computer-Aided Design*, Vol. 30 No. 4, pp. 231-243, 1998.
2. Marsan, A.L., Kumar, V., Dutta, D., Pratt, M.J., "An assessment of data requirements and data transfer formats for layered manufacturing", NISTIR 6216, 1998.
3. Furrans, K.K. "Standards for the rapid prototyping industry", *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 5, No. 4, pp. 169-178, 1999.
4. Kumar, V. and Dutta, D., "An assessment of data formats for layered manufacturing", *Advances in Engineering Software*, Vol. 28, pp. 151-164, 1997.
5. Jacobs, P.F., "Rapid Prototyping and Manufacturing", *Society of Manufacturing Engineers*, 1992.
6. Swaelens, B. and Kruth, J.P., "Medical applications of rapid prototyping techniques", *Proceedings of the Fourth International Conference on Rapid Prototyping*, pp. 107-120, 1993.
7. Burns, M., "Automated Fabrication", Prentice Hall, NJ, 1992.
8. Marsan, A. and Dutta, D., "Construction of a Surface Model and Layered Manufacturing Data From 3D Homogenization Output", *Journal of Mechanical Design*, Vol. 118, No. 3, pp. 412-418, 1996.
9. Bohn, J., "Automatic CAD-Model Repair", Ph.D. thesis, RPI, Troy, Aug. 1993.
10. Fadel, Georges, M. and Kirschman, C., "Accuracy Issues in CAD to RP Translations", *Rapid Prototyping Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 4-17, 1996.
11. Leong, K.F., Chua, C.K. and Ng, Y.M., "A study of stereolithography file errors and repair, Part I. Generic solution", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 12, pp. 407-414, 1996.

12. Leong, K.F., Chua, C.K. and Ng, Y.M., "A study of stereolithography file errors and repair. Part 2. Special cases", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 12, pp. 415-422, 1996.
13. Jurrens, K.K., "An Assessment of the State of the Art in Rapid Prototyping Systems for Mechanical Parts", *National Institute of Standards and Technology* December 1993.
14. Bohn, Jan, H. and Wozny, M.J., "Automatic CAD-model Repair: Shell-Closure", *Solid Free-form Fabrication Symposium 1992*, H. L. Marcus et al., eds. University of Texas, Austin, pp. 86-94, August 1992.
15. Bohn, Jan, H., "Removing Zero-Volume Parts from CAD Models for Layered Manufacturing", *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 15, no. 6, pp. 27-34, November 1995.
16. Makela, I. and Dolenc, A., "Some Efficient Procedures for Correcting Triangulated Models", *Solid Freeform Fabrication Symposium University of Texas, Austin*, pp. 126-134, August 1993.
17. Roek, Stephen, J. and Wozny, Michael, J., "Generating Topological Information from a 'Bucket of Facets'", *Solid Freeform Fabrication Symposium University of Texas*, pp. 251-259, Austin, 1992.
18. Sheng, Xuejun and Meier, Ingo, R., "Generating Topological Structure for Surface Models", *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 15, no. 6, pp. 35-41, November 1995.
19. Miller, John, F., "CAD Requirements for Rapid Prototyping Tutorial", *Rapid Prototyping and Manufacturing '94*, Society of Manufacturing Engineers, Detroit, MI, 1994.
20. STH File Format, Brock Rooney and Associates, Inc., Birmingham, Michigan, USA, 1991.
21. Cubital Facet List (CFL) Guide Version 2.1", *Solider 5600 System DFE Software Installation and Maintenance Guide*. Troy, MI: Cubital, Inc., 1995
22. Wohler, T., "Solid Modelling and Rapid Prototyping", *Handbook of Solid Modelling*, McGraw-Hill Inc., New York, 1995.
23. Wozny, M.J., "Systems issues in solid freeform fabrication", *Proceedings, Solid Freeform Fabrication Symposium*, pp. 1-15, Texas, USA, 3-5 August 1992.
24. Rock, S.J. and Wozny, M.J., "A flexible format for solid freeform fabrication", *Proceedings, Solid Freeform Fabrication Symposium*, pp.1-12, Texas, USA, 12-14 August 1991.
25. Rock, S.J. and Wozny, M.J., "Utilizing Topological Information to Increase Scan Vector Generation Efficiency", *Proceedings, Solid Freeform Fabrication Symposium, University of Texas at Austin*, pp. 28-36, Austin, Texas, USA, August 12-14, 1991,
26. Chandru, V. Manohar, S., "G-WoRP: A geometric workbench for rapid prototyping Manufacturing", *Science and Engineering American Society of Mechanical Engineers, Production Engineering Division*.
27. Brite EuRam, Common layer interface (CLI), Brite EuRam Project BE2578 "RPT - Development and Integration of Rapid Prototyping Techniques for the Automotive Industry", 1994.

28. Krause, F.L., Ulbrich, A., Ciesla, M., Klocke, F. and Wirtz, H., "Improving Rapid Prototyping Processing Speeds by Adaptive Slicing", *Proceedings, Sixth European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing*, Dickens, P.M., ed., pp. 31-36, Nottingham, UK, July 1-3, 1997.

29. Jamieson, R. and Hacker, H., "Direct slicing of CAD models for rapid prototyping", *Rapid Prototyping Journal*, ISATA94, Aachen, Germany, 31 Oct to 4 Nov 1994.

30. *A Data Exchange Format for LM processes. BRITTE-EURAM Project BE-3527-89*, October 1991.

31. Dolenc, A. and Makele, I., "LEAF: A Data Exchange Format for LM Processes", *3rd International Conference on Rapid Prototyping*, pp. 4-12, Dayton, USA, 1992.

32. *The HP-GL Reference Guide - A Handbook for Program Developers*. Hewlett Packard, Addison-Wesley Publishing Company, 1990.

33. *FDM System Documentation, Reference Manual*, Stratasys Inc., 1994.

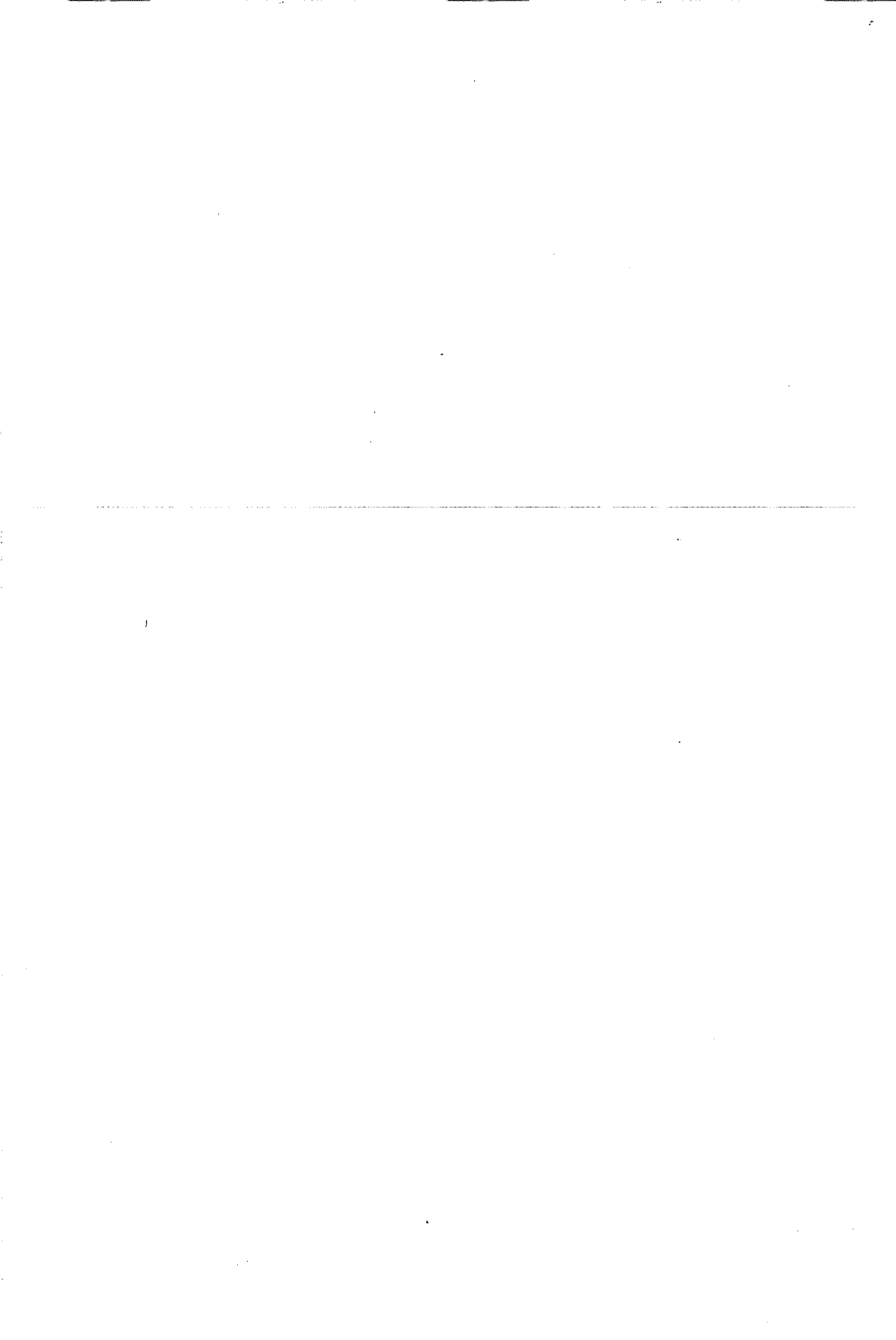
34. Vancraen, W., Swawlwins, B., and Pauwels, Johan, "Contour interfacing in rapid prototyping Tools that make it work", *Proceedings of the Third European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing*, pp. 25-33, 1994.

35. Reed, K., Harrvd, D. and Conroy, W., "Initial Graphics Exchange Specification (IGES), CAD-CAM Data Exchange Technical Centre, 1990.

36. Dutta, D., Kumar, V., Pratt, M. and Sriram, R., "Towards STEP-based data transfer in layered manufacturing", *Tenth International BFIP WG5.2/5.3 Conference (PROLOMAT)*, 1998.

37. Helpenstein, H., Editor, *CAD Geometry Data Exchange Using STEP*, ESPRIT Research Reports, Springer-Verlag, 1993.

38. Gilman, C.R. and Rock, S.J., "The use of STEP to integrate design and solid freeform fabrication", *Rensselaer Polytechnic Institute, New York State Center for Advanced Technology in Automation, Robotics and Manufacturing*, Troy, New York 12180, 1996.



**EFFECTS OF PROCESS PARAMETERS ON THE CARBON PROFILES OF
GAS CARBURIZED AISI 8620 STEEL****Funda KAHRAMAN***M.U., Faculty of Tarsus Technical Education, Tarsus/Türkiye***Serap AKCAN***Ç.U., Department of Industrial Engineering, Adana/Türkiye*

ABSTRACT : *Carburizing has been widely used surface hardening method in the industry. The aim of carburizing parts is to obtain high hardness and strength at the surface and toughness at the core. Gas carburized parts are mostly used in automobiles, tractors and tools machines, etc. This paper describes the results of carburizing achieved in the industrial applications. The effects of process parameters such as time and furnace atmosphere on the carbon profiles of gas carburized AISI 8620 steel are investigated. Surface hardness of directly hardened test specimens and its relation to the surface carbon content have been determined. Micro-hardness tests were carried out to determine the effective hardness depth.*

**GAZ KARBÜRLENMİŞ AISI 8620 ÇELİĞİNİN KARBON PROFİLİNE
PROSES PARAMETRELERİNİN ETKİSİ**

ÖZET : *Karbürleme, endüstride geniş çapta uygulanan yüzey sertleştirme metodudur. Parçaları karbürlemenin amacı yüzeyde yüksek sertlik ve yüksek mukavemet ile çekirdekte tokluk elde etmektir. Gaz karbürlenmiş parçalar, çoğunlukla otomobillerde, traktörlerde ve takım tezgâhlarında, vb. kullanılmaktadır. Bu makale, endüstriyel uygulamalarda elde edilen karbürlemenin sonuçlarını tanımlamaktadır. Gaz karbürlenmiş AISI 8620 çeliğinin, karbon profiline, zaman ve fırın atmosferi gibi proses parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Doğrudan sertleştirilmiş test numunelerinin yüzey sertliği ve yüzey sertliğinin yüzey karbon içeriği ile ilişkisi saptanmıştır. Mikro-sertlik testi, etkin sertlik derinliğini saptamak için yapılmıştır.*

1. INTRODUCTION

Thermo-chemical diffusion processes play an important role in manufacturing technologies. Carburizing is a thermochemical diffusion process with the carbon atoms diffusing as interstitials through the iron matrix creating typical temperature and time dependence diffusion profiles. Gears in the power steering assembly, rocker shaft, worm gears, roller pins in chain drive, reduction gears, transmission gear, spline shaft, bevel gear, bush are some of carburized components [1]. The cross-section of hardness hardened gear teeth as seen in Figure 1 [2]. Through hardening of the gears are not desirable since a hard part lacks the necessary toughness and a small surface crack can propagate rapidly through the part which can cause total failure [3].

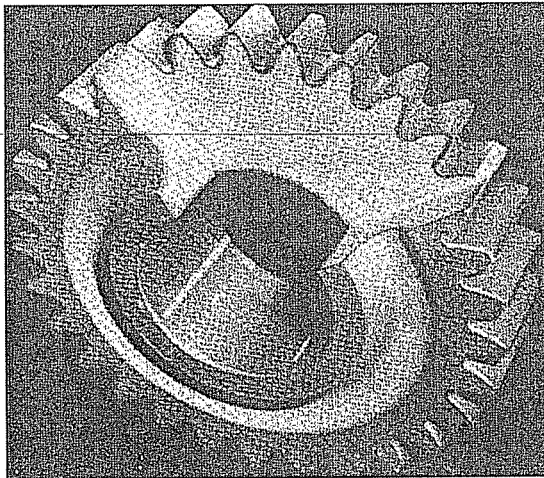


Figure 1. Cross-section of hardness hardened gear teeth (thin dark outline along gear periphery (2))

In practice, the two main sources of carbon are gases and liquids. Gases most commonly used are natural gas or propane or propane/butane mixtures. The carburizing effect of pure endogas is very weak. In order to increase its effect, the furnace atmosphere is enriched with hydrocarbon gases [4]. Endothermic-base atmospheres are prepared by reacting relatively rich mixtures of air and hydrocarbon gas in an externally heated alloy steel chamber in the presence of nickel catalyst. In generating endothermic-base atmospheres, hydrocarbon gas and air are metered in such a proportion that there is sufficient oxygen to form carbon monoxide and hydrogen, without any excess for carbon dioxide and water vapor. In the production of an endothermic-base atmosphere, the control of gas composition is maintained by measurement of dew point and carbon dioxide content [5].

Endogas has various functions; it prevents oxidation of steel parts, if the carbon potential is adjusted to the surface carbon content, it acts as a carrier gas when hardness hardening [6]. The ratio of carrier gas to hydrocarbon gas varies widely in industry. The furnace size and condition, the amount of circulation, and the workpiece surface. In gas

carburising, the carbon transfer from the carbon-containing gas into the work piece surface takes place by gas surface reactions [7]. Using an H₂ and CO containing carrier gas for carburizing makes a potential controlled carburizing possible with the reaction:



Also utilisation of pure hydrocarbon gases, such as methane or propane, is possible. In this hardness, the carbon transfer is a consequence of adsorption of hydrocarbon molecules at the surface and their dissociation according to the overall equations:



where, Fe[C] is dissolved carbon in the austenite phase.

During carburization two process occur simultaneously: Carbon penetrates the steel and increases the carbon content of the surface. There is, however, a simultaneous movement of carbon inwards. As a result of this constant movement of carbon towards the core the surface carbon content cannot. [8]. Received carbon profiles with plasma are identical when using propane as carburizing gas [9].

Carburizing can be applied in two different ways: single level and boost/diffuse control techniques. During single level technique, carbon potential doesn't change. If a hardness depth greater than 0.6 mm is required then carburising with two different carbon potentials can shorten the necessary period of treatment noticeably. During the first half of the carburization period the carbon potential is setted higher than the aspired final value (boost period). In the latter half it is set to the aspired final value (diffusion period) [10].

The last version of gas carburizing is the well known low pressure carburizing process. The main advantages of low pressure carburizing are the inceareded mass transfer resulting in reduced process times, improved layer uniformity, no internal oxidation [11]. Gas carburizing process can be accelerated by adding of rare-earth to processing media, by which has led to the increases carbon activitiy of carburized surface, carbon potential and transfer coefficient of carbon [8].

In this study, the effects of single-level and boost / diffuse control techniques on the carbon profiles of AISI 8620 steel and the effects of time on carbon profiles of samples after gas carburizing in controlled endogas and propane atmosphere at 925 °C were

investigated. Surface hardness of directly hardened test specimens and its relation to the surface carbon content were investigated. After hardness measurement, the studied materials were tempered and then microhardness test was carried out for determining effective hardness depth.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

In this study, carbon profiles in gas carburizing process of test specimens manufactured from commercially available AISI 8620 steels was investigated taking into consideration the carburizing time and atmosphere compositions. Chemical compositions of AISI 8620 steel are given in Table 1. Test specimens were machined to investigate the carburizing ability of different times and atmospheres. The samples were preheated to 400 °C. Preheating process prevents temperature fluctuation during carburizing state. After preheating the specimens transferred into the carburizing furnace with a temperature of 925 °C and hold different time ranges to understand the effect of gas carburizing time on the carbon profiles. The composition of atmosphere was changed in order to investigate the effect of carburizing atmosphere on the carbon profiles. Carburizing atmospheres was regulated by dew point and infrared analyzers. After carburizing samples were cooled in air.

The average carbon concentration in carburized AISI 8620 steel was determined by consecutive cuts method. This method is used most frequently on carburizing profiles of steel to evaluate control of hardness carbon content. During chemical analysis, spectrometer was used. Some of samples then were austenized at 850 °C for 1 hour and quenched in oil. Surface hardness of this samples is measured by Vickers tester. The lengths of diagonals were measured and converted to the Vickers value (HV). After surface hardness measurement, the studied materials were tempered for 1 h at 175 °C to obtain a tough internal structure. To measure the micro-hardness, specimens are embedded in bakalite and prepared. Effective hardness depth to 550 HV was determined. Specimens were etched with nital and then total hardness depth was measured.

Table 1. Chemical composition (wt.%) of AISI 8620 steel

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni
0.17-0.23	0.60-0.90	0.15-0.40	≤0.035	≤ 0.035	0.35-0.65	0.15-0.25	0.40-0.70

3. RESULTS AND DISCUSSION

The effects of single level for 4 hours at 0.10 % CO₂ and boost/diffuse control for 2 hours at 0.10 % CO₂ and then, for 2 hours at 0.20 % CO₂ techniques on the carbon profiles of AISI 8620 after carburizing in an endogas and enriched with propane atmosphere at 925 °C were investigated and the results are seen in Figure 2. Obtained surface carbon content from single level, is higher than that of boost/diffuse control. But obtained total hardness depth from single level is lower than that of boost / diffusion control.

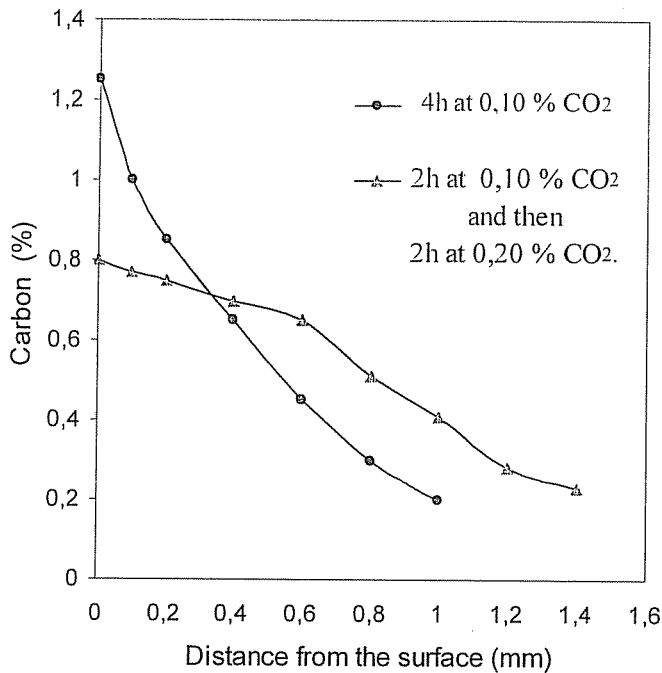


Figure 2. Comparison of the effects of single level and boost/diffuse control techniques on the carbon profiles of gas carburized AISI 8620 steel

The effects of time on carbon profiles of samples after carburizing for 2 hours at 0.20 % CO₂ and for 4 hours at 0.20 % CO₂ atmospheres were investigated. The measured average carbon concentration in AISI 8620 steel as function of carburizing time is illustrated in Figure 3. The experimental data showed that, the average surface carbon concentration increases with increasing carburizing time, as can be seen in Figure 3. Also total hardness depth of the samples carburized for 4 hours at 0.20 % CO₂ is found to be higher than the total hardness depth of the samples carburized for 2 hours at 0.20 % CO₂.

Surface carbon content - surface hardness diagram of hardened samples after gas carburizing process is given in Figure 4. Hardness is obtained directly from Vickers tester. Increase in surface carbon content, increased surface hardness of directly hardened samples, up to 0.8 % C, for degrees higher than 0.8 % C surface hardness decreased, as can be seen in Figure 4. The average surface hardness and core hardness of samples after carburizing for 4 hours at 0.20 % CO₂ and hardening is measured 870 HV, 302 HV, respectively.

Micro-hardness test result of carburized for 4 hours at 0.20 % CO₂, hardened and tempered samples is given in Figure 5. Total hardness depth and effective hardness depth is determined approximately 1.3 mm, 0.9 mm. Surface hardness and core hardness are measured, 740 HV, 295 HV, respectively.

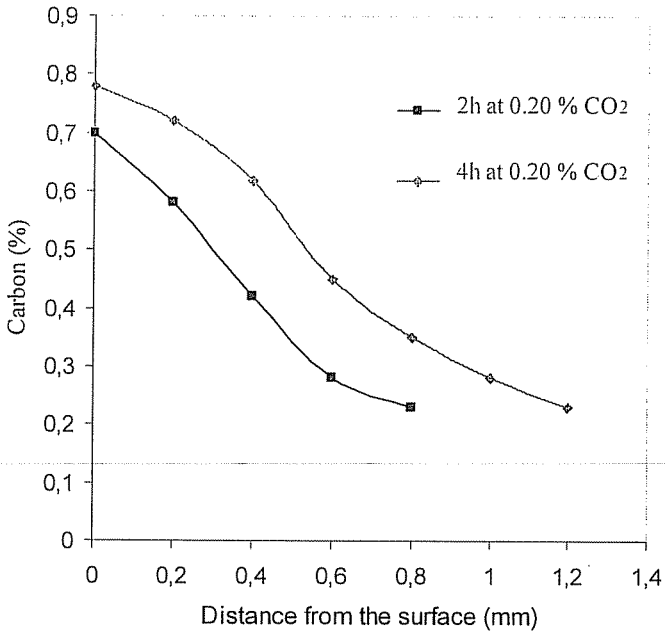


Figure 3. Carbon profiles of samples after different times of gas carburizing at 925 °C

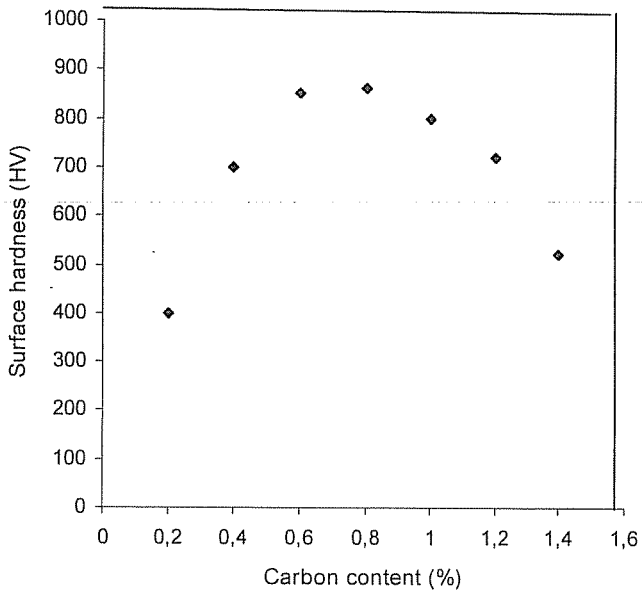


Figure 4. Relation between surface carbon content (%) and surface hardness

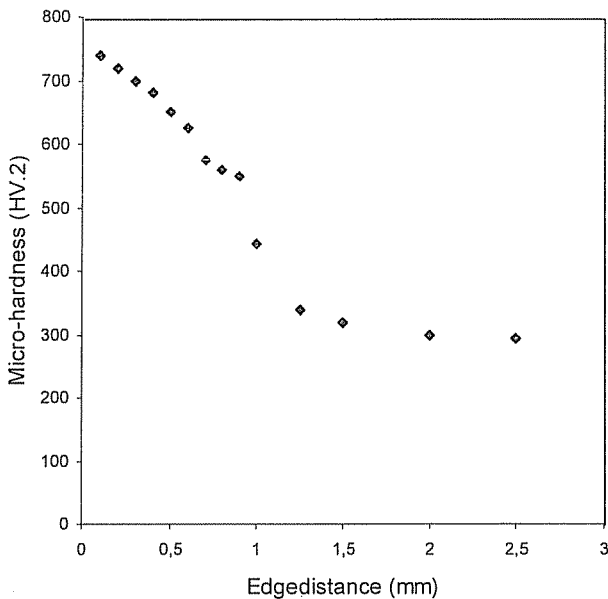


Figure 5. Micro-hardness test result

4. CONCLUSION

- The effects of single level for 4 hours at 0.10 % CO₂ and boost/diffuse control for 2 hours at 0.10 % CO₂ and then, for 2 hours at 0.20 % CO₂ techniques on the carbon profiles of AISI 8620 after carburizing were investigated. Obtained surface carbon content from single level, is higher than that of boost/diffuse control. But obtained total hardness depth from single level is lower than that of boost / diffusion control.

- The effects of time on the carbon profiles of AISI 8620 after carburizing for 2 hours at 0.20 % CO₂ and for 4 hours at 0.20 % CO₂ are investigated. It is concluded that the average surface carbon concentration increases with increasing carburizing time.

Also total hardness depth of the carburized samples for 4 hours at 0.20 % CO₂ is found to be higher than that of the other parts

- Maximum quenched hardness is obtained at about 0.8 % C in examined parts. Increase in surface carbon content, increased surface hardness of directly hardened samples, up to 0.8 % C, for degrees higher than 0.8 % C surface hardness decreased. Too high carbon content leads to lower hardness. The average surface hardness and core hardness of directly hardened samples after carburizing for 4 hours at 0.20 % CO₂ are measured 870 HV, 302 HV, respectively.

- Micro-hardness of test specimens after hardening and tempering is measured. Typically the maximum hardness value is at the surface and decreases below the surface. The average surface hardness and core hardness are found 740 HV and 295 HV, respectively. Total hardness depth and effective hardness depth are obtained approximately 1.3 mm, 0.9 mm, respectively.

5. REFERENCES

1. Palaniradja, K., Alagumurthi, N., Soundararajan, V., "Shape and Size Distortion Study of EN353 Material", *The Turkish J. of Eng. and Environmental Sciences*, 29, 279-284, 2005.
2. Kalpakjian, S., "Manufacturing Engineering and Technology", Adison Wesley, 164-167, New York, 1997.
3. Erdoğan M., Tekeli, S., "The Effect of Martensite Particle Size on Tensile Fracture of Surface Carburised AISI 8620 Steel With Dual Phase Core Microstructure", *Materials and Design*, 23, 597-604, 2002.
4. Grafen, W., Edenhofer, B., "New Developments in Thermo Chemical Diffusion Proceses", *Surface & Coatings Technology*, 200, 1830-1836, 2005.
5. Yan, M.F., Liu, Z.R., "Carburizing Technology in Multi-purpose Furnace with Endothermic Atmosphere", *Heat Treatmant Met.*, 260(4), 3-34, 1999.
6. Nemenyil, R., Bennett, G.H.J., "Controlled Atmospheres for Heat Treatment", Pergamon Press, 1984.
7. Edenhofer, B., Grafen, W., Ziller, J.M., "Plasma Carburizing a Surface Heat Treatment Process for the New Century", *Surface and Coating Technology*, 142-144, 225-234, 2001.
8. Yan, M.F., "Study on Absorption and Transport of Carbon in Steel During Gas Carburizing with Rare- Earth Addition", *Materials Chemistry and Physics*, 70, 242-244, 2001.
9. Dorns, S., "Parameters, Uniformity and Trends in Plasma Carburising", ASM Conference, Cleveland / USA, 1995.
10. Nayak, A., "Experiences in Using the Ipsen Supercarb. Process for Hardness Hardening of Automobile Components in a Pusher Furnace" *Ipsen ON TOP*, 6, 8, 2003.
11. Edenhofer, B., "Advancement in Hardness Hardening Technology for Automotive Components", MTEC-IFHTSE Conference, 27-29, Bangkok/Thailand, 2003.

KİRİŞLERDE VE KOLONLARDA OLUŞAN ÇATLAMALAR GÖZ ÖNÜNDE BULUNDURULARAK BETONARME ÇERÇEVELERİN RİJİT DİYAFRAM MODELİ İLE ÜÇ BOYUTLU ANALİZİ

İ. Fatih KARA ve Cengiz DÜNDAR

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

ÖZET : Bu çalışmada giriş ve kolon elemanlarda oluşan çatlamlar göz önünde bulundurularak betonarme çerçevelerin rijit diyafram modeli ile üç boyutlu analizine yönelik analitik bir yöntem geliştirilmiş ve bu yöntemeye dayalı olarak bir bilgisayar programı oluşturulmuştur. Betonarme yapıya etkiyen yatay ve dikey yüklerden dolayı giriş ve kolon elemanlarının çatlaması halinde etkili atalet momentlerinin hesabında ACI, CEB ve olasılığa dayalı etkili rijitlik modelleri kullanılmıştır. Analizde kayma deformasyonlarının etkisi de göz önünde bulundurulmuş olup etkili kayma modüllerinin hesabında literatürde mevcut olan değişik yöntemler kullanılmıştır. Geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile ilk etapta deneysel çalışması yapılmış yatay ve dikey yükler etkisi altındaki iki katlı bir betonarme çerçeve örneği çözümlenmiş ve elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılmasından oldukça uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Son olarak dört katlı bir betonarme çerçeve örneği geliştirilen bilgisayar program aracılığı ile analiz edilmiş ve diğüm noktalarında elde edilen yatay deplasmanlarla, katların relatif yatay ötelemelerinin lineer analiz sonuçlarına göre büyük bir değişim gösterdiği görülmüştür. Çalışma kapsamında ayrıca betonarme yapıya uygulanan yüklerle bağlı olarak özellikle tasarımda proje mühendisleri için önemli olabilecek, elemanlardaki çatlamların oluşum sırası ve elemanların eğilme rijitliğinde oluşan değişimler de elde edilmiştir.

THREE DIMENSIONAL ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE FRAMES USING RIGID DIAPHRAGM MODEL WITH BEAMS AND COLUMNS IN A CRACKED STATE

ABSTRACT : In this study, a computer program has been developed using rigid diaphragm model for the three dimensional analysis of reinforced concrete frames with beams and columns in cracked state. ACI, CEB and probability-based effective stiffness models are used for the effective moment of inertia of the cracked members. In the analysis, shear deformations are taken into account and reduced shear stiffness is considered by using effective shear modulus models available in the literature. The results of the computer program have been compared with the experimental results of the lateral deflection and found to be in good agreement. Finally a parametric study is carried out on a four story three dimensional reinforced concrete frame subjected to external loads to observe the variations in lateral deflection considering beams and columns in uncracked and cracked states. In the analysis the flexural stiffness reductions of beams and columns with respect to the applied load have also been obtained by the present computer program.

1. GİRİŞ

Betonarme yapıların projelendirilmesinde kesit hesaplarında beton ve çeliğin elastik ötesi davranışlarının göz önüne alınmasına karşın, yapısal analizde lineer elastik hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak betonarme elemanların doğrusal olmayan davranışlarının, özellikle çatlama sonrası eğilme ve kayma rijitliklerinde oluşacak azalmaların göz önüne alınması, hem yapıda oluşacak iç kuvvet dağılımını hem de yer değiştirme değerlerini önemli ölçüde etkileyebilmektedirler. Rijitlikteki azalmaların çatlama ilerlemesine bağlı olarak arttığı da düşünülürse, betonarme bir elemanda çatlama sonrası durum büyük bir öneme sahip olmaktadır.

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

Betonarme yapıların analizinde, elemanlarda oluşan çatlama etkisini göz önünde bulunduran birçok çalışma literatürde mevcuttur (1-3). Chan, Ning et. al., düzlemsel betonarme çerçevelerin analizinde çatlama etkisini göz önünde bulunduran analitik bir yöntem geliştirmişlerdir (4). Çatlama sonrası oluşmasından sonra kiriş ve kolon elemanlarının etkili atalet momentlerinin hesabında olasılığa dayalı etkili rijitlik modelini kullanmış olup analizde kayma deformasyonları etkisini göz önünde bulundurmamışlardır. Çalışmalarında ayrıca yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme çerçeve örneklerini düşey yükler sabit kalmak üzere artan yatay yükler etkisi altında deneysel olarak yüklemeye tabii tutmuşlardır. Geliştirdikleri yöntemde dayalı olarak elde ettikleri sonuçlarla deneysel sonuçların karşılaştırılmasından, özellikle kullanılabilirlik yük düzeyinde çerçevede oluşan yatay deplasmanları, deneysel sonuçlarla uyum içerisinde elde etmişlerdir. Tanrıku, Dünder et. al., kirişlerdeki çatlama sonrası göz önünde bulundurarak betonarme çerçevelerin analizi için analitik bir yöntem geliştirmiş ve bu yöntemde dayalı olarak bir bilgisayar programı oluşturmuşlardır (5). Geliştirdikleri yöntemde formülasyonları rijitlik matrisi yöntemine dayandırarak oluşturmuşlardır. Analizde kayma deformasyonlarının etkisini de hesaba katarak çatlama sonrası elemanların etkili atalet momentlerinin hesabında ACI ve CEB modellerini, etkili kayma modüllerinin hesabında ise literatürde mevcut olan değişik yöntemleri kullanmışlardır. Stafford ve Coull, betonarme çerçevelerin analizinde çatlama sonrası yapının yatay rijitliliğine olan etkisini, kirişlerin atalet momentini çatlama sonrası kesit atalet momentinin %50'si, kolonların atalet momentini de yine aynı şekilde çatlama sonrası kesit atalet momentinin %80'nini alarak göz önünde bulundurmışlardır (6). Bununla birlikte kiriş ve kolonların atalet momentlerini azaltırken yapıya etkiyen yükün tipini,

büyükliğini ve elemanlar içerisinde bulunan donatı oranlarının etkisini göz önünde bulundurmamışlardır.

Bu çalışmada kiriş ve kolon elemanlarda oluşan çatlamlar göz önünde bulundurularak betonarme çerçevelerin rijit diyafram modeli ile üç boyutlu analizi için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Betonarme yapıya etkileyen yatay ve düşey yüklerden dolayı kiriş ve kolon elemanlarının çatlaması halinde etkili atalet momentlerinin hesabında ACI (7), CEB (8) ve olasılığa dayalı etkili rijitlik modelleri kullanılmıştır. Analizde kayma deformasyonlarının etkisi de göz önünde bulundurulmuş olup etkili kayma modüllerinin hesabında literatürde mevcut olan değişik yöntemler kullanılmıştır. Geliştirilen yöntemde formülasyonlar rijitlik matrisi yöntemine dayandırılarak oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında ayrıca betonarme yapıya uygulanan yatay ve düşey yüklere bağlı olarak özellikle tasarımda proje mühendisleri için önemli olabilecek, elemanlardaki çatlamların oluşum sırası ve elemanların eğilme rijitliğinde oluşan değişimler de elde edilmiştir.

2. ANALİZDE KULLANILAN MODELLER

2.1. Etkili Eğilme Rijitliği için Kullanılan Modeller

Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme yapıda kiriş ve kolon elemanlarının çatlaması halinde etkili atalet momenti değerleri ACI, CEB ve olasılığa dayalı etkili rijitlik modelleri ile göz önünde bulundurularak analize dahil edilmişlerdir.

CEB Modeli:

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

$$I_{\text{eff}} = I_1, \quad M < M_{\text{cr}} \quad (1b)$$

ACI Modeli:

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

$$I_{\text{eff}} = I_1, \quad M < M_{\text{cr}} \quad (2b)$$

Bu denklemlerdeki I_1 ve I_2 sırası ile kesitin çatlamadan önceki ve tamamen çatlamış haldeki atalet momenti değerleridir. Yine aynı denklemlerde geçen β_1, β_2 yüklemeye ve donatı özelliklerine bağlı olacak şekilde değişmekte ve yüksek aderanslı donatı çeliği ve ilk yükleme durumlarında bu değerlerin (β_1, β_2) 0.8 olarak alınması CEB tarafından önerilmektedir. Bu eşitliklerde ayrıca deneysel sonuçlarla uyumlu olacak şekilde $m=4$ olarak alınmaktadır.

Olasılığa Dayalı Etkili Rijitlik Modeli:

Betonarme yapıya etkileyen yüklerden dolayı çatlayan kiriş ve kolon elemanların etkili atalet momenti değerleri bu elemanlarda oluşan moment diyagramındaki çatlayan ve çatlamayan bölge alanlarının toplam alana oranına bağlı olacak şekilde (şekil 1) elde

edilerek analize dahil edilmişlerdir. Literatürde olasılığa dayalı etkili rijitlik şeklinde de belirtilen bu yöntemde etkili atalet momentleri (3) denklemlerindeki gibi elde edilmektedir.

$$A_{cr} = A_1 + A_2 + A_3 = \left| \int_{M(x) \geq M_{cr}} M(x) \right| \quad (3a)$$

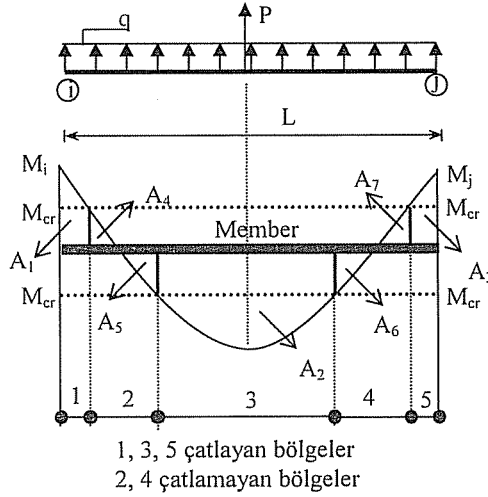
$$A_{uncr} = A_4 + A_5 + A_6 + A_7 = \left| \int_{M(x) < M_{cr}} M(x) \right| \quad (3b)$$

$$A = A_{cr} + A_{uncr} \quad (3c)$$

$$P_{uncr} [M(x) < M_{cr}] = \frac{A_{uncr}}{A} \quad (3d)$$

$$P_{cr} [M(x) \geq M_{cr}] = \frac{A_{cr}}{A} \quad (3e)$$

$$I_{eff} = P_{uncr} I_1 + P_{cr} I_2 \quad (3f)$$



Şekil 1. Yükler etkisi altındaki bir elemanda genel olarak eğilme momentinden dolayı oluşabilecek çatlayan ve çatlamayan bölgeler

(3) denklemlerdeki P_{uncr} bir kiriş veya kolon elemanında oluşan moment dağılımına bağlı olarak M momentinin M_{cr} momentinden küçük olma olasılığını, P_{cr} ise M momentinin M_{cr} momentini aşma olasılığını yani kesitin çatlama olasılığını ifade etmektedir. (1), (2) ve (3) eşitliklerindeki M , ilgili kesitteki eğilme momentini M_{cr} ise çatlama anındaki eğilme momentini ifade etmekte olup,

$$M_{cr} = \frac{(f_r + \sigma_v) I_1}{y_1} \quad (4)$$

şeklinde her iterasyon sonucunda elde edilen eksenel yük düzeyine bağlı olarak değişen formda hesaplanmaktadır. (4) denklemindeki f_t , betonun eğilmedeki çekme dayanımını, y_t kesitin en alt çekme yüzünden ağırlık merkezine olan uzaklığını, σ_v ise eksenel basınç gerilmesini ifade eden değerlerdir.

2.2. Etkili Kayma Rijitliği için Kullanılan Modeller

Elemanların en alt yüzünde oluşan çekme şekil değiştirmesi değerinin, çatlama anındaki çekme şekil değiştirmesi değerini aşması halinde, etkili kayma modülleri literatürde mevcut olan ve aşağıdaki denklemlerde görülen değişik modeller aracılığı ile göz önünde bulundurulurken analize dahil edilmişlerdir.

Cedolin ve Dei Poli Modeli (9):

$$\bar{G}_c = 0.24 G_c (1 - 250 \varepsilon_1), \quad \varepsilon_1 \geq \varepsilon_{cr} \quad (5a)$$

$$\bar{G}_c = G_c, \quad \varepsilon_1 < \varepsilon_{cr} \quad (5b)$$

Al-Mahaidi Modeli (10):

$$\bar{G}_c = \frac{0.4 G_c}{\varepsilon_1 / \varepsilon_{cr}}, \quad \varepsilon_1 \geq \varepsilon_{cr} \quad (6)$$

Yüzügüllü ve Scnoberich Modeli (11):

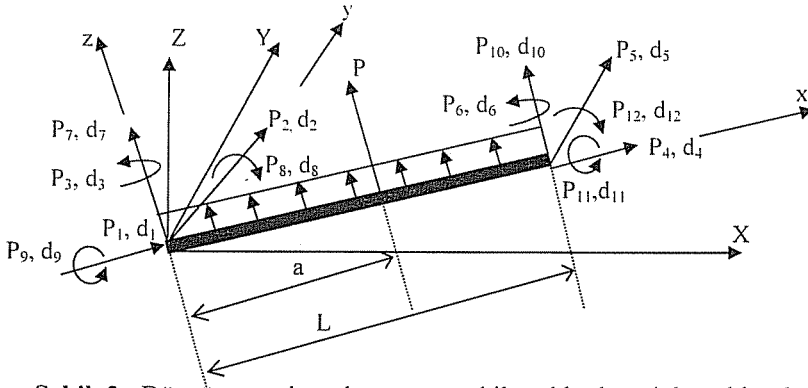
$$\bar{G}_c = 0.25 G_c, \quad \varepsilon_1 \geq \varepsilon_{cr} \quad (7)$$

Bu denklemlerdeki ε_1 ilgili kesitteki çekme şekil değiştirmesi değerini, ε_{cr} çatlama anındaki çekme şekil değiştirmesini ve G_c ise betonun elastik kayma modülünü ifade etmektedirler. Bu çalışmada, üç boyutlu analiz için rijit diyafram modelinin göz önünde bulundurulmasından dolayı kiriş elemanlarda sadece yerel y eksenini doğrultusundaki eğilme momentlerinden dolayı çatlama oluşmaktadır. Bununla birlikte kolonlarda ise yerel y ve z eksenleri doğrultusundaki eğilme momentleri nedeniyle çatlama oluşabileceği göz önünde bulundurulduğundan, etkili atalet momenti denklemlerinde geçen I_{eff} , M_{cr} , M , I_1 , I_2 ve etkili kayma modelleri denklemlerinde geçen ε_1 ve ε_{cr} değerleri, her iki eksene ait eğilme ve kayma ile ilgili değerlerdir.

3. PROBLEMİN FORMÜLASYONU

Betonarme yapıyı oluşturan çerçevelerin çubuk elemanlardan oluştuğu kabul edilmektedir. (x,y,z) çubuk yerel eksen takımını göstermekte olup, çubukların açıklıkları boyunca yerel z eksenini doğrultusunda düzgün yayılı yük ve ara tekil yük etkisi altında olabilecekleri göz önünde bulundurulmuştur (Şekil 2).

Analizde temel denklemlerin oluşturulması için ilk etapta birim yüklemeler uygulanarak eleman esneklik katsayıları elde edilmiş, daha sonra da denge denklemleri ve uygunluk şartlarından yararlanılarak bazı bölgelerinde çatlama oluşabilecek kiriş ve kolon elemanlarının rijitlik matrisi ve yük vektörü değerleri bulunmuştur



Şekil 2. Düzgün yayılı yük ve ara tekil yüklerden dolayı bir elemenda oluşabilecek uç deplasmanları ve bunlara karşılık gelen kuvvetler

Genel olarak üç boyutlu bir eleman için esneklik katsayıları konsol bir kiriş elemanına ilgili yönlere birim kuvvetler uygulanılarak elde edilmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Konsol bir kirişe uygulanan birim kuvvet yönleri

Uygunluk denklemlerinden de faydalanılarak esneklik katsayılarını içeren aşağıdaki denklem matris formunda elde edilmektedir.

$$\begin{bmatrix} f_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f_{22} & f_{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f_{32} & f_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & f_{77} & f_{78} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & f_{87} & f_{88} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & f_{99} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_7 \\ P_8 \\ P_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_7 \\ d_8 \\ d_9 \end{bmatrix} \quad (8)$$

(8) ifadesindeki f_{ij} , j doğrultusunda bir birimlik kuvvet uygulanması sonucu i doğrultusunda oluşan deplasman olup, aşağıdaki denklemden görüldüğü gibi virtüel iş prensibinden yararlanılarak elde edilmektedir.

$$f_{ij} = \int_0^L \left(\frac{M_{zi} M_{zj}}{E_c I_{effz}} + \frac{M_{yi} M_{yj}}{E_c I_{effy}} + \frac{V_{yi} V_{yj}}{G_c A} s + \frac{V_{zi} V_{zj}}{G_c A} s + \frac{M_{bi} M_{bj}}{G_c I_0} + \frac{N_i N_j}{E_c A} \right) dx \quad (9)$$

Bu eşitlikteki M_{zi} , M_{zj} , M_{yi} , M_{yj} , M_{bi} , M_{bj} , V_{zi} , V_{zj} , V_{yi} , V_{yj} , N_i ve N_j değerleri, i ve j doğrultusunda bir birimlik kuvvet uygulanması sonucu oluşan eğilme momenti, burulma momenti, kesme kuvveti ve normal kuvvet değerleridir. Yine aynı denklemdaki A , E_c , s , $\overline{G_c}$ I_0 ve G_c ise, kesit alanı, elastisite modülü, şekil katsayısı, etkili kayma modülü, burulma atalet momenti ve elastik kayma modülü değerleridir.

Betonarme yapıyı oluşturan elemanlar üzerine etkiyen düzgün yayılı yük ve ara tekil yüklerden dolayı oluşan uç kuvvetleri uygunluk şartları ve denge denklemleri kullanılarak aşağıdaki eşitliklerdeki gibi bulunmaktadır.

$$P_{70} = -(f_{88} f_{70} - f_{78} f_{80}) / (f_{77} f_{88} - f_{78} f_{87}) \quad (10a)$$

$$P_{80} = -(f_{77} f_{80} - f_{78} f_{70}) / (f_{77} f_{88} - f_{78} f_{87}) \quad (10b)$$

$$P_{100} = - (q L + P + P_{70}) \quad (10c)$$

$$P_{120} = - (q L^2/2 + P (L-a) + P_{70} L + P_{80}) \quad (10d)$$

$$P_{10} = P_{20} = P_{30} = P_{40} = P_{50} = P_{60} = P_{90} = P_{110} = 0. \quad (10e)$$

Bu denklemlerdeki f_{i0} değerleri dış yüklerden dolayı i doğrultusunda oluşan deplasmanlar olup (11) ifadesindeki gibi virtüel iş prensibinden yararlanılarak hesaplanmaktadır.

$$f_{i0} = \int_0^L \left(\frac{M_{yi} M_0}{E_c I_{effy}} + \frac{V_{zi} V_0}{G_c A} s \right) dx \quad (11)$$

Bu eşitlikteki M_0 ve V_0 değerleri elemanın yerel z eksenı doğrultusundaki dış kuvvetlerden dolayı oluşan eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleridir.

Üç boyutlu bir eleman için (12x12) boyutundaki rijitlik matrisi ise, (8) denklemindeki esneklik katsayılarını içeren matrisin tersi alınarak ve denge denklemleri kullanılarak elde edilmektedir. Eleman rijitlik denklemi sonuç olarak,

$$\underline{k} \underline{d} + \underline{P}_0 = \underline{P} \quad (12)$$

formunda elde edilmektedir. Bu eşitlikteki \underline{k} (12x12), \underline{d} (12x1), \underline{P}_0 (12x1) ve \underline{P} (12x1) değerleri eleman rijitlik matrisi, deplasman vektörü, dış kuvvetlerden dolayı oluşan uç kuvvet vektörü ve sonuç uç kuvvet vektörü değerleridir. Bu değerler eleman eksen takımında (x,y,z) olup, transformasyon matrisi aracılığı ile global eksen takımına (X,Y,Z) çevrilmektedirler.

Yapıyı oluşturan kiriş ve kolon elemanlarının çatlayan ve çatlamayan bölgelere sahip olabileceğinden dolayı (Şekil 1), esneklik katsayılarının elde edilmesinde kullanılan integral değerleri her bölge için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Çatlamayan meydana geldiği bölgelerdeki atalet momenti ve kayma modülü değerlerinin eğilme momentine

bağlı olarak değişimi, yapıdaki iç kuvvetlerin yeniden dağılımını zorunlu kıldığından, analizde iteratif bir yöntem uygulanarak çözüme gidilmiştir.

. Yapıların üç boyutlu analizi için geliştirilen ve bu çalışmada da kullanılan rijit diyafram modelinde, her elemanın deplasmanları master noktası deplasmanları cinsinden yazılarak eleman rijitlik denklemi elde edilmekte, daha sonra ise her elemandan gelen etki ve katkılar göz önünde bulundurularak sistem rijitlik matrisi ve sistem yük vektörü oluşturulmaktadır. Elde edilen sistem denklemi çözülerek sistem deplasmanları ile her elemanın uç kuvvetleri ile uç deplasmanları bulunmaktadırlar. Her iterasyonda işlemler adım adım bu şekilde uygulanarak çözüme ulaşılmaktadır.

4. BİLGİSAYAR PROGRAMI

Betonarme çerçevelerin üç boyutlu analizi için iteratif yöntemle dayalı olarak geliştirilen bilgisayar programı Fortran 77’de yazılmıştır. Analizde her iterasyonda bir önceki iterasyondaki eleman uç kuvveti değerleri kullanılarak çözümlenmelerin yapılmasıyla uç kuvvetleri arasında belirlenen yakınsaklığa ulaşılması zaman alıcı olabilmektedir. Herhangi bir iterasyonda bazı elemanların rijitliğindeki büyük azalmalar, bu elemanlara daha az iç kuvvet transferine ve buna bağlı olarak diğer iterasyonda rijitliklerinin aşırı ölçüde artmasına neden olabilmektedir. Rijitlikteki bu artış bu elemanlara daha fazla iç kuvvet aktarımına ve buna bağlı olarak tekrar rijitliğinde ani azalmalara neden olabilmektedir. Rijitlikteki bu dalgalanmalar artan iterasyonlarla önlenmediği takdirde sonuca ulaşmak zaman alıcı olabilmektedir. Bu nedenden dolayı geliştirilen yöntemde her iterasyonda o iterasyondan önceki uç kuvveti değerlerinin ortalaması kullanılarak kiriş ve kolon elemanlarının çatlayan ve çatlamayan bölgeleri belirlenmekte ve bu bölgeler göz önünde bulundurularak elemanların esneklik katsayıları ile rijitlik matrisi ve yük vektörleri elde edilerek çözümlenmeler yapılmaktadır. Geliştirilen programda,

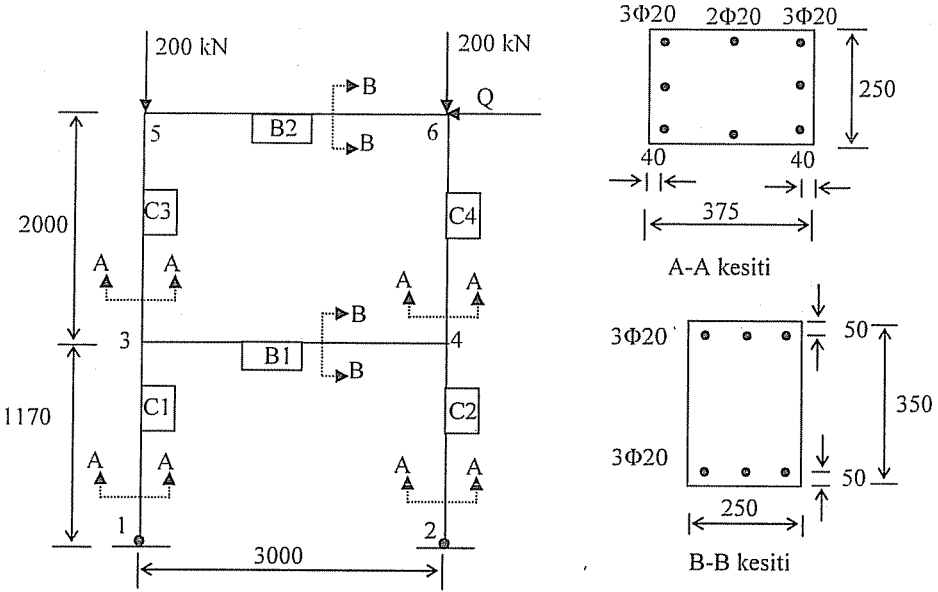
$$\left| \frac{P_i^n - P_i^{n-1}}{P_i^n} \right| \leq \varepsilon \quad (13)$$

şeklinde bir yakınsaklık kriteri kullanılmıştır. Bu denklemdeki ε yakınsaklık kriterini, n iterasyon numarasını, P_i^n ve P_i^{n-1} n . ve $(n-1)$. iterasyonlarda elemanda oluşan uç kuvveti değerleridir. Bilgisayar programına veri girişi “genel bilgiler”, “eleman özellikleri”, “mesnet şartları”, “koordinatlar” ve “yükler” olmak üzere beş data bloğundan oluşan ve herhangi bir editör yazılımı ile hazırlanabilen data dosyasından yapılabilmektedir.

5. SAYISAL UYGULAMALAR

5.1. Deneysel Çalışması Yapılmış Betonarme Çerçeve Örneği

Chan ve ark. tarafından gerek deneysel çalışması yapılmış gerekse geliştirdikleri modeller aracılığı ile çözülen bu örnek yatay ve düşey yükler etkisi altındaki iki katlı betonarme çerçeveden oluşmaktadır. Betonarme çerçeve altı elemandan oluşacak şekilde modellenmiş olup gerek yapıya gerekse elemanlara ait özellikler Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki iki katlı betonarme çerçeve örneği (mm)

Örnekte yapıya etkiyen aksel yükler sabit kalmak üzere yatay yükler (Q) betonarme çerçeve taşıma gücüne erişinceye kadar artırılarak, 6 numaralı düğümde oluşan yatay deplasmanlar elde edilmiştir. Analizde etkili atalet momentlerinin hesabında ACI modeli, etkili kayma modüllünün hesabında ise Al-Mahaidi'nin önermiş olduğu yöntem kullanılmıştır. Betonun elastisite modülü ve eğilmedeki çekme dayanımlarının elde edilebilmesi için ACI tarafından aşağıda verilen denklemler kullanılmıştır.

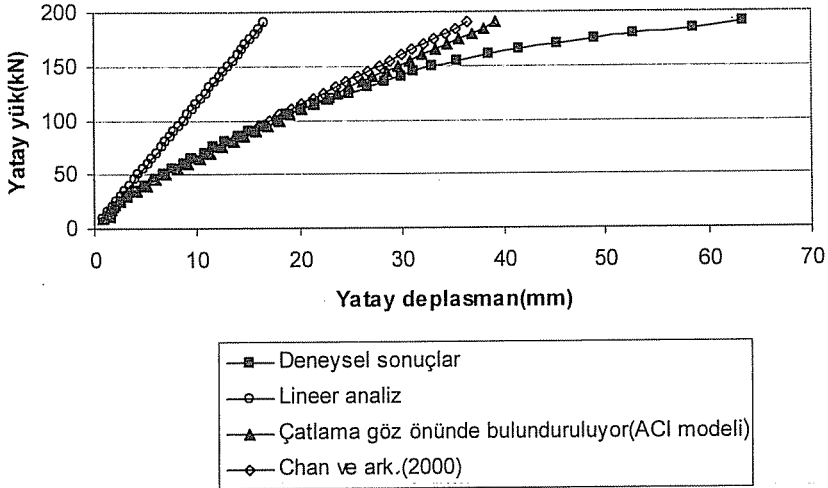
$$f_{ctf} = 0.62 \sqrt{f_c} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (14)$$

$$E_c = 4730 \sqrt{f_c} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (15)$$

Bu denklemlerdeki f_c ve f_{ctf} değerleri betonun karakteristik basınç dayanımı ve eğilmedeki çekme dayanımı değerleridir.

Bu çalışmada geliştirilen analitik yöntemle ilgili olarak betonarme çerçevenin 6 numaralı düğümünde elde edilen yatay deplasmanların gerek lineer elastik analiz, gerekse diğer analitik model ve deneysel çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılması Şekil 5'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi lineer analiz sonucu elde edilen yatay deplasman değeri ile gerek deneysel gerekse bu çalışmada elde edilen değerler arasında, çerçeveye uygulanan yatay yükün artmasına bağlı olarak büyük farklılıklar olduğu görülmektedir. Betonarme çerçeveye uygulanan yatay yükün çerçevenin taşıma gücü yükünün %70'ine ulaştığı anda (130 kN) lineer analiz sonucu elde edilen yatay

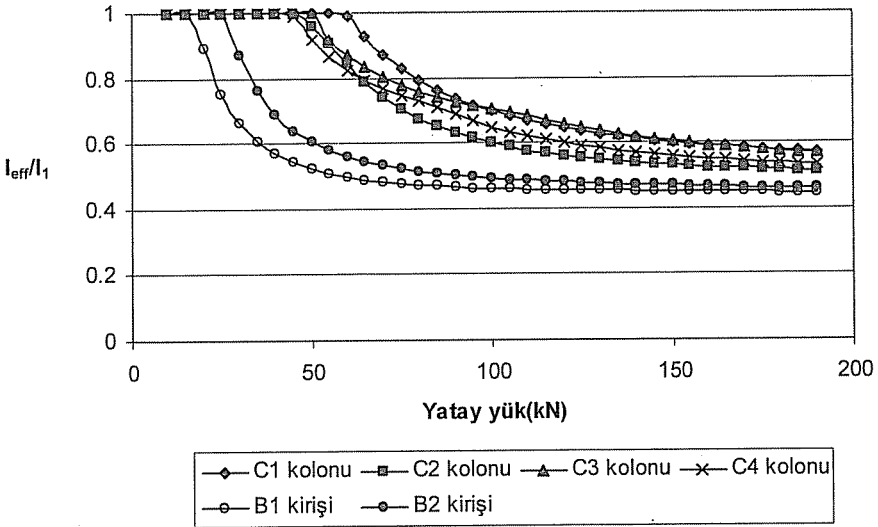
deplasmanlar deneysel olarak elde edilen değerin %41'ine eşit olmaktadır. Aynı yatay yük düzeyinde bu çalışmada elde edilen deplasman değeri ise deneysel olarak elde edilen değerin %92'sine karşılık gelmektedir. Yatay yükün betonarme çerçevenin taşıma gücü yükünün %50'sine eşit olduğu düzeyde ise lineer analiz sonucu elde edilen yatay deplasmanlar deneysel olarak elde edilen değerin %51'ine karşılık gelirken bu çalışmada elde edilen deplasman değeri ile deneysel olarak elde edilen değer yaklaşık olarak birbirine eşit olmaktadır. Elde edilen bu sonuçlara bağlı olarak kullanılabilirlik yük düzeyinde bile betonarme elemanların çok düşük yük düzeyinde çatlamasından dolayı eğilme ve kayma rijitliklerinde oluşan azalmalar nedeniyle lineer elastik modelin ne kadar yanlış sonuçlar verdiği açıkça görülmektedir. Bununla birlikte bu çalışmada geliştirilen analitik yöntem deplasman değerlerini çerçevenin taşıma gücü yükünün yaklaşık olarak %78'ine kadar (150 kN) deneysel sonuçlarla büyük bir yakınlık içerisinde elde etmektedir. Bu yük düzeyinden sonra bu çalışmada elde edilen sonuçlarla deneysel sonuçlar arasında büyük bir farklılık olduğu görülmüştür.



Şekil 5. Deneysel ve analitik çalışma sonuçlarından elde edilen yatay deplasmanların karşılaştırılması

Betonarme çerçeveye uygulanan yatay yükün artmasına bağlı olarak elemanlardaki çatlama oluşum sırası ve elemanların eğilme rijitliğinde oluşan değişimler analizde etkili atalet momentlerinin hesabında olasılığa dayalı etkili rijitlik modeli göz önünde bulundurularak elde edilmiş ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi betonarme çerçeveye uygulanan yatay yükün çerçevenin taşıma gücü yükünün %50'sine ulaştığı anda birinci ve ikinci kattaki kirişlerin atalet momentleri çatlamamış kesit atalet momentleri değerlerinin sırası ile %46 ve %51'ine eşit olurken, ikinci kattaki C3 ve C4 kolonlarının atalet momentleri çatlamamış kesit atalet momentlerinin %71 ve

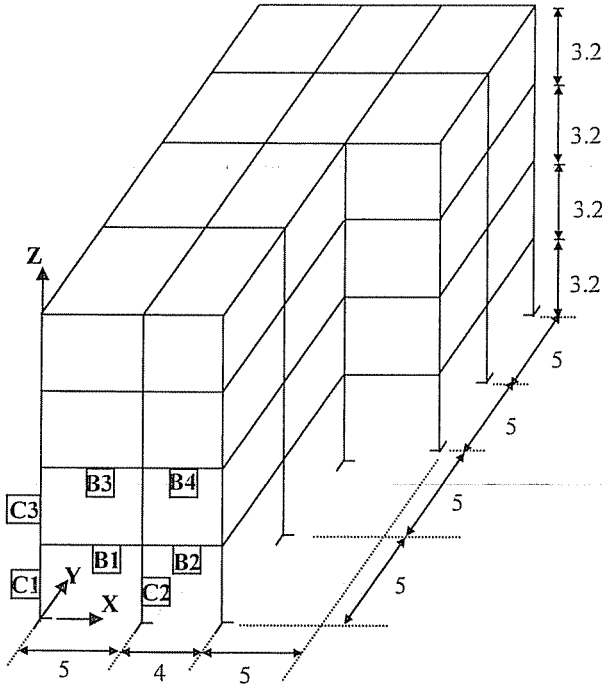
%67'sine eşit olmaktadır. Aynı şekilde birinci kattaki C1 ve C2 kolonlarının atalet momenti değerleri ise çatlama kesit atalet momenti değerlerinin %72 ve %61'ine karşılık gelmektedir. Bununla birlikte yatay yük çerçevenin taşıma gücü yükünün %78'ine ulaştığı anda C1, C2, C3 ve C4 kolonlarının etkili atalet momenti değerleri çatlama kesit atalet momenti değerlerinin sırası ile %60, %53, %60 ve %55'ine eşit olurken, birinci ve ikinci kattaki kirişlerin atalet momenti değerleri çatlama kesit atalet momenti değerlerinin %45 ve %46'sına karşılık gelmektedir. Elde edilen bu sonuçlara göre betonarme çerçevelerde çatlama etkisinin analizlerde, kirişlerin atalet momentinin çatlama kesit atalet momentinin %50'si, kolonların atalet momentlerinin çatlama kesit atalet momentlerinin %80'i alınarak yatay deplasmanların elde edilmesi (6) her zaman emniyetli yönde kalan bir yöntem olmadığı görülmektedir.



Şekil 6. Kiriş ve kolonların etkili atalet momentlerinin yatay yüke göre değişimi

5.2. Üç Boyutlu Betonarme Çerçeve Örneği

Bu örnekte yatay ve düşey yükler etkisi altındaki dört katlı betonarme çerçeve bu çalışmada geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile analiz edilmiştir (Şekil 7). Üç boyutlu betonarme yapıya her katta kirişler üzerinde bulunan düşey yükler ve master noktalarına da yatay yükler etkimektedirler. Betonarme çerçevenin elemanlarına ait özellikler ve yüklemeye ait bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir. Analizde etkili atalet momentlerinin hesabında ACI ve olasılığa dayalı etkili rijitlik modeli, etkili kayma modüllerinin hesabında ise Al-Mahaidinin önermiş olduğu yöntem kullanılmıştır.

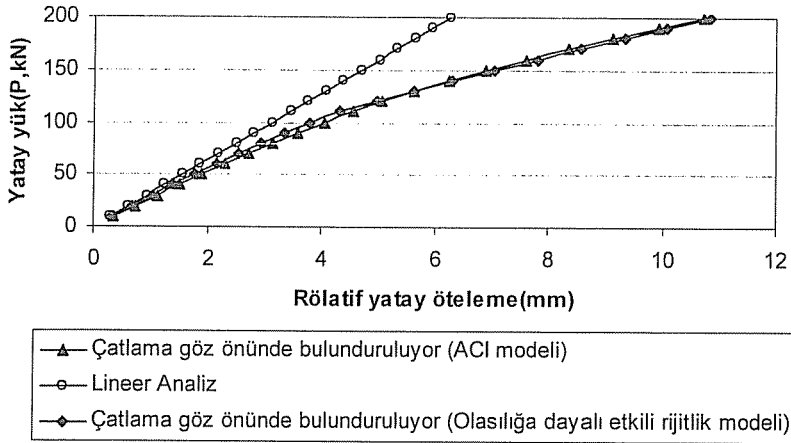


Şekil 7. Dört katlı betonarme çerçeve örneği (m)

Çizelge 1. Betonarme çerçeve örneği ile ilgili gerekli bilgiler

	1. Kat	2. Kat	3. Kat	4. Kat
Kiriş boyutları	300*500 mm	300*500 mm	300*500 mm	300*500 mm
Kolon boyutları	500*500 mm	500*500 mm	500*500 mm	500*500 mm
Düzensiz yayılı yük (kN/m)	q	q	q	0.8*q
Master noktalarına etkiyen yatay yükler	P	2P	3P	2.5*P

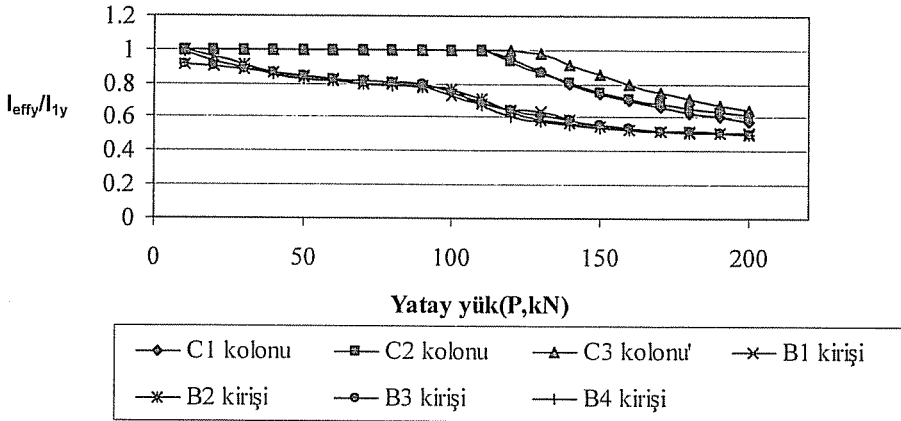
Betonarme çerçeve, her katta kirişler üzerinde bulunan ($q=30$ kN/m) düşey yükler sabit kalırken master noktalarına etkiyen ve P'ye bağlı olarak ifade edilen yatay yükler başlangıçtan 200 kN'a kadar artırılarak çözümlenmiştir. Çatlamaların etkisinin analizde göz önünde bulundurulması ve bulundurulmaması durumlarında betonarme yapının ikinci katında oluşan maksimum rölatif yatay ötelemelerinin yatay yüke göre değişimi Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Lineer analiz ve çatlama göz önünde bulundurulması elde edilen rölatif yatay ötelemelerin karşılaştırılması

Şekilden betonarme yapıya uygulanan yükün artmasına bağlı olarak çatlama göz önünde bulundurulması elde edilen değerlerle lineer analiz sonucu elde edilen değerler arasındaki farkın arttığı görülmektedir. Betonarme çerçeveye uygulanan yatay yükün $P=200$ kN olduğu düzeyde bu farkın %70'e ulaştığı görülmüştür.

Betonarme yapıya uygulanan yatay yükün artmasına bağlı olarak değişik elemanların eğilme rijitliğinde oluşan değişimler Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi kirişlerinin atalet momentlerinin çatlama göz önünde bulundurulmuş kesit atalet momentlerinin %50'sine eşit olduğu anda birinci kattaki C1 ve C2 kolonlarının atalet momentleri çatlama göz önünde bulundurulmuş kesit atalet momentlerinin %57-61'ine eşit olmaktadır.



Şekil 9. Kiriş ve kolonların etkili atalet momentlerinin yatay yüke göre değişimi

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada kiriş ve kolon elemanlarda oluşan çatlamlar göz önünde bulundurularak çok katlı betonarme çerçevelerin üç boyutlu analizine yönelik analitik bir yöntem geliştirilmiş ve bu yöntemle dayalı bir bilgisayar programı oluşturulmuştur. Geliştirilen yöntemin doğruluğunu ve uygulanabilirliğini belirlemek amacıyla literatürde mevcut olan ve deneysel çalışmaları yapılmış yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme çerçeve örnekleri geliştirilen bilgisayar programı aracılığıyla çözümlenmiş ve elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Betonarme çerçeveye uygulanan yatay yükün çerçeve taşıma gücü yükünün yaklaşık olarak %78 olduğu düzeye kadar bu çalışmada elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla büyük bir yakınlık içerisinde olduğu görülmüştür. Betonarme çerçeveye uygulanan yükün bu düzeyinden sonra özellikle taşıma gücü yüküne yaklaşıldıkça, bu çalışmada elde edilen sonuçlarla deneysel sonuçlar arasında büyük farklılıkların oluştuğu görülmüştür. Bu farklılığın oluşmasının en büyük nedenleri ise, kullanılabilirlik yük düzeyinden sonra taşıma gücü yüküne de yaklaşıldıkça beton ve çelik malzemelerin lineer olmayan davranışlarının daha etkin hale gelmesi ve kiriş ve kolon uçlarında plastik mafsalların oluşmasıyla birlikte düğüm noktaları civarında büyük deplasmanların meydana gelmesi şeklinde açıklanabilir. Bu çalışmada geliştirilen yöntemin en önemli avantajı betonarme yapı içerisindeki kiriş ve kolon elemanlarının eğilme rijitliğindeki değişimleri yapıya uygulanan yüke bağlı olarak elde edebilmesidir. Geliştirilen yöntemin bu özelliği ile, yapıya uygulanan yüklere bağlı olarak elemanlardaki çatlamların oluşum sırası ve çatlamlardan sonra elemanların eğilme rijitliğinde oluşan değişimlerle ilgili belirsizlikleri minimum düzeye indirgenmekte ve proje mühendislerine önemli bilgiler vermektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre çok katlı betonarme çerçevelerin tasarımında, çatlamların etkisini göz önünde bulundurmak için kirişlerin atalet momentini çatlama kesit atalet momentinin %50'si, kolonların atalet momentini de çatlama kesit atalet momentlerinin %80'i alınarak yatay deplasmanların elde edilmesi her zaman emniyetli yönde kalan bir analiz yöntemi olmadığı görülmektedir.

7. KAYNAKLAR

1. Cosenza, E., "Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Elements In a Cracked State", *Computers & Structures*, 36(1), 71-79, 1990.
2. Massicotte, B., Elwi, A.E. and MacGregor, J.G., "Tension-stiffening model for planar reinforced concrete members", *J. Struct. Eng. ASCE*, 116(11) 3039-3058, 1990.
3. Channakeshava, C. and Sundara Raja Iyengar, K.T., "Elasto-plastic cracking analysis of reinforced concrete", *J. Struct. Engrg. ASCE*; 114 2421-2438, 1988.
4. Chan, C.M., Ning, F. and Mickleborough, N.C., "Lateral stiffness characteristics of tall reinforced concrete buildings under service loads", *J. Struct. Design Tall Build*, 9 365-383, 2000.
5. Tanrikulu, A.K., Dundar, C., Cagatay, I.H., "A Computer program for the analysis of reinforced concrete frames with cracked beam elements", *Structural Engineering and Mechanics*, 10(5) 463-478, 2000.
6. Stafford Smith, B. and Coull, A., "Tall building structures: Analysis and design", Wiley, New York, 1991.

7. ACI-318-95, *Building code requirements for reinforced concrete (ACI 318-95)*, Michigan, 1995.

8. Comite Euro-International du Beton, "Manual on Cracking and Deformation", *Bulletin d'Information*, No.158-E, 1985.

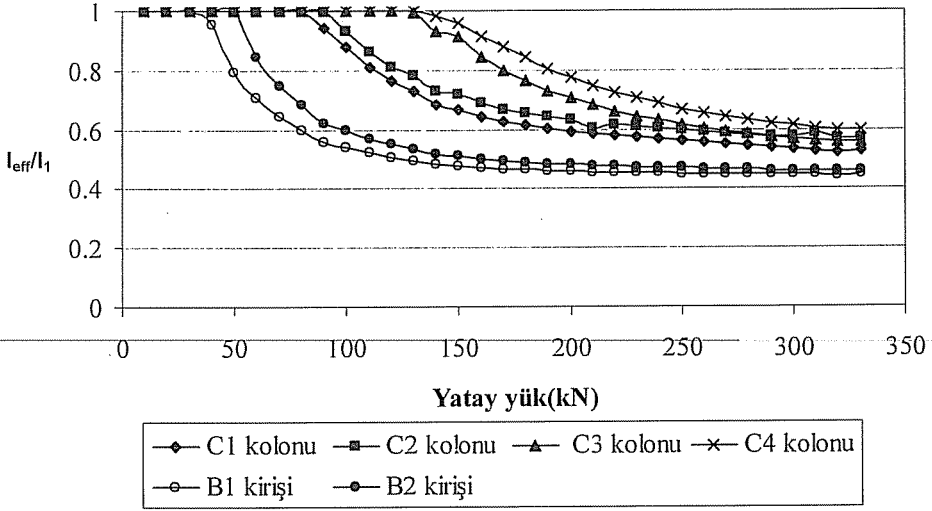
9. Codelin,L., Dei Poli,S., "Finite Element Studies of Shear Critical Reinforced Concrete Beams", *J. Engineering Mech. Div., ASCE, (EM3)*, 1977.

10. Al-Mahaidi,R.S.H., "Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Deep Members", *Department of Struc. Engrg., Cornell Universty, Report No. 79-1*, 1978.

11. Yüzügüllü,O., Schnobrich,W.C., "A Numerical Procedure for the Determination of the Behaviour of a Shear Wall Frame System", *ACI J.*, 70(7), 474-479. 1973.

12. Dündar,C., Kara,İ.F., Tanrıkuşu,A.K., "Kirişlerdeki Çatlama Göz Önüne Alınarak Çerçevelerin Üç Boyutlu Analizi", *Türkiye İnşaat Mühendisliği XVI. Teknik Kongre ve Sergisi, Böl. 8*, 2001.

Betonarme çerçeveye uygulanan yatay yükün artmasına bağlı olarak elemanlardaki çatlama oluşum sırası ve elemanların eğilme rijitliğinde oluşan değişimler elde edilerek Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Kiriş ve kolonların etkili atalet momentlerinin yatay yüke göre değişimi

Şekilden görüldüğü gibi ilk olarak çerçevenin birinci ve ikinci katındaki kirişler daha sonra ise çerçevenin birinci katındaki C1 ve C2 kolonları çatlama olmaktadır. En son olarak yapının ikinci kattaki C3 ve C4 kolonlarında çatlama oluşmaktadır. Yatay yük çerçevenin taşıma gücü yükünün %82'sine ulaştığı anda C1, C2, C3 ve C4 kolonlarının atalet momentleri değerleri çatlama kesit atalet momentleri değerlerinin sırası ile %54, %56, %59 ve %64'üne eşit olurken, birinci ve ikinci kattaki kirişlerin atalet momentleri değerleri çatlama kesit atalet momentleri değerlerinin %44 ve %46'üne karşılık gelmektedir.

5.2. Üç Boyutlu Betonarme Çerçeve Üzerinde Parametrik Bir Çalışma

Bu örnekte yatay ve düşey yükler etkisi altındaki dört katlı betonarme çerçeve örneği geometrik nonlineerlik ve çatlama etkisi göz önünde bulundurularak geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile analiz edilmiştir (Şekil 7). Betonarme çerçevenin elemanlarına ait özellikler ve yüklemeye ait bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir.

ÇATLAMALAR VE İKİNCİ MERTEBE ETKİLER GÖZ ÖNÜNDE BULUNDURULARAK BETONARME ÇERÇEVELERİN ÜÇ BOYUTLU ANALİZİ

İlker Fatih KARA ve Cengiz DÜNDAR,
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : *Bu çalışmada kiriş ve kolon elemanlarda oluşan çatlamlar göz önünde bulundurularak betonarme çerçevelerin üç boyutlu analizi için iteratif yönteme dayalı bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Analizde, eğilme momentleri ve eksenel kuvvetlerin birbirlerinin rijitliklerini etkilemeleri ve düğüm noktalarının yüklemeye esasına göre değişmesi nedeniyle oluşan ikinci mertebeye etkiler de göz önünde bulundurulmuştur. Betonarme yapıya etkileyen yatay ve düşey yüklerden dolayı kiriş ve kolon elemanlarının çatlaması halinde etkili atalet momenti değerleri olasılığa dayalı etkili rijitlik modeli ile elde edilmiştir. Geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile ilk etapta deneysel çalışması yapılmış yatay ve düşey yükler etkisi altındaki iki katlı bir betonarme çerçeve örneği çözümlenmiş ve elde edilen düğüm deplasmanlarının deneysel sonuçlarla karşılaştırılmasından uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca elemanların etkili atalet momentlerinin yatay yükün artmasına bağlı olarak nasıl bir değişim gösterdiği de görülmeye çalışılmıştır. Son olarak yatay ve düşey yükler etkisi altındaki dört katlı bir betonarme çerçeve örneği geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile çözümlenmiş ve elde edilen sonuçlar irdelenmeye çalışılmıştır.*

Anahtar sözcükler: *Betonarme çerçeveler, etkili atalet momenti, rölatif yatay öteleme, çatlamlar, ikinci mertebeye etkiler.*

THREE DIMENSIONAL ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES CONSIDERING THE CRACKING AND SECOND ORDER EFFECT

ABSTRACT : *In the present study, a computer program based on an iterative procedure has been developed for the three dimensional analysis of reinforced concrete frames with cracked beam and column elements. In the analysis the geometric nonlinearity (second order effect) due to the interaction of axial force and bending moment and the displacements of joints are also taken into account. Probability-based effective stiffness model is used for the effective flexural stiffness of a cracked member. The flexural stiffness reductions of beams and columns with respect to the applied load can also be obtained by the present computer program. The results of the computer program have been compared with the experimental results of the lateral deflection. Finally, a parametric study is carried out on a four story three dimensional reinforced concrete building subjected to external loads to observe the variations in lateral deformations considering beams and columns in uncracked and cracked states.*

1. GİRİŞ

Betonarme taşıyıcı sistemlerin, yatay ve düşey yükler etkisi altındaki yapısal analizi, malzeme davranışının doğrusal elastik olduğu kabulüne dayanan hesap yöntemleri ile yapılmasına karşın, kesit hesaplarında beton ve çeliğin elastik ötesi davranışları göz önüne alınmaktadır. Betonun çekme dayanımının düşük olması nedeniyle betonarme elemanlarda çatlama kaçınılmaz bir olay olup açıklık boyunca büyük değişimler gösterebilmektedir. Çatlama etkisi de hesaba katılarak, betonarmenin gerçek özelliği olan doğrusal olmayan davranışlarının dikkate alınmasıyla, yapıda oluşacak iç kuvvet ve yer değiştirme değerleri lineer analiz sonuçlarına göre önemli değişimler gösterebilmektedir. Bu değişime neden olan en büyük etken ise çatlama sonrası elemanların açıklıkları boyunca büyük değişiklik gösteren eğilme rijitlikleri değerleridir.

Betonarme yapıların projelendirilmesindeki temel amaç, yapıya etkileyen yükler neticesinde kesitte oluşan zorlamaların güvenli bir şekilde karşılanmasıyla birlikte, kullanılan yükleri altında elemanların fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için şekil değiştirme ve dolayısıyla yer değiştirmelerin küçük kalması ve belli değerleri aşmamasıdır. Bu amaçla düşey yükler etkisi altında bulunan kirişlerde oluşan çökmelerin gerçeğe daha yakın olarak hesaplanabilmesi için çatlama sonrası bu elemanların eğilme rijitliklerinde oluşan değişimler önemli olmaktadır. Yapılar düşey yükler yanında deprem ve rüzgâr etkisi nedeniyle oluşan yatay yüklere de maruzdurlar. Bu yüklerden dolayı gerek yapıda meydana gelen yatay yer değiştirmelerin, gerekse ikinci mertebeli momentlerinin hesaplanmasında kolonlarda çatlama sonrası oluşacak etkili eğilme rijitlikleri de önem kazanmaktadır. Bu değerleri uygun yöntemlerle birleştirilerek yapılan analizler, çatlama göz önünde bulundurmadan geliştirilen lineer analiz yöntemlerine göre daha gerçekçi sonuçlar ortaya çıkarabilir.

Yapı sistemleri yapıya uygulanan yüklerin çok düşük olduğu düzeylerde lineer yakın bir davranış göstermelerine karşın, yükler ve deformasyonlar yeterince arttığında eğilme momentleri ve eksenel kuvvetlerin birbirlerinin rijitliklerini etkilemeleri ve düğüm noktalarının yüklemeye esasına göre değişmesi nedeniyle oluşan ikinci mertebeli etkilerden dolayı lineer olmayan bir davranış göstermektedirler. Yapıların lineer elastik analizinde, yapı elemanlarının rijitlik ve esnekliklerinin sabit olduğu kabul edilmekte ve yük deplasman ilişkisi doğrusal bir davranış göstermektedir. Gerçekte, bir yapısal eleman üzerine etkileyen eksenel kuvvet elemanın rijitlik matrisini ve dolayısıyla esneklik matrisini değiştirmektedir. Bu olay ikinci mertebeli etkilerinin, yani denge denklemlerinin şekil değiştirmemiş sistem üzerinde değil, şekil değiştirmiş sistem üzerinde yazılması gereğinden ortaya çıkmaktadır. Çoğu kez düşük yüklemeye kademelerinde yapısal deplasmanların yapının boyutlarına kıyasla çok küçük olmaları nedeniyle, denge denklemlerinin şekil değiştirmemiş sistem üzerinde yazılması büyük hatalara neden olmamaktadır. Yapıya uygulanan yük seviyesi arttıkça çatlama etkisiyle de yapıda oluşan deplasmanlar artmakta ve yapının yer değiştirmiş düğümlerine uygulanan yükler de ilave momentler doğmasına neden olmaktadır. Oluşan bu momentler yapının çubuk kuvvetlerini ve kritik yükünü etkilemektedir. Bu nedenlerden dolayı ikinci mertebeli etkilerin, bir diğer ifadeyle geometrik nonlineerlik etkilerin analizlerde göz önünde bulundurulması sonuçların daha gerçekçi bir şekilde elde edilmesi açısından oldukça önemli olmaktadır.

Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme yapılarda lineer olmayan bu etkileri içeren çalışmalar literatürde mevcuttur (1, 2). Chan, Ning et. al., yatay ve düşey yükler etkisi altındaki düzlemsel betonarme yapılarda çatlamların etkisini olasılığa dayalı etkili rijitlik modeli aracılığı ile göz önünde bulundurarak iteratif yöntemle dayalı bir analiz algoritması geliştirmişlerdir (3). Çalışmalarında ayrıca iki katlı yatay ve eksenel yükler etkisi altındaki betonarme bir çerçeveyi deneysel olarak yüklemeye tabi tutmuşlardır. Geliştirdikleri analiz yöntemlerinden elde edilen sonuçlarla deneysel sonuçları karşılaştırmışlar ve özellikle yüklerin servis yüklerini aşmadığı durumlarda uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir. El-Metwally ve Chen çalışmalarında yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme çerçevelerde geometrik nonlineerlik ve malzeme nonlineerliği ile birlikte düğümlerin lineer olmayan davranışlarını göz önünde bulunduran analitik bir yöntem geliştirmişlerdir (4). Analizde betonun lineer olmayan gerilme birim deformasyon ilişkisi için Soliman tarafından önerilen model göz önünde bulundurulmuş olup kayma deformasyonları etkisi ihmal edilmiştir (5). Malzeme nonlineerliğinin betonarme yapıların davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve yatay yükler etkisi altındaki betonarme çerçevelerde geometrik nonlineerlik etkilerinin de çerçevede oluşan deplasmanlar ve çerçevenin davranışı üzerinde önemli olabileceği sonucuna varmışlardır.

Bu çalışmada kiriş ve kolon elemanlarda oluşan çatlamların etkisiyle birlikte ikinci mertebe etkiler de göz önünde bulundurularak betonarme çerçevelerin üç boyutlu analizi için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Analizde, eksenel kuvvet ve eğilme momentlerinin birbirlerinin rijitliklerini etkilemesi ve düğüm noktalarının yüklenme esasına göre değişmesi nedeniyle oluşan ikinci mertebe etkiler de göz önünde bulundurulmuş olup çatlamlardan sonra elemanların etkili atalet momentlerinin hesabında olasılığa dayalı etkili rijitlik modeli kullanılmıştır. Çerçevelerin üç boyutlu analizi için geliştirilen formülasyonlar rijitlik matrisi yöntemine dayandırılarak oluşturulmuştur. Geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile ilk etapta deneysel çalışması yapılmış yatay ve düşey yükler etkisi altındaki iki katlı bir betonarme çerçeve örneği çözümlenerek elde edilen düğüm deplasmanları deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca elemanların etkili atalet momentlerinin yatay yükün artmasına bağlı olarak nasıl bir değişim gösterdiği de görülmeye çalışılmıştır. Son olarak yatay ve düşey yükler etkisi altındaki dört katlı bir betonarme çerçeve geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile çözümlenerek elde edilen sonuçlar irdelenmeye çalışılmıştır.

2. OLASILIĞA DAYALI ETKİLİ RİJİTLİK MODELİ

Yapıya etkileyen yatay ve düşey yüklerden dolayı kiriş ve kolon elemanlarının çatlaması halinde etkili atalet momenti değerleri, bu elemanlarda oluşan moment diyagramındaki çatlayan ve çatlamayan bölgelerin alanlarına bağlı olacak şekilde elde edilmektedir. Literatürde olasılığa dayalı etkili rijitlik modeli olarak ifade edilen bu yöntemde (3) etkili atalet momentleri (1) denklemlerindeki gibi elde edilmektedir.

$$A_{\text{uncr}} = A_1 + A_2 = \int_{M(x) < M_{\text{cr}}} M(x) \quad (1a)$$

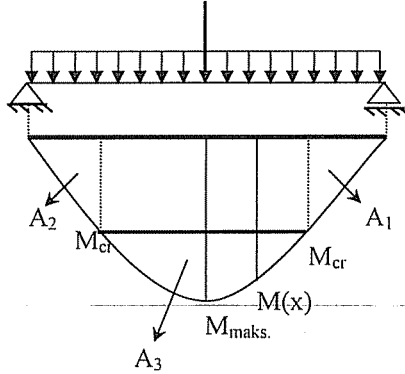
$$A_{\text{cr}} = A_3 = \int_{M(x) \geq M_{\text{cr}}} M(x) \quad (1b)$$

$$A = A_{\text{cr}} + A_{\text{uncr}} \quad (1c)$$

$$P_{\text{uncr}} [M(x) < M_{\text{cr}}] = \frac{A_{\text{uncr}}}{A} \quad (1d)$$

$$P_{\text{cr}} [M(x) \geq M_{\text{cr}}] = \frac{A_{\text{cr}}}{A} \quad (1e)$$

$$I_{\text{eff}} = P_{\text{uncr}} I_1 + P_{\text{cr}} I_2 \quad (1f)$$



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

Bu denklemlerdeki P_{cr} bir elemanda oluşan moment dağılımına bağlı olarak M momentinin M_{cr} momentini aşma olasılığını yani kesitin çatlama olasılığını, P_{uncr} , M momentinin M_{cr} momentinden küçük olma olasılığını, I_1 kesitin çatlamadan önceki atalet momentini, I_2 , ise, tamamen çatlamış haldeki kesitin atalet momentini ifade etmektedirler. Yine aynı denklemlerdeki M , ilgili kesitteki eğilme momentini, M_{cr} ise, çatlama anındaki eğilme momentini ifade etmekte olup,

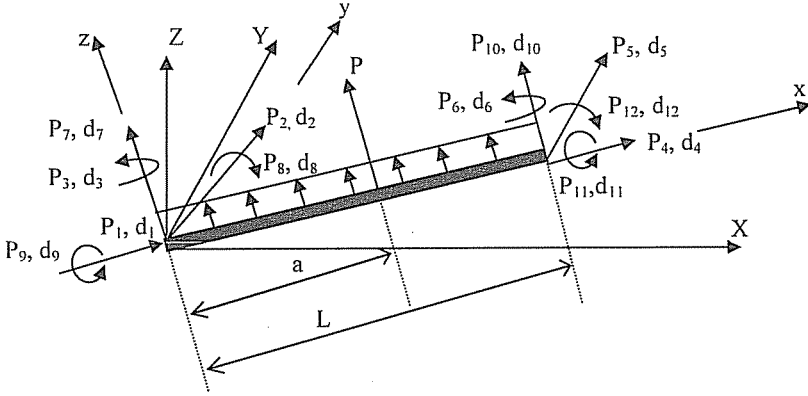
$$M_{\text{cr}} = \frac{(f_r + \sigma_v) I_1}{y_t} \quad (2)$$

şeklinde ise her iterasyon sonucunda elde edilen aksel yük düzeyine bağlı olarak değişen formda hesaplanmaktadır. (2) denklemindeki f_r , betonun eğilmedeki çekme dayanımını, y_t kesitin en alt yüzünden ağırlık merkezine olan uzaklığını, σ_v ise aksel basınç gerilmesini ifade eden değerlerdir.

3. DOĞRUSAL OLMAYAN ELEMAN RİJİTLİK MATRİSİ

Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki yapılar başlangıçta yüklerin düşük olduğu düzeyde lineer olarak davranmalarına karşın yüklerin artmasıyla birlikte eğilme momentleri ve aksel kuvvetlerin etkileşimi ve düğüm noktalarının yükleme esasına göre değişmesi nedeniyle lineer olmayan bir davranış göstermektedirler. Bu durumda nonlineer analiz için rijitlik matrisi, aksel kuvvet etkisi altındaki bir çubuk elemanın davranışını idare eden denklemin sınır şartları altında çözümünden elde edilmekte ve aksel kuvvetin basınç, çekme ve sıfır olması durumları için farklı şekilde

bulunmaktadır. Bu çalışmada yapıyı oluşturan çerçevelerin çubuk elemanlardan oluştuğu kabul edilmektedir. Üç boyutlu halde çubuk elemanların her bir ucunda asal eksenler doğrultusunda üç deplasman ve bu eksenler etrafında üç dönme oluşmaktadır. Ayrıca bu deplasmanlar ve dönmeler yönünde kuvvet ve momentler etkimektedir. Düzgün yayılı ve ara tekil yük etkisi altındaki bir elemanda oluşabilecek uç deplasmanları ve bu deplasmanlara karşılık gelen kuvvetler Şekil 2'den görülmektedirler.



Şekil 2. Düzgün yayılı yük ve ara tekil yüklerden dolayı bir elemanda oluşabilecek uç deplasmanları ve bunlara karşılık gelen kuvvetler.

Üç boyutlu durumda eleman rijitlik denklemi ise aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\underline{k} \underline{d} + \underline{P}_0 = \underline{P} \quad (3)$$

Bu eşitlikteki \underline{k} (12x12), \underline{d} (12x1), \underline{P}_0 (12x1) ve \underline{P} (12x1) değerleri eleman rijitlik matrisi, deplasman vektörü, dış kuvvetlerden dolayı oluşan uç kuvvet vektörü ve toplam uç kuvvet vektörü değerleridir. Bu değerler eleman eksen takımında (x,y,z) olup, transformasyon matrisi aracılığı ile global eksen takımına (X,Y,Z) çevrilmektedirler.

Geometrik nonlineerlik ve çatlama etkisi göz önünde bulundurularak Ghali ve Neville tarafından iki boyutlu hal için stabilite katsayısı S ve t ifadelerine bağlı olarak elde edilen eleman rijitlik matrisi değerleri (6), üç boyutlu durum göz önünde bulundurulacak şekilde geliştirilerek

$$\underline{k} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\underline{k}_{11} = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2(S_z + t_z)}{L^2} - (\gamma \frac{N}{L}) & \frac{S_z + t_z}{L} & 0 & -\frac{2(S_z + t_z)}{L^2} + (\gamma \frac{N}{L}) & \frac{S_z + t_z}{L} \\ 0 & \frac{S_z + t_z}{L} & S_z & 0 & -\frac{S_z + t_z}{L} & t_z \\ -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{2(S_z + t_z)}{L^2} + (\gamma \frac{N}{L}) & -\frac{S_z + t_z}{L} & 0 & \frac{2(S_z + t_z)}{L^2} - (\gamma \frac{N}{L}) & -\frac{S_z + t_z}{L} \\ 0 & \frac{S_z + t_z}{L} & t_z & 0 & -\frac{S_z + t_z}{L} & S_z \end{bmatrix} \quad (5a)$$

$$\underline{k}_{22} = \begin{bmatrix} \frac{2(S_y + t_y)}{L^2} - (\gamma \frac{N}{L}) & -\frac{S_y + t_y}{L} & 0 & -\frac{2(S_y + t_y)}{L^2} + (\gamma \frac{N}{L}) & 0 & -\frac{S_y + t_y}{L} \\ -\frac{S_y + t_y}{L} & S_y & 0 & \frac{S_y + t_y}{L} & 0 & t_y \\ 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 \\ -\frac{2(S_y + t_y)}{L^2} + (\gamma \frac{N}{L}) & \frac{S_y + t_y}{L} & 0 & \frac{2(S_y + t_y)}{L^2} - (\gamma \frac{N}{L}) & 0 & \frac{S_y + t_y}{L} \\ 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 \\ -\frac{S_y + t_y}{L} & t_y & 0 & \frac{S_y + t_y}{L} & 0 & S_y \end{bmatrix} \quad (5b)$$

$$\underline{k}_{21} = \underline{k}_{12} = 0 \quad (5c)$$

$$S_m = \frac{EI_{effm}(u_m(u_m c - s))}{H_m L} \quad t_m = \frac{EI_{effm}(u_m(s - u_m))}{H_m L} \quad (5d)$$

$$u_m = k_m L \quad k_m = \sqrt{\frac{N}{EI_{effm}}} \quad s = \sin u \quad c = \cos u \quad H_m = u_m s + (\gamma 2c) - (\gamma 2) \quad m=y,z \quad (5f)$$

formunda elde edilmişlerdir. Bu denklemlerde eksenel kuvvetin (N) basınç olması halinde $\gamma=1$, çekme olması halinde ise $\gamma=-1$ alınmaktadır. Yine aynı eşitliklerde eksenel kuvvetin çekme olması durumunda $\sin u$ ve $\cos u$ ifadelerinin yerini $\sin hu$ ve $\cos hu$ ifadeleri almaktadır. Bununla birlikte aynı denklemlerdeki A, E ve J değerleri ise kesit alanı, elastisite modülü ve burulma atalet momentini ifade etmektedirler.

Sistem rijitlik matrisi ve sistem yük vektörü değerleri her elemandan gelen etki ve katkılar göz önünde bulundurularak kodlama yöntemi ile elde edilmektedirler. Yapıyı oluşturan kiriş ve kolonların etkili atalet momentleri (I_y , I_z) eğilme momentlerinin oluşturduğu çatlayan ve çatlamayan bölge alanlarına bağlı olarak ifade edilmektedir. Bu durumda etkili atalet momenti değerleri eğilme momentlerine (M_y ve M_z) bağlı olduğundan ve yapıdaki iç kuvvetlerin yeniden dağılımının sözkonusu olmasından dolayı analizde iteratif bir yöntem uygulanarak çözüme gidilmektedir. Yapı analiz edilirken düğüm noktasına ait koordinatlar her iterasyon sonucunda, elde edilen

deplasmanlara bağlı olarak yenilenmekte ve bu şekilde düğümlerin yerdeğiştirmesi nedeniyle oluşan etkiler de analizde gözönüne alınabilmektedir.

4. BİLGİSAYAR PROGRAMI

Çatlamalar ve ikinci mertebeye etkiler göz önünde bulundurularak betonarme çerçevelerin üç boyutlu analizi için geliştirilen bilgisayar programı Fortran 77 dilinde yazılmış olup çözüm algoritmasının akış diyagramı Şekil 3'de gösterilmiştir.

Programda, yükler yapıya adım adım uygulanıp her yük adımında iteratif işlemlere başvurulmaktadır. Her iterasyonda sonuca daha çabuk ve kolay ulaşılabilmesi için bu iterasyondan önceki iterasyonlardaki uç kuvveti değerlerinin ortalaması kullanılarak çözümlenmeler yapılmaktadır. Her yük adımında birbirini izleyen iki iterasyondaki eleman uç kuvvetleri arasındaki belirlenen yakınsak sağlanınca iterasyonlara son verilmekte ve diğer yük adımına geçilmektedir. Programda her yük adımı içerisinde

$$\left| \frac{P_i^n - P_i^{n-1}}{P_i^n} \right| \leq \varepsilon \quad (6)$$

şeklinde yakınsaklık kriterleri tanımlanmıştır. Bu denklemdeki ε eleman uç kuvvetleri arasındaki yakınsaklık kriterini, n iterasyon numarasını, P_i^n ve P_i^{n-1} yük adımı içerisindeki n . ve $(n-1)$. iterasyonlarda elemanda oluşan uç kuvveti değerlerini ifade etmektedirler.

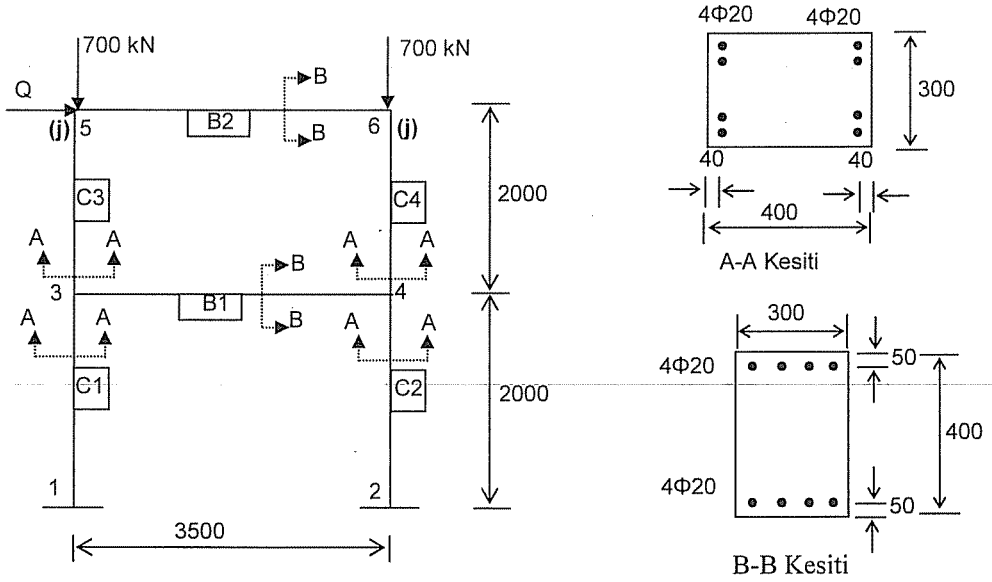
5. SAYISAL UYGULAMALAR

5.1. Deneysel Çalışması Yapılmış İki Katlı Betonarme Çerçeve Örneği

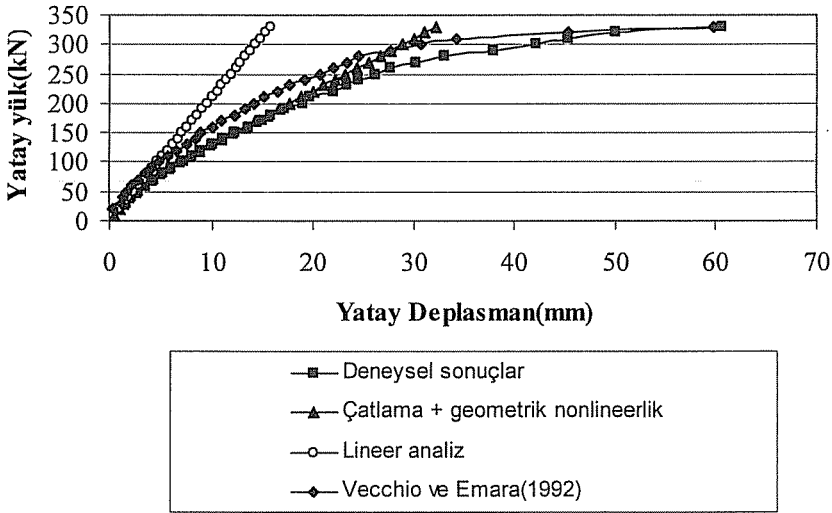
Bu örnek deneysel çalışması Vecchio ve Emara tarafından yapılmış yatay ve eksenel yükler etkisi altındaki iki katlı betonarme çerçeveden oluşmaktadır (7). Betonarme yapı 6 elemandan oluşacak şekilde modellenmiş olup, yapı ve elemanlara ait özellikler Şekil 4'den görülmektedir. Örnekte betonarme çerçeveye uygulanan düşey yükler sabit kalmak üzere yatay yükler (Q) yapı taşıma gücüne erişinceye kadar arttırılarak (yatay yükün 330 kN olduğu seviye) çerçevenin ikinci katındaki 5 numaralı düğüme oluşan yatay deplasmanlar elde edilmiştir. Betonarme çerçeve örneği ayrıca Chun-Man ve arkadaşları tarafından geliştirdikleri yöntem (3) aracılığı ile de çözülmüştür.

Çerçevenin 5 numaralı düğüminde elde edilen yatay deplasmanların gerek lineer analiz, gerekse diğer analitik model sonuçları ve deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılması Şekil 5'de gösterilmiştir. Şekilden çerçeveye uygulanan yatay yükün artmasına bağlı olarak lineer analiz sonucu elde edilen deplasman değerleri ile gerek deneysel gerekse bu çalışmada elde edilen sonuçlar arasında büyük farklılıklar oluştuğu görülmektedir. Betonarme çerçeveye uygulanan yatay yükün 275 kN olduğu düzeye kadar bu çalışmada elde edilen sonuçlarla deneysel sonuçların oldukça uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Yatay yükün bu değerinden sonra özellikle çerçevenin taşıma gücü yüküne yaklaşıldıkça deneysel sonuçlarla bu çalışmada elde edilen sonuçlar arasında büyük farklılığın oluştuğu görülmektedir. Bu farklılığın en önemli nedenleri ise çerçeveye uygulanan yükün kullanılabilirlik yük düzeyini aşması ve taşıma gücü yüküne yaklaşılmasıyla birlikte malzeme nonlineerliğinin yapı davranışı üzerinde daha

önemli bir etkiye sahip olması ve kiriş ve kolon uçlarındaki plastik mafsall oluşumlarının etkisi şeklinde açıklanabilir.

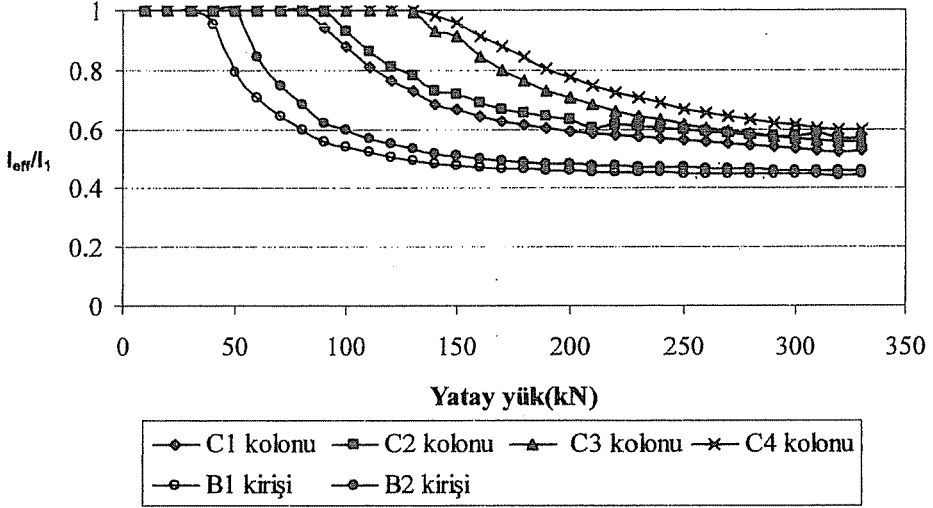


Şekil 4. Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki iki katlı betonarme çerçeve örneği



Şekil 5. Deneysel ve analitik çalışma sonuçlarından elde edilen yatay deplasmanların karşılaştırılması

Betonarme çerçeveye uygulanan yatay yükün artmasına bağlı olarak elemanlardaki çatlamların oluşum sırası ve elemanların eğilme rijitliğinde oluşan değişimler elde edilerek Şekil 6'da gösterilmiştir.

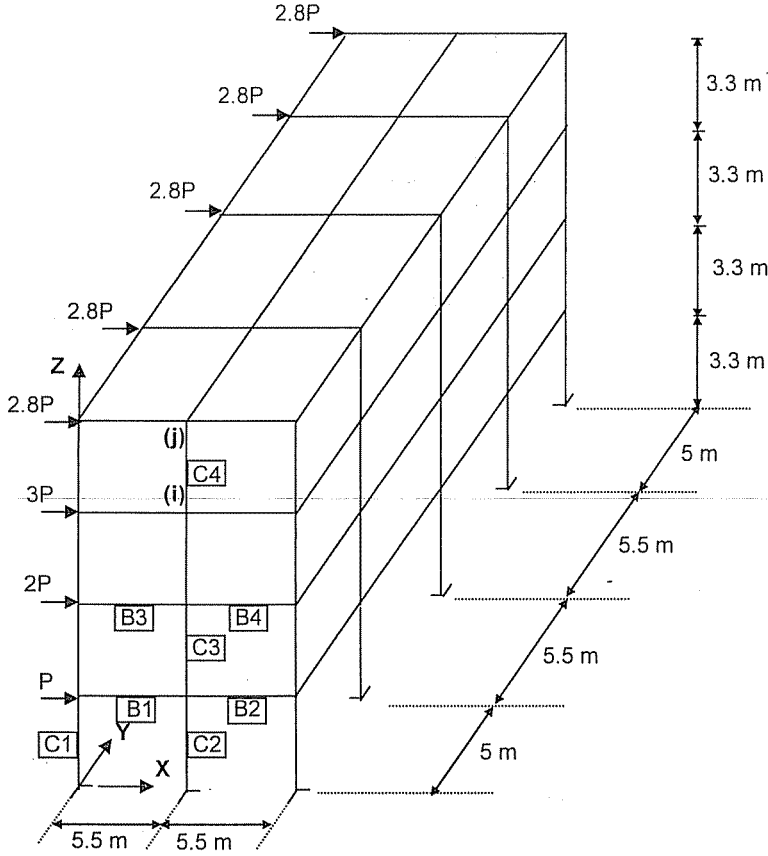


Şekil 6. Kiriş ve kolonların etkili atalet momentlerinin yatay yüke göre değişimi

Şekilden görüldüğü gibi ilk olarak çerçevenin birinci ve ikinci katındaki kirişler daha sonra ise çerçevenin birinci katındaki C1 ve C2 kolonları çatlama göstermektedirler. En son olarak yapının ikinci kattaki C3 ve C4 kolonlarında çatlama oluşmaktadır. Yatay yük çerçevenin taşıma gücü yükünün %82'sine ulaştığı anda C1, C2, C3 ve C4 kolonlarının atalet momenti değerleri çatlama kesit atalet momenti değerlerinin sırası ile %54, %56, %59 ve %64'üne eşit olurken, birinci ve ikinci kattaki kirişlerin atalet momenti değerleri çatlama kesit atalet momenti değerlerinin %44 ve %46'üne karşılık gelmektedir.

5.2. Üç Boyutlu Betonarme Çerçeve Üzerinde Parametrik Bir Çalışma

Bu örnekte yatay ve düşey yükler etkisi altındaki dört katlı betonarme çerçeve örneği geometrik nonlineerlik ve çatlamların etkisi göz önünde bulundurularak geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile analiz edilmiştir (Şekil 7). Betonarme çerçevenin elemanlarına ait özellikler ve yüklemeye ait bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir.



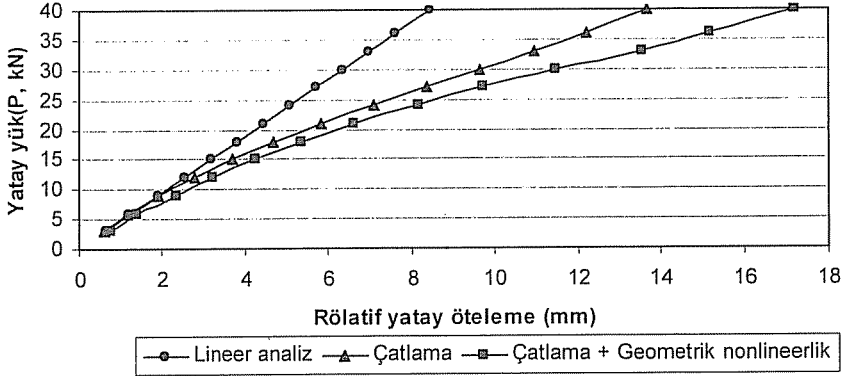
Şekil 7. Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki dört katlı betonarme çerçeve örneği

Çizelge 1. Betonarme çerçeve örneği ile ilgili gerekli bilgiler

	1. Kat	2.Kat	3.Kat	4. Kat
Kolon Boyutları (mm*mm)	500*500	500*500	500*500	400*400
Kiriş Boyutları (mm*mm)	300*500	300*500	300*500	300*500
Düşey Yükler (kN/m)	30	30	30	24

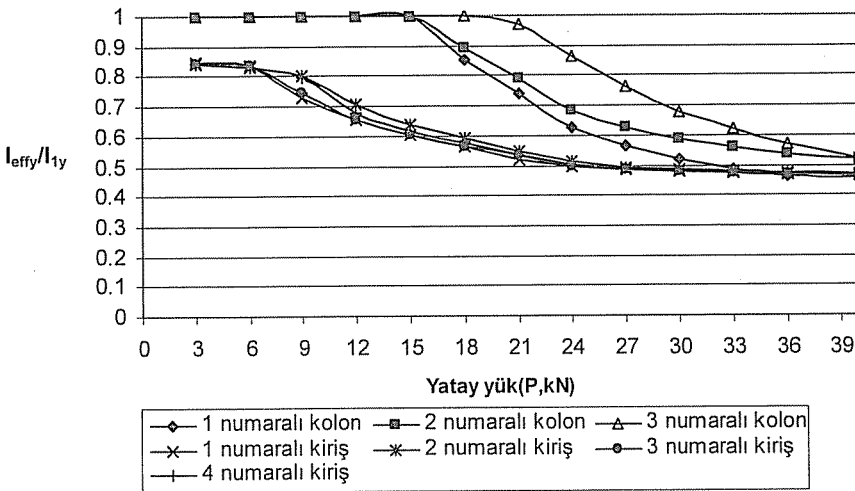
Yapıya her katta, kirişler üzerinde düşey yükler ve kat seviyelerinde ilgili düğümlere P'ye bağlı olarak ifade edilen yatay yükler etkimektedir. Betonarme çerçeve, kirişler üzerinde bulunan düşey yükler sabit kalırken yatay yük P başlangıçtan 40 kN'a kadar artırılarak çatlama ve ikinci mertebeye etkiler göz önünde bulundurularak analiz edilmiştir. Lineer elastik model ve çatlama ve ikinci mertebeye etkiler göz önünde

bulundurularak, yapıda oluşan maksimum rölatif yatay ötelemenin uygulanan yatay yüke göre değişimi Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Maksimum rölatif yatay ötelemenin uygulanan yatay yüke göre değişimi

Şekilden lineer analiz sonucu elde edilen değerlerle nonlineer analiz sonucu elde edilen değerler arasında çerçeveye uygulanan yatay yükün artmasına bağlı olarak büyük farklılıklar olduğu görülmektedir. Yükün 40 kN olduğu düzeyde bu fark % 95 olarak elde edilmiştir. Şekilden sadece çatlama etkisi göz önünde bulundurularak elde edilen deplasmanlarla, çatlama ve ikinci mertebe etkiler göz önünde bulundurularak elde edilen deplasmanlar arasındaki farkın yatay yükün artmasına bağlı olarak daha da arttığı ve yatay yük değerinin $P=40$ kN olduğu düzeyde ise bu farkın yaklaşık olarak %20'ye ulaştığı görülmektedir.



Şekil 9. Kiriş ve kolonların etkili atalet momentlerinin yatay yüke göre değişimi

Betonarme yapıya uygulanan yatay yükün artmasına bağlı olarak değişik elemanların etkili atalet momentindeki değişimler Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi B1 ve B2 kiriş elemanlarının atalet momentlerinin çatlama kesit atalet momentlerinin yaklaşık olarak %50'sine eşit olduğu anda C1 ve C2 kolonlarının atalet momentleri sırasıyla çatlama kesit atalet momentlerinin %57 ve %64'üne eşit olmaktadır.

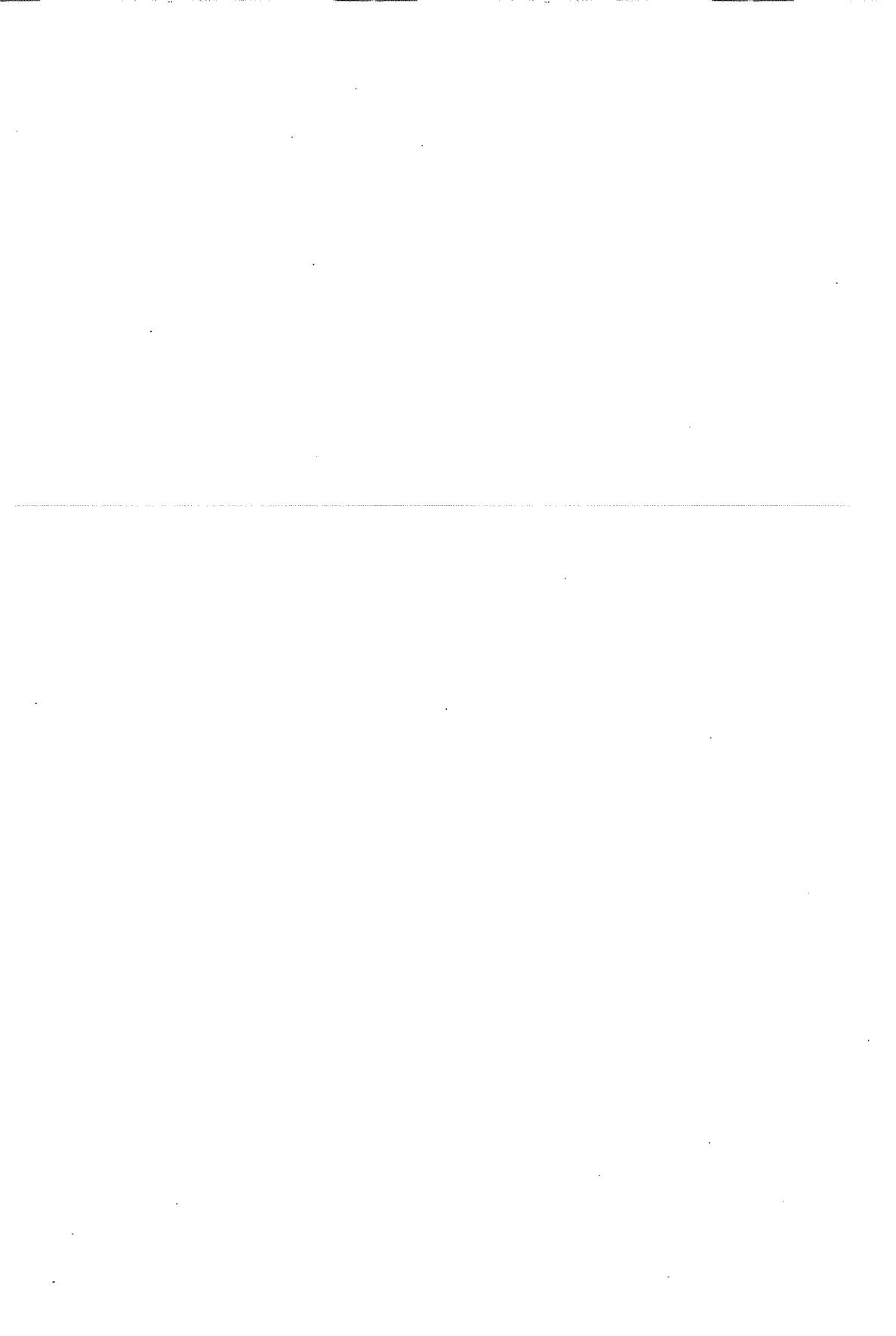
6. SONUÇLAR

Yatay ve düşey yükler etkisi altında bulunan betonarme çerçeve örneklerinin, bu çalışmada geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile çözümlenmesi sonucu elde edilen yatay deplasmanların lineer analiz sonuçlarına göre önemli değişimler gösterdiği görülmüştür. Deneysel çalışması yapılmış betonarme çerçeve örneğinden elde edilen sonuçlara bağlı olarak, olasılığa dayalı etkili rijitlik modeline dayandırılarak geliştirilen bu çalışmada yapıya uygulanan yüklerin taşıma gücü yükünün yaklaşık olarak %80 olduğu seviyeye kadar elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Bununla birlikte bu yük düzeyi aşıldığı anda gerek beton gerekse çelik malzemelerin lineer olmayan davranışları betonarme yapının davranışları üzerinde önemli bir etkiye sahip olmaktadır. Bu çalışmada ayrıca uygulanan yük seviyesine bağlı olarak her elemanda oluşan etkili atalet momentleri elde edilebilmekte ve yük seviyesinin artması ile etkili atalet momentinde oluşan değişimler de görülebilmektedir. Bu durum özellikle proje mühendislerine tasarım sırasında gerek elemanlardaki çatlama oluşum sırası gerekse çatlamlara bağlı olarak eğilme rijitliğinde oluşan değişimlerle ilgili önemli fikirler verebileceği düşünülmektedir. Ayrıca çatlamlarla birlikte geometrik nonlineerlik etkilerinin analizlerde göz önünde bulundurulmasının elde edilen deplasman ve eleman uç kuvveti değerlerine bağlı olarak yapı davranışının daha gerçekçi bir şekilde elde edilebilmesi açısından önemli olabileceği düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

1. Ingraffea, A.R. and Gerstle, W., "Non-linear fracture models for discrete crack propagation", In *Applications of Fracture Mechanics to Cementitious Composites*, Shah S.P. (ed.), The Hague, The Netherlands: Martinus-Nijhoff: 171-209, 1985.
2. Shuraim, A.B., "Lateral stiffness of plane reinforced concrete frames, *Computers & Structures*", 64(1) 771-782, 1997.
3. Chun-Man Chan, Neil, C. Mickleborough Feng Ning, "Analysis of Cracking Effects On Tall Reinforced Concrete Buildings", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 126, No. 9, 995-1003, 2000.
4. El-Metwally, S.E. and Chen, W.F., "Nonlinear Behavior of R/C Frames", *Computers & Structures*, 32(6) 1203-1209, 1998.
5. Soliman, M.T.M. and C.W., Yu, "The flexural stress-strain relationships of concrete confined by rectangular transverse reinforcement", *Mag. Concrete Res.*, 19, 223-238, 1967.
6. Ghali, A. and Neville, A.M., *Structural Analysis, Second Edition*, Chapman and Hill, 1978.

7. Vecchio, F.J. and Emara, M.B., "Shear deformations in reinforced concrete frames", *ACI Struct J*, 89(1) 46-56, 1992.
8. ACI-318-95, *Building code requirements for reinforced concrete (ACI 318-95)*, Michigan, 1995.
9. Chen, W.F., "Plasticity in reinforced concrete", McGraw-Hill, New York, 1992.



DÜZENLİ AKIMDA TABANA YAKIN YATAY SİLİNDİR YÜZEYİNDE VE TABANDA KAYMA GERİLMESİ DAĞILIMLARININ DENEYSEL İNCELENMESİ

A. Alper ÖNER ve M. Salih KIRKGÖZ
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Akım ile batmış durumdaki iki-boyutlu dairesel silindirlerin etkileşimi üzerindeki çalışmalar bu tür küt cisimlerin tasarımı için önem arz etmektedir. Silindir etrafındaki hız alanı hakkındaki bilgiler, akım-silindir etkileşimi problemlerindeki temel karakteristik özelliklerin anlaşılmasına önemli ölçüde yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada, $Re_D=840$ ve 4150 olan iki-boyutlu, düzenli ve türbülanslı akımlarda, $G/D=0.2, 0.3$ ve 1.0 boşluk oranlarında batmış bir silindir etrafındaki akım hızları ölçülmüştür. Ölçülen hızlarla, silindir ve tabana dik doğrultularda hız profilleri çizilmiştir. Sınır tabakasındaki hız profillerinden, Newton'un viskozite kanunu kullanılarak silindir ve taban üzerinde kayma gerilmesi dağılımları hesaplanmıştır. Silindir ve taban üzerinde deneysel olarak bulunan hız profilleri ve kayma gerilmesi dağılımlarının incelenmesi sonucunda, $G/D=1.0$ boşluk oranı için, silindir etrafındaki akıma taban etkisinin ihmal edilebilir ölçüde küçüldüğü görülmüştür.

EXPERIMENTAL STUDY OF SHEAR STRESS DISTRIBUTIONS ON THE SURFACE OF NEAR-BED HORIZONTAL CYLINDER AND ON THE BED IN STEADY FLOW

ABSTRACT : The studies on the interaction of fluid flow with two-dimensional submerged circular cylinders are important for the design of such bluff bodies. The information related to the velocity field of affected flow region around the cylinder helps understand the basic characteristic features of flow-cylinder interaction problems. In this study, the velocity field of two-dimensional steady, turbulent flow with $Re_D=840$ and 4150 around an immersed horizontal, circular, smooth cylinder is measured for gap ratios of $G/D=0.2, 0.3$ and 1.0 . Using the measured data, the velocity profiles on the cylinder surface and on the bed are drawn. From the boundary layer velocity profiles, the shear stress distributions on the surfaces of cylinder and bed are determined using Newton's law of viscosity. Experimental results for velocity field around the cylinder and the wall shear stress distributions show that the wall effect on the flow becomes negligibly small when the gap ratio $G/D=1.0$.

1. GİRİŞ

Serbest yüzeyli bir akım içerisinde tabana yakın bir konumda yatay olarak batmış durumda bulunan, iki boyutlu, dairesel bir silindir etrafındaki akımın silindir ve taban ile olan etkileşimi, özellikle deniz altı boru hatları gibi mühendislik uygulamalarında önemli bir yere sahiptir. Akıma maruz kalan silindirik elemanlara etkiyen dinamik kuvvetler ile bu elemanların kuvvet altındaki davranışlarının bilinmesi mühendislik tasarımları için gereklidir. Katı madde bakımından hareketli bir deniz tabanı üzerine yerleştirilen boru hatlarında, taban oyulmaları nedeniyle, zamanla, boru hattı ile taban arasında boru çapına eşdeğer büyüklüklere varabilen boşluklar oluşabilmekte ve bunun sonucunda, boru hattı deniz tabanına yakın bir mesafede asılı kalabilmektedir. Böylece, bir boru hattında veya yatay bir silindirik yapı elemanında, ister tabana yakın mesafede monte edilmiş olsun isterse taban erozyonu nedeniyle askıda kalmış olsun, silindir ile taban arasındaki boşluk mesafesinin, silindir ve taban ile etkileşim halindeki akımın özellikleri üzerinde önemli etkisi mevcuttur. Silindir ile kanal tabanı arasındaki boşluk oranının, G/D (G boşluk mesafesi, D silindir çapı), silindir etrafındaki akım alanında ve silindirin maruz kaldığı kuvvetlerde sebep olduğu değişimlerin bilinmesi, tasarım açısından önem kazanmaktadır.

Akım alanı içerisinde katı sınıra yakın olarak yerleştirilmiş bir silindirin etrafındaki akımda, akım ile ilgili özelliklerde, örneğin; hız ve vortisite alanları, silindir memba ve mansabındaki taban sınır tabakası ayrılmaları, silindir üzerinde durma ve ayrılma noktalarının yerleri, silindir arkasındaki vorteks kopmalarının frekansı, tabanda ve silindir yüzeyinde basınç ve kayma gerilmesi dağılımlarında boşluk oranına bağlı olarak önemli değişimler meydana gelmektedir.

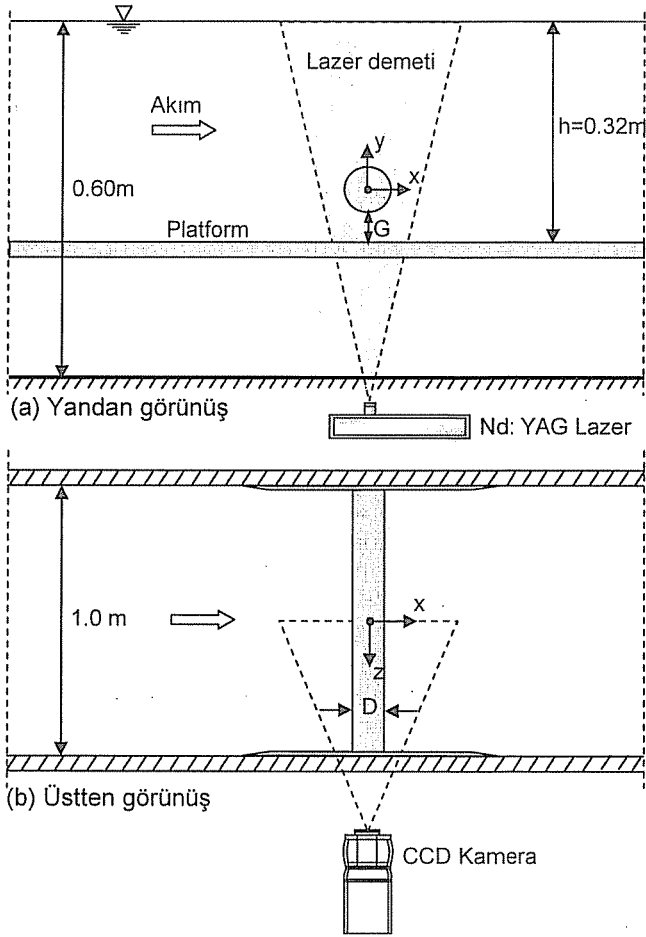
Dairesel bir silindir etrafındaki akım üzerinde silindir boşluk oranının etkisi geçmişte bir çok araştırmacı tarafından deneysel olarak incelenmiştir [1,2,3,4,5]. Bu çalışmalardan elde edilen bulgularda, silindirin tabana yaklaşması ile hız alanında oluşan değişimlerden dolayı, düzenli vorteks kopmalarının bastırıldığı, durma noktasının tabana doğru yer değiştirdiği, silindir üst sınır tabakası ayrılmasının membaya, alt sınır tabakası ayrılmasının ise mansaba doğru kaydığı görülmüştür. Ayrıca, silindir boşluk oranının $G/D \geq 1.0$ olması durumunda, silindir etrafındaki akımda basınç alanlarının silindir yatay eksenine göre simetriye büyük ölçüde yakın bir görüntü sergilediği, yani, silindir etrafındaki akımın tabandan artık etkilenmediği yada ihmal edilebilecek derecede az etkilendiği gibi bazı sonuçlara varılmıştır.

Bu çalışmada, iki farklı düzenli, iki-boyutlu türbülanslı akım koşulunda ve her bir akım için üç ayrı boşluk oranında olmak üzere akım içerisinde tabana yakın olarak yerleştirilmiş yatay bir silindirin etrafındaki akımda parçacık görüntülemeli hız-ölçümü tekniği ile akım hızları ölçülmüş ve silindir yüzeyi ile tabana dik doğrultularda hız profilleri çizilmiştir. Sınır tabakası bölgesindeki hız profillerinden, katı yüzeyler üzerindeki kayma gerilmeleri hesaplanmış ve değişim grafikleri sunulmuştur.

2. DENEYLER

Deneyler Ç. Ü. Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarındaki kapalı çevrim açık kanal düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Kanal düzeneği, memba ve mansaptaki iki su haznesi ve bunları birleştiren, 1m genişlik, 0.75m derinlik ve 14m uzunluğundaki açık su kanalından oluşmaktadır. Kanal tabanı ve yan duvarları 15mm kalınlığındaki

pürüzsüz ve saydam pleksiglas malzemeden yapılmıştır. Kanal girişine petekler yerleştirilerek suyun kanala mümkün olduğunca çalkantısız ve düzenli olarak girmesi sağlanmıştır. Şekil 1'de görüldüğü gibi, kanal başlangıcından 4m uzaklığa, kanal tabanından itibaren üst yüzeyi 0.28m yüksekte olacak şekilde, kanal içerisine, 2m uzunluk ve 15mm kalınlıklı pleksiglasdan yapılmış, kanal genişliğinde bir düzlem platform yerleştirilmiştir. Platformun mansap tarafındaki ucu sivsiltirilerek akımın deney platformuna girişi rahatlatılmıştır. Çapı $D=50\text{mm}$ olan pleksiglasdan yapılmış dairesel pürüzsüz test silindiri Şekil 1'de görüldüğü gibi G boşluk mesafesinde platformun üzerine monte edilmiştir. Test silindiri tüm deney koşulları için platformun başından itibaren 1.50m (30D) mesafede bulunmaktadır. Deneylerde platform üzerindeki su yüksekliği $h=0.32\text{m}$ 'de sabit tutulmuştur.



Şekil 1. Test düzeneğinin şematik görünümü

İki farklı türbülanslı, düzenli akım koşulunda yapılan deneylerin her birisi için silindirin olmadığı durumda ölçülen hız profilinde, sınır tabakasının üst sınırındaki serbest akım hızları $u_0=17\text{mm/s}$ ve $u_0=86\text{mm/s}$ olup bu hızlar ile hesaplanan Reynolds sayıları sırasıyla $Re_D(=u_0D)/\nu=840$ ve 4150 şeklindedir (ν akışkanın kinematik viskozitesidir). Silindir etrafındaki akımlarda bu değerdeki Reynolds sayısına sahip akımlar (yani, $300 < Re_D < 3 \times 10^5$ için) kritik-altı olarak sınıflandırılmıştır [5,6]. Silindir etrafındaki kritik-altı akımların karakteristik özellikleri, silindir yüzeyinde sınır tabakası akımının laminer, silindirin kuyruk bölgesinde akımın tümüyle türbülanslı olmasıdır.

Tabanın silindire yakınlığının silindir etrafındaki akıma etkisini belirlemek üzere, deneyler, her bir akım durumunda $G=10\text{mm}$, 15mm ve 50mm 'lik üç farklı silindir boşluk mesafeleri için tekrarlanmıştır. Bu boşluk mesafeleri $G/D=0.2$, 0.3 ve 1.0 boşluk oranlarına karşılık gelmektedir.

Akım hızlarının ölçülmesinde, parçacık görüntülemeli hız-ölçümü (*particle image velocimetry-PIV*) tekniği ile çalışan bir sistem kullanılmıştır. PIV cihazı ile, Şekil 1'de şematik olarak görüldüğü gibi, lazer demeti ile düzlemsel olarak ışınlanan bir bölgedeki anlık akım hızları, akım rahatsız edilmeden aynı anda ölçülebilmektedir. Bu ölçüm yöntemi ile, parçacıkların akışkan hareketini takip ettiği düşüncesi ile, akışkanla aynı hızda hareket eden mikron boyutundaki gümüş kaplı parçacıklar akışkana bırakılır. Ölçüm yapılması istenilen bölgeye lazer demeti gönderilerek düzlemsel bir görüntüleme yüzeyi oluşturulur. Lazer belli zaman aralıklarında ışıır ve bu ışımalarındaki parçacık görüntüleri CCD kamera ile kayıt edilir. Belirli zaman aralığında çekilen iki resimdeki parçacıkların yer değiştirmesinden, noktasal anlık hızlar ve belli bir zaman diliminde de zamansal ortalama hızlar tespit edilir. Kayıt edilen anlık ve ortalama hız değerleri istenilen çeşitli bilgilere dönüştürülebilir. PIV sisteminin çalışma prensibine ait daha geniş bilgi Şahin ve ark. [7], ve Kırkgöz ve Öner [8] tarafından verilmiştir.

3. DENEYSEL BULGULAR

Bu çalışmada, $Re_D=840$ ve 4150 olan akım koşullarında ve her bir akımda üç farklı boşluk oranı, $G/D=0.2$, 0.3 ve 1.0 , için silindir ve tabandan etkilenen akım bölgesindeki hız profilleri ve bu profillerden yararlanılarak silindir yüzeyinde ve taban üzerinde kayma gerilmelerinin dağılımı ile ilgili deneysel bulgular sunulmuştur. Ölçülen hız profilleri ve hesaplanan kayma gerilmesi dağılımları Şekil 3-8'de verilmiştir.

Tabana dik düşeylerdeki hız profilleri doğrudan yatay hız profillerini temsil etmektedir. Silindir yüzeyine dik doğrultulardaki akım hız profilleri, yani, silindirin yakınındaki bir noktada silindir yüzeyine teğetsel doğrultuda gelen u_t hız bileşeni, Şekil 2'de görüldüğü gibi akım alanında ölçülen yatay ve düşey hız bileşenleri kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

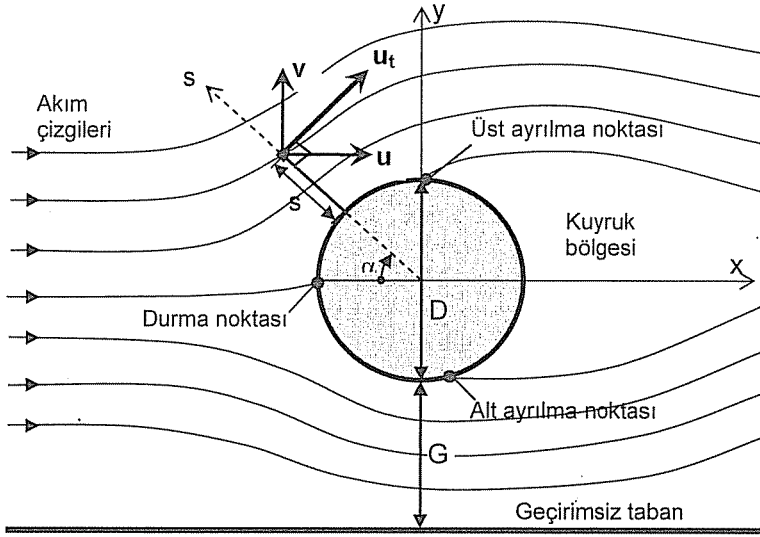
$$u_t = u \sin \alpha + v \cos \alpha \quad (1)$$

Bu ifadede, u yatay hız bileşeni, v düşey hız bileşeni, ve α hesap noktasının bulunduğu doğrultunun yatayla yaptığı açıdır.

Ölçülen hız profillerinden yararlanılarak akım ile taban ve silindir ara kesitlerindeki kayma gerilmeleri, τ_0 , Newton'un viskozite kanunundan aşağıdaki gibi bulunabilir [9]:

$$\tau_0 = \mu \frac{du}{dy} \quad \text{veya} \quad \tau_0 = \mu \frac{du_t}{ds} \quad (2)$$

Bu denklemlerden birincisi yatay taban, ikincisi ise silindir yüzeyindeki noktalar için uygulanabilir. (2) denklemlerinde u yatay hız bileşenini (düşey y doğrultusuna dik hız bileşenini), u_t silindir üzerindeki bir s doğrultusuna dik akım hızını (Şekil 2) temsil etmekte olup μ suyun dinamik viskozitesidir. (2) denklemlerindeki du/dy hız gradyanı taban üzerindeki viskoz alt tabakada ölçülen hız profilinden, ve du_t/ds hız gradyanı ise silindir üzerindeki laminer sınır tabakasında ölçülen hız profilinden elde edilmektedir.



Şekil 2. Silindir etrafındaki akım alanı ve teğetsel hız bileşeni

3.1. Silindir Yüzeyinde Hız Profilleri ve Kayma Gerilmesi Dağılımları

Farklı α açılarında silindirin yüzeyine dik doğrultulardaki hız profilleri Şekil 3(a)-8(a)'da görülmektedir. Bu şekillerde, her iki Re_D 'ye sahip akımlarda, silindir etrafındaki hız alanının boşluk oranı G/D 'nin değişiminden nasıl etkilendiği açıkça görülmektedir. Boşluk oranının büyümesi ile, silindir etrafındaki hız alanı, silindirin yatay eksenine göre simetrik bir oluşuma doğru gelişme göstermektedir. Diğer taraftan, silindir etrafındaki eğri yörüngeli akım bölgesinde, akım hızının eğrilik yarıçapı ile ters orantılı olması özelliği hız profillerine de açıkça yansımaktadır. Şekillerdeki silindir yüzeyi hız profillerinden, her bir durum için silindir üzerindeki laminer sınır tabakasının gelişimini ve silindirin iki tarafındaki sınır tabakasının ayrılmasını müteakip oluşan serbest türbülanslı kayma tabakalarını izlemek mümkündür. Silindirin kuyruk bölgesindeki (ayrılma bölgesindeki) akım, aslında zamana bağlı periyodik değişken akım niteliğindedir. Bu nedenle, silindir arkasındaki kayma tabakalarının kesikli çizgilerle gösterilen sınırları zamansal ortalama hız alanlarından elde edilen sınırları temsil

etmektedir. Buna göre, kayma tabakalarının iç sınır çizgilerinin silindir yüzeyi ile kesiştiği noktalar, silindirin alt ve üst ayrılma noktalarının yaklaşık olarak zamansal ortalama yerlerini göstermektedir. Şekil 5(a)'da görüldüğü gibi, $G/D=1.0$ durumunda silindir yakın civarındaki hız alanının silindir yatay eksenine göre büyük ölçüde simetrik bir görünüme kavuşması bu boşluk oranında tabanın silindir etrafındaki akıma etkisinin çok azalmış olduğunun önemli bir kanıtıdır.

Hız profillerinden yararlanılarak, silindir yüzeyinde (2) denklemi ile hesaplanan boyutsuz kayma gerilmesi dağılımları ($\tau_0/(\rho u_0^2/2)$) Şekil 3(a)-8(a)'da silindirin iç yüzeyinde gölgeli alanlar şeklinde gösterilmiştir. Dağılımların maksimum değerleri şekillerin üzerinde yazılmıştır. Kayma gerilmesi dağılımlarından belirlenen silindir önündeki akım durma noktalarının yerleri, silindir üzerinde yaklaşık olarak gösterilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi, incelenen akım durumları için, silindir yüzeyindeki kayma gerilmesi dağılımı, durma noktasında sıfır değerinden başlayarak bir maksimumdan geçmekte ve sonrasında sınır tabakasının ayrılma noktasında tekrar sıfıra doğru azalmaktadır. Silindirin alt yüzeyinde en alt noktada, yani akımın en fazla daraldığı kesitte, beklendiği gibi kayma gerilmesi maksimum olmaktadır. Silindirin üst yüzeyinde ise, kayma gerilmesinin genelde $\alpha=40^\circ$ civarında maksimum olduğu görülmekle birlikte, silindirin tabandan uzaklaştığı $G/D=1.0$ durumunda kayma gerilmesi dağılımının çifte pik değer gösterme eğilimine girdiği, yani maksimum kayma gerilmesi yerini belirleyen α açısının büyüyebileceği izlenimi edinilmektedir.

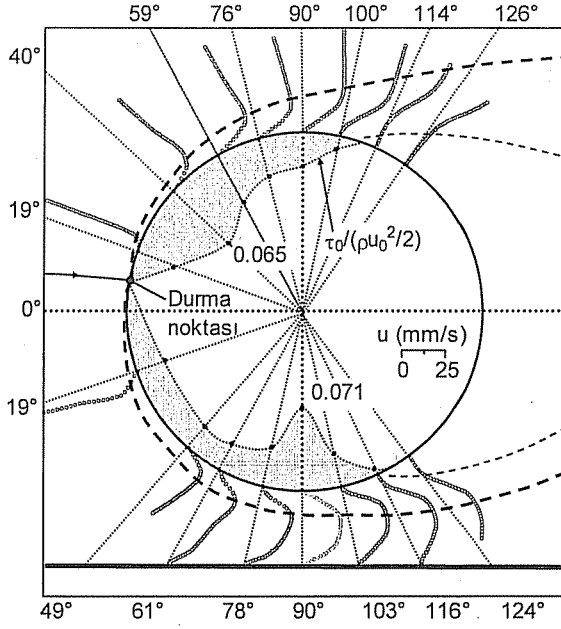
3.2. Tabanda Hız Profilleri ve Kayma Gerilmesi Dağılımları

Şekil 3(b)-8(b)'de silindir etrafındaki akımdan etkilenen taban üzerindeki farklı düşeylerde yatay hız dağılımları görülmektedir. Şekil 3(b), 4(b), 6(b) ve 7(b)'de görüldüğü gibi, düşey hız profilleri, her iki akımda da $G/D=0.2$ ve 0.3 boşluk oranları için silindir yatay ekseninin altında kalan akım bölgesini kapsamaktadır. Aynı boşluk oranlarında, silindir ile taban arasındaki hızlanmış akım bölgesinde, yeniden gelişmekte olan taban sınır tabakasının kalınlığını (δ) belirleyen üst sınırı kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 3(b)'de görüldüğü gibi, $Re_D=840$ ve $G/D=0.2$ durumunda, silindirin hemen mansabında, taban sınır tabakası akımı katı sınırdan ayrılmaktadır. Aynı koşullardaki akımda, $x/D=-1.0$ için taban üzerindeki hız dağılımından, silindir membasında da taban sınır tabakası akımında ayrılmanın oluştuğu anlaşılmaktadır.

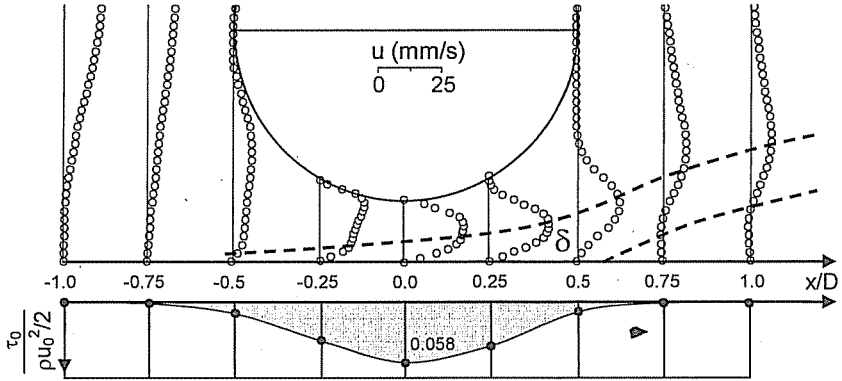
Hız profillerinden yararlanılarak, farklı Reynolds sayısı ve boşluk oranlarında, kanal tabanı üzerinde (2) denklemi ile hesaplanan boyutsuz kayma gerilmesi dağılımları ($\tau_0/(\rho u_0^2/2)$) Şekil 3(b)-8(b)'de verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi, $G/D=0.2$ ve 0.3 boşluk oranlarında, tabandaki kayma gerilmesi dağılımı silindir-taban aralığının en dar yerinde maksimumdan geçmektedir. Bu iki boşluk oranından $G/D=0.2$ durumunda, taban kayma gerilmesi dağılımının daha dar bir alanda yoğunlaşarak pikleştiği görülmektedir. Diğer taraftan, Şekil 5(b) ve 8(b)'de görüldüğü gibi, $G/D=1.0$ boşluk oranında, taban kayma gerilmesinin üniforma yaklaştığı görülmekte olup, bu oluşum, silindirin tabana yakınlığının kayma gerilmesi üzerindeki etkisinin, G/D 'nin büyümesi ile giderek zayıfladığı anlamına gelmektedir.

Şekil 3-8'de verilen hız profilleri ve kayma gerilmesi dağılımlarının incelenmesinden, mevcut akım koşulları itibariyle, $G/D=1.0$ boşluk oranında, silindir etrafındaki akım üzerinde taban etkisinin ihmal edilebilir ölçüde azaldığı görülmektedir.

DÜZENLİ AKIMDA TABANA YAKIN YATAY SİLİNDİR YÜZEYİNDE VE TABANDA
KAYMA GERİLMESİ DAĞILIMLARININ DENEYSEL İNCELENMESİ

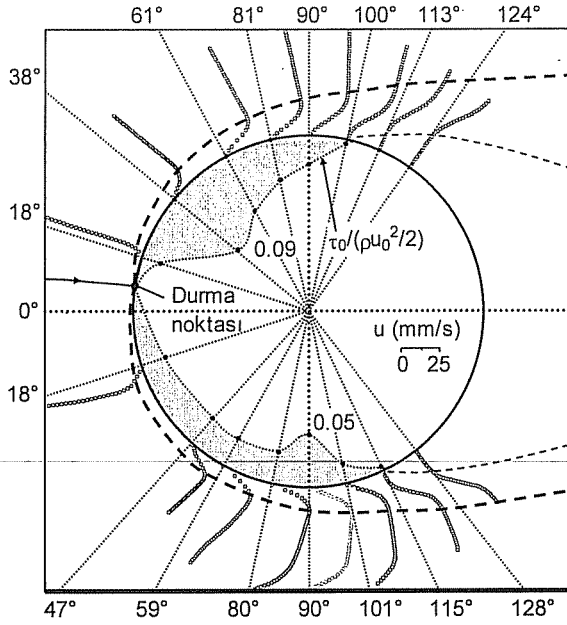


(a)

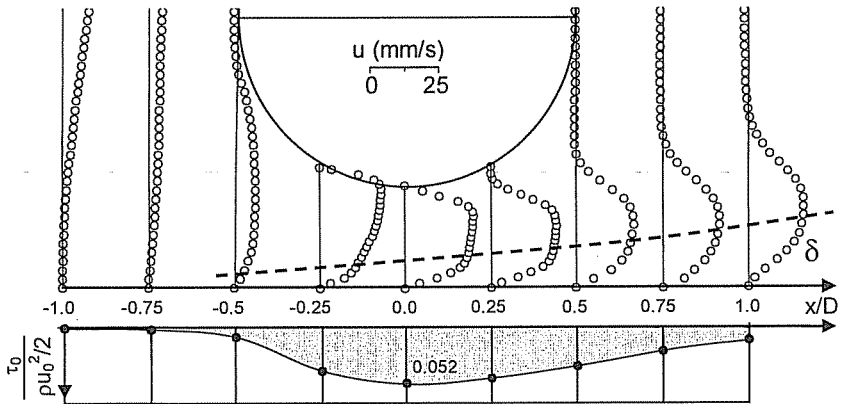


(b)

Şekil 3. $Re_D=840$ ve $G/D=0.2$ için, (a) Silindir yüzeyinde ve (b) Kanal tabanında hız profilleri ve kayma gerilmesi dağılımları



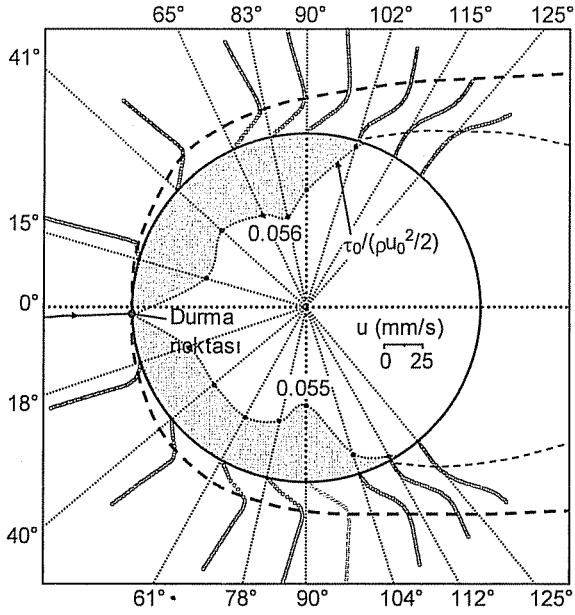
(a)



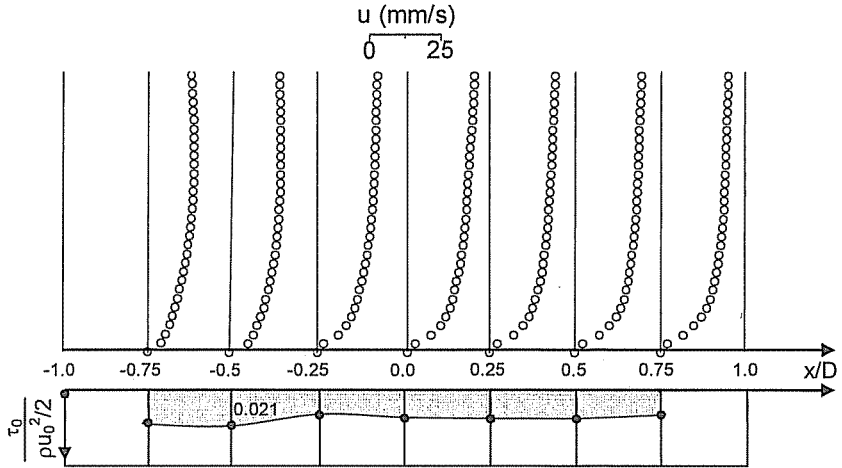
(b)

Şekil 4. $Re_D=840$ ve $G/D=0.3$ için, (a) Silindir yüzeyinde ve (b) Kanal tabanında hız profilleri ve kayma gerilmesi dağılımları

DÜZENLİ AKIMDA TABANA YAKIN YATAY SİLİNDİR YÜZEYİNDE VE TABANDA
KAYMA GERİLMESİ DAĞILIMLARININ DENEYSEL İNCELENMESİ

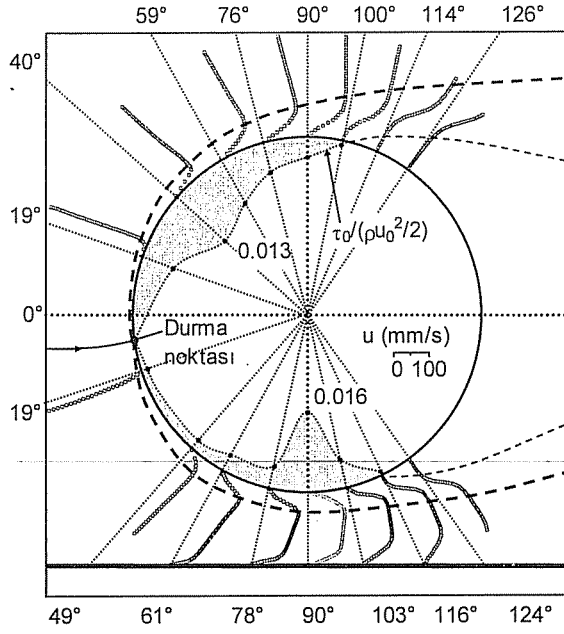


(a)

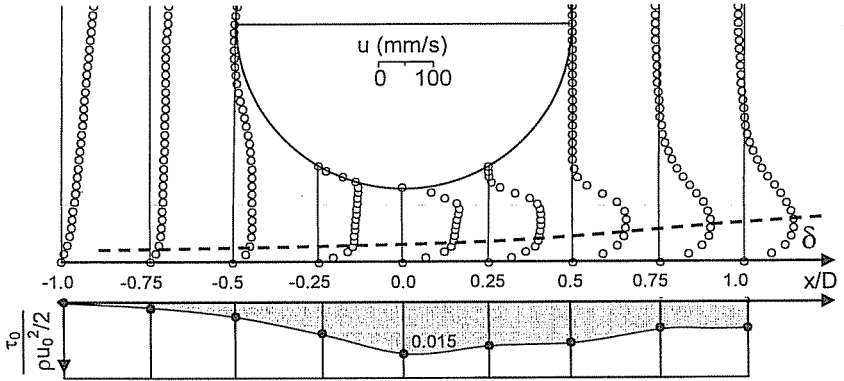


(b)

Şekil 5. $Re_D=840$ ve $G/D=1.0$ için, (a) Silindir yüzeyinde ve (b) Kanal tabanında hız profilleri ve kayma gerilmesi dağılımları



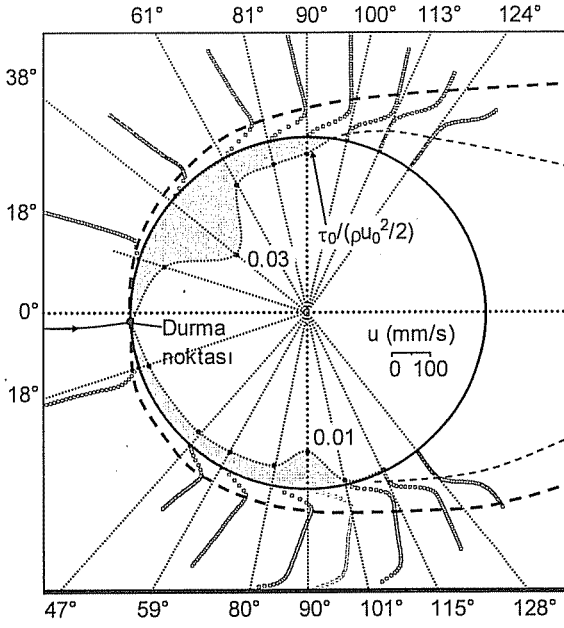
(a)



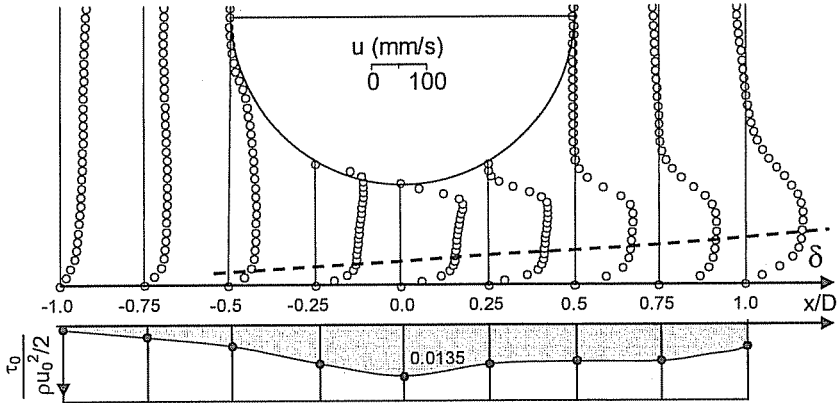
(b)

Şekil 6. $Re_D=4150$ ve $G/D=0.2$ için, (a) Silindir yüzeyinde ve (b) Kanal tabanında hız profilleri ve kayma gerilmesi dağılımları

DÜZENLİ AKIMDA TABANA YAKIN YATAY SİLİNDİR YÜZEYİNDE VE TABANDA
KAYMA GERİLMESİ DAĞILIMLARININ DENEYSEL İNCELENMESİ

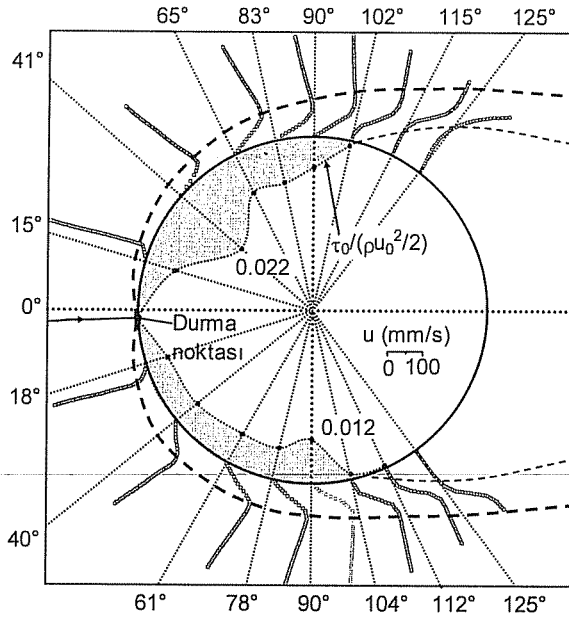


(a)

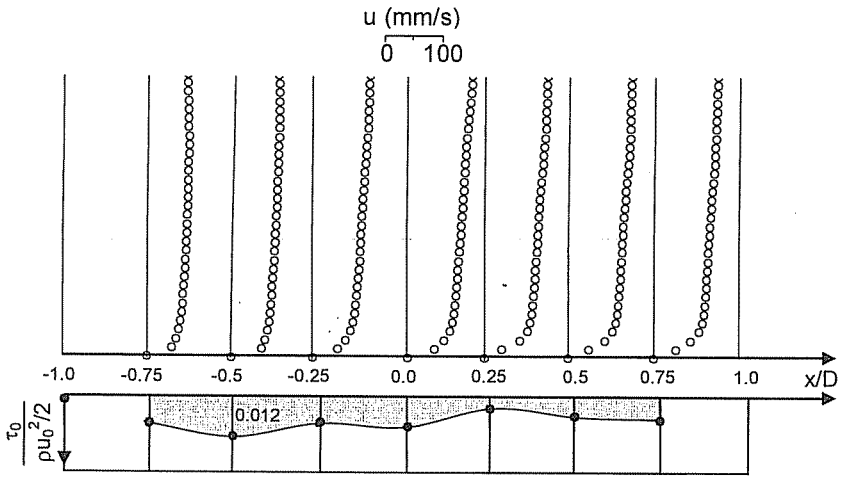


(b)

Şekil 7. $Re_D=4150$ ve $G/D=0.3$ için, (a) Silindir yüzeyinde ve (b) Kanal tabanında hız profilleri ve kayma gerilmesi dağılımları



(a)



(b)

Şekil 8. $Re_D=4150$ ve $G/D=1.0$ için, (a) Silindir yüzeyinde ve (b) Kanal tabanında hız profilleri ve kayma gerilmesi dağılımları

4. SONUÇLAR

$Re_D=840$ ve 4150 olan düzenli, üniform, türbülanslı akımlarda, tabana yakın yatay, pürüzsüz bir silindir etrafındaki akım alanında, $G/D=0.2, 0.3$ ve 1.0 boşluk oranları için, silindir yüzeyi ve taban üzerindeki sınır tabakası deneysel hız profillerinden yararlanılarak katı yüzeyler üzerindeki kayma gerilmesi dağılımları sunulmuş, ve silindirin tabana yakınlığını temsil eden G/D boşluk oranının, hız ve kayma gerilmesi alanları üzerindeki etkisi incelenmiştir.

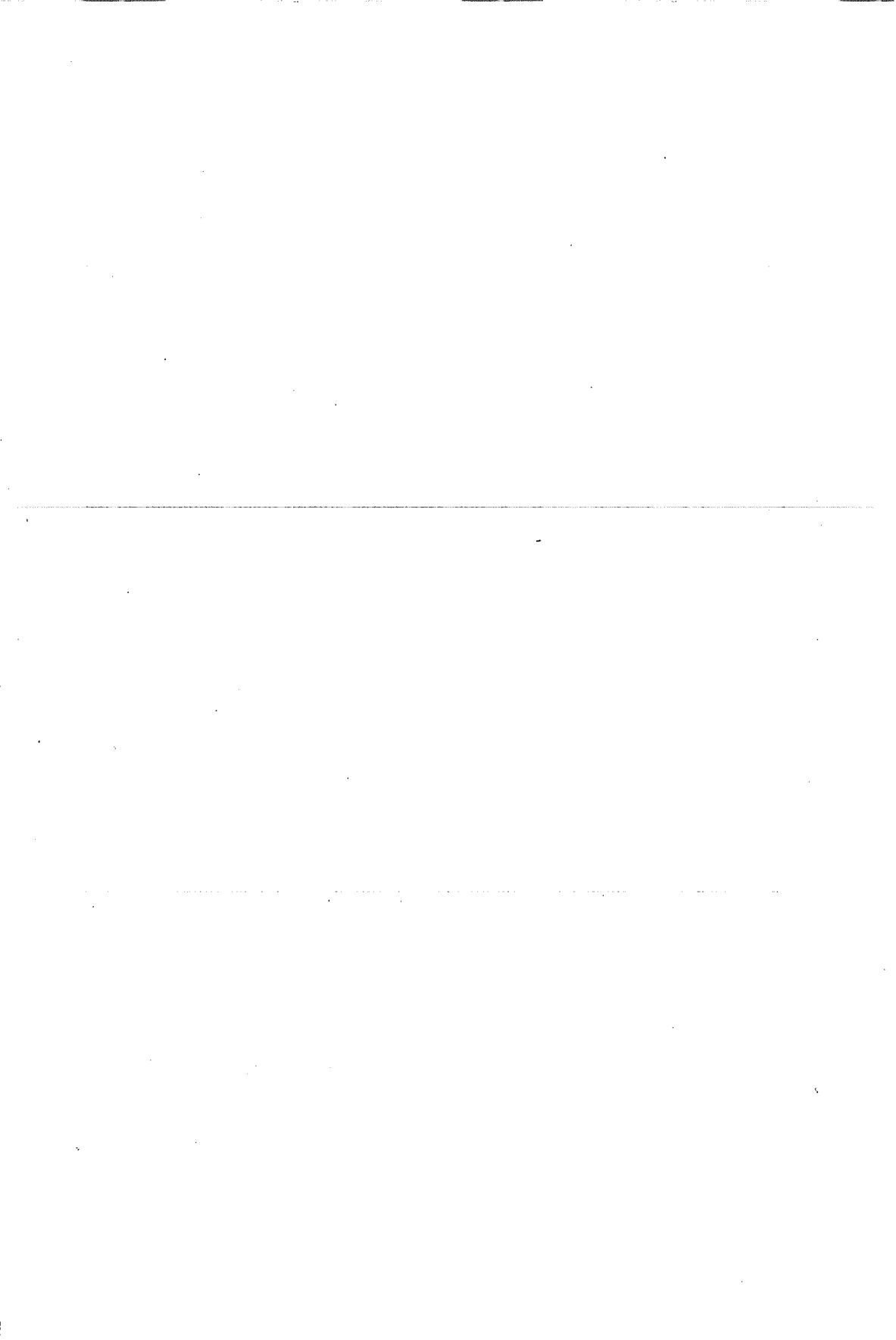
$G/D=1.0$ boşluk oranında, silindir etrafındaki hız alanının, silindirin yatay eksenine göre simetrik bir görünüme yaklaşması, bu boşluk oranında, silindir ile etkileşen akım bölgesinin, tabanın etkisinden büyük ölçüde bağımsız hale geldiğini göstermiştir. Silindirin üst yüzeyindeki kayma gerilmesi, durma ve ayrılma noktaları arasında değişim göstermekte ve $G/D=1.0$ dışındaki boşluk oranlarında yaklaşık $\alpha=40^\circ$ civarında maksimum olmaktadır. Silindirin alt yüzeyinde de kayma gerilmesi, durma ve ayrılma noktaları arasında değişmekle birlikte tüm akım koşullarında, maksimum değerini silindirin en alt noktasında almaktadır. Taban üzerindeki kayma gerilmesi dağılımında, maksimum değer, $G/D=0.2$ ve 0.3 boşluk oranlarında silindir-taban aralığının en dar kesitinde meydana gelmektedir. $G/D=1.0$ için ise, taban kayma gerilmesi dağılımı üniformlaşma eğilimi göstermektedir ki bu oluşum, silindir etrafındaki akımın bu boşluk oranında katı taban etkisinden büyük ölçüde uzaklaştığını göstermektedir.

6. TEŞEKKÜR

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

7. KAYNAKLAR

1. Bearman, P.W., Zdravkovich, M.M., "Flow around a circular cylinder near a plane boundary", *Journal of Fluid Mechanics*, 89, 33-47, 1978.
2. Zdravkovich, M.M., "Forces on a circular cylinder near a plane wall", *Applied Ocean Research*, 7, 197-201, 1985.
3. Choi, J.H., Lee, S.J., "Ground effect of flow around an elliptic cylinder in a turbulent boundary layer", *Journal of Fluids and Structures*, 14, 697-709, 2000.
4. Price, S.J., Sumner, D., Smith, J.G., Leong, K., Paidoussis, M.P., "Flow visualization around a circular cylinder near to a plane wall", *Journal of Fluids and Structures*, 16, 175-191, 2002.
5. Sümer, B.M., Fredsoe, J. "Hydrodynamics around Cylindrical Structures", *World Scientific, Singapore*, 1997.
6. Zdravkovich, M.M., "Flow Around Circular Cylinders, Vol. 1: Fundamentals", *Oxford University Press Inc., New York*, 1997.
7. Şahin, B., Akıllı, H., Öztürk, N.A., Karakuş, C., Kahraman, A., Akar, A., Yanıktepe, B., Özalp, C., Gürlek, C., "Akışkanlar mekaniği uygulamalarında parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniği (PIV)", *ÇÜ Müh.-Mim. Fak. Dergisi*, 18, 103-111, 2003.
8. Kırkgöz, M.S., Öner, A.A., "Yatay bir dairesel silindir etrafındaki akımda hız alanının deneysel ve teorik incelenmesi", *ÇÜ Müh.-Mim. Fak. Dergisi*, 21, 85-98, 2006.
9. Kırkgöz, M.S., "Turbulent velocity profiles for smooth and rough open channel flow", *Journal of Hydraulic Engineering*, 115(11), 1543-1561, 1989.



TABANA YAKIN BİR SİLİNDİR ETRAFINDAKİ AKIMIN FARKLI TÜRBÜLANS MODELLERİ İLE SAYISAL MODELLENMESİ

M. Sami AKÖZ, A. Alper ÖNER ve M. Salih KIRKGÖZ

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

ÖZET : Batmış silindirik yapı etrafında gözlenen akım, boru hatları, açık deniz ve kıyı yapıları gibi birçok mühendislik uygulamasında yaygın olarak karşılaşılmaktadır. Bu yapılara gelen hidrodinamik kuvvetler ve yapıların bu kuvvetlere cevabı tasarım açısından önem arz etmektedir. Silindirik yapılarla etkileşime giren akımların yapısının ve basınç alanının belirlenmesinde, akımdaki hız alanının bilinmesi en önemli bilgi kaynağını oluşturmaktadır. Bu çalışmada, $Re_D=9500$ olan bir akımda boşluk oranı $G/D=0.2$ olacak şekilde tabana yakın yatay bir dairesel silindir etrafındaki akımın hız alanı deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Akım hızları PIV tekniği ile ölçülmüştür. Akım hızlarını hesaplanması için, temel denklemler, $k-\epsilon$, $k-\omega$ ve SST türbülans modelleri kullanılarak, sonuç elemanlar yöntemine dayalı ANSYS paket programı ile çözülmüştür. Farklı türbülans modelleri ile hesaplanan akım hızları deneysel bulgularla karşılaştırılmış, ve SST türbülans modelinin diğer türbülans modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

NUMERICAL MODELING OF FLOW AROUND A CYLINDER NEAR BOTTOM USING DIFFERENT TURBULENCE MODELS

ABSTRACT : The flow around an immersed cylinder is widely encountered in engineering practices such as pipelines, offshore and coastal structures. The determination of hydrodynamic forces exerted on such structures and the response of them against these forces are important for design considerations. The velocity field is the most important information in determining the structure and pressure field of flow which interacts with a cylindrical body. In this study, the velocity field of flow around a horizontal circular cylinder is investigated both experimentally and theoretically for the gap ratio $G/D=0.2$ and flow condition of $Re_D=9500$. PIV technique is used to measure the flow velocities. ANSYS program package based on finite element method is used to solve the governing equations for the velocities. The numerical simulations are carried out using $k-\epsilon$, $k-\omega$ and SST turbulence models. The numerical results obtained from different turbulent models are compared with the experimental velocities, and SST turbulence model is found relatively better in simulation the flow field.

1. GİRİŞ

Bir silindir etrafındaki akımın incelenmesi, köprü ayakları, boru hatları, açık deniz ve kıyı yapıları gibi birçok mühendislik uygulamasında karşılaşılan akışkanlar mekaniği konularındandır. Bu tür yapıların etrafında oluşan akımların, karakteristik özelliklerinin ve yapıları uyguladığı hidrodinamik kuvvetlerin doğru bir şekilde tahmin edilmesi tasarım açısından önem taşımaktadır. Bu amaçlarla, geçmişte, birçok araştırmacı tarafından gerek deneysel gerekse teorik olarak hız ve basınç alanlarının tespitine yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Silindir üzerinde sınır tabakasının ayrılması, durma noktasının yeri, sınır ve kayma tabakaları, ayrılma bölgesinin vorteks yapısı ve türbülans özellikleri ile yerel hız dağılımları, silindir etrafındaki akımın yapısını belirlemede irdelenen başlıca odak noktalarıdır [1-6]. Yapılan deneylerde, silindir ile taban arasındaki boşluk oranı (G/D), rölatif sınır tabakası kalınlığı (δ/D), ve Reynold sayısı (Re_D)'nin silindirle etkileşen akım üzerindeki etkileri de araştırılmıştır [7-9]. Bu araştırmalardan elde edilen bulgularda, G/D 'nin azalması ve δ/D 'artması ile birlikte silindir üzerindeki durma noktasının tabana yaklaştığı görülmüştür. Boşluk oranı, silindir üzerindeki ayrılma noktalarının açılmal pozisyonlarını da etkilemektedir. G/D 'nin azalmasıyla birlikte üst ayrılma noktası silindirin membasına, alt ayrılma noktası ise mansabına doğru kaymaktadır. Ayrıca, G/D 'nin belli bir değerin altına düşmesi durumunda silindir mansabında düzenli vorteks kopmaları görülmektedir.

Silindir etrafındaki akım ile ilgili yapılan çalışmalarda irdelenen bir başka konu da yapı ile akım arasındaki etkileşimden kaynaklanan dinamik kuvvetlerdir. Farklı yapı ve akım şartları için basınçları ölçmek suretiyle elde edilen dinamik kuvvetler, basınç ve kuvvet katsayıları ve bunları etkileyen faktörler araştırmacılar tarafından belirlenmeye çalışılmıştır [8,10]. Bu çalışmalara göre, silindir kısmen ya da tamamen akımın sınır tabakası içinde yer alması durumunda itki kuvveti katsayısı (C_D) azalmakta ve $G/D=0$ olduğunda (silindir tabana oturduğunda) minimum değerine ulaşmaktadır. Silindirin sınır tabakası dışında olması durumunda ise C_D boşluk oranından etkilenmemektedir. Azalan G/D oranlarında akımdaki simetrisinin kaybolmasıyla birlikte kaldırma kuvveti katsayısı (C_L) artış göstermekte ve $G/D=0$ olması halinde de maksimum değerine ulaşmaktadır.

Silindir etrafındaki türbülanslı akım ile ilgili teorik çalışmalarda, genellikle, süreklilik ve Reynolds hareket denklemlerinin, sonlu hacimler, sonlu elemanlar ve sonlu farklar gibi çeşitli sayısal yöntemler ile çözümü yapılmıştır [11-13]. Söz konusu sayısal çözüm yöntemlerine dayalı olarak geliştirilen Fluent, Cobalt ve Ansys gibi ticari paket programlar, günümüzde bu tür problemlerin çözümünde sıkca kullanılmaktadır [5,14,15]. Sayısal hesaplamalarda, Reynolds denklemlerinde yer alan türbülans viskozitesinin tanımlanması için, farklı yaklaşımları esas alan $k-\epsilon$, $k-\omega$, SGS ve SST gibi çeşitli türbülans modelleri kullanılmıştır [16,17].

Bu çalışmada, düzenli akımda tabana yakın pürüzsüz yatay bir silindir etrafında oluşan iki boyutlu türbülanslı akımın hız alanı, Reynolds sayısı $Re_D=9500$ ve boşluk oranı $G/D=0.2$ için deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Temel denklemler, sonlu elemanlar yöntemine dayalı ANSYS paket programı yardımıyla $k-\epsilon$, $k-\omega$ ve SST türbülans modelleri kullanılarak çözülmüş ve sayısal modellemelerden edinilen bulgular PIV tekniği ile ölçülen hızlarla karşılaştırılmıştır.

2. DENEYLER

Deneyler Makine Mühendisliği Bölümündeki 1m genişlik, 0.75 m derinlik ve 14 m uzunluğundaki pleksiglas duvarlı açık kanal düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Kanal içerisine, tabandan itibaren üst yüzeyi 0.28 m yüksekte olacak şekilde, 2 m uzunluk ve 15 mm kalınlıklı pleksiglasdan yapılmış, kanal genişliğinde bir düzlem platform yerleştirilmiştir. Çapı $D=50\text{mm}$ olan pleksiglasdan yapılmış dairesel pürüzsüz test silindiri Şekil 1’de görüldüğü gibi platform ile arasında $G=10\text{ mm}$ boşluk (boşluk oranı $G/D=0.2$) olacak şekilde platformun üzerine, platformun başından itibaren 1.5 m ($30D$) mesafede yatay olarak monte edilmiştir. Deney platformunun üzerinde akım derinliği 0.32 m’dir.

Türbülanslı, düzenli akım şartlarında yapılan deneyde silindirin yerinde bulunmadığı durumda ölçülen hız profilinde, sınır tabakasının üst sınırındaki serbest akım hızı $u_0=197\text{ mm/s}$ ve bu hız ile hesaplanan Reynolds sayısı $Re_D(=u_0D)/\nu=9500$ şeklindedir (ν akışkanın kinematik viskozitesidir). Silindir etrafındaki akımlarda bu değerdeki Reynolds sayısına sahip akımlar (yani, $300 < Re_D < 3 \times 10^5$ aralığında) kritik-altı olarak sınıflandırılmıştır [7,18]. Silindir etrafında kritik-altı rejimdeki akımların karakteristik özellikleri, silindir yüzeyinde sınır tabakası akımının laminer, silindirin ayrılma bölgesinde akımın tümüyle türbülanslı olmasıdır.

Akım hızlarının ölçülmesinde, parçacık görüntülemeli hız-ölçümü (*particle image velocimetry-PIV*) tekniği ile çalışan bir sistem kullanılmıştır. Bu sistemde, lazer demeti ile düzlemsel olarak ışınlanan bir bölgedeki anlık akım hızları, akım rahatsız edilmeden aynı anda ölçülebilmektedir. Parçacıkların akışkan hareketini takip ettiği varsayımı ile, akışkanla aynı hızda hareket eden mikron boyutundaki gümüş kaplı parçacıklar akışkana bırakılmakta ve hareketleri belirli zaman aralıklarındaki lazer ışınmaları ile görüntülenerek CCD kamera ile kayıt edilmektedir. Belirli zaman aralığında çekilen iki resimdeki parçacıkların yer değiştirmesinden noktasal anlık hızlar, ve belli bir zaman diliminde de zamansal ortalama hızlar tespit edilmektedir. Kayıt edilen anlık ve ortalama hız değerleri istenilen çeşitli bilgilere dönüştürülebilmektedir.

3. TEMEL DENKLEMLER VE SAYISAL ÇÖZÜM

Silindir etrafındaki akım, düzenli, iki-boyutlu, sıkışmayan, türbülanslı akım olup hareketi idare eden temel denklemler, kütle ve momentumun korunumu denklemleri, aşağıdaki gibidir:

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

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

(1) ve (2) denklemlerinde u_i , x_i doğrultusundaki akım hız bileşeni (yani, u ve v olarak yatay (x) ve düşey (y) hız bileşenleri), K_i yer çekiminden kaynaklı kütleli kuvvet, p basınç, μ dinamik viskozite, ρ akışkan yoğunluğu, $-\rho \overline{u'_i u'_j}$ türbülans kayma gerilmesi (τ_{ij}), ve u'_i ve u'_j yatay ve düşey türbülans hız sapınçlarıdır.

(2) denklemindeki türbülans kayma gerilmesi bünye denklemi ile verilmiştir:

$$\tau_{ij} = -\rho \overline{u'_i u'_j} = \eta \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

burada η türbülans viskozitesini temsil etmektedir.

Akışkan hareketinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD-computational fluid dynamics) yöntemleri ile modellemesinde, (3) denklemindeki η türbülans viskozitesinin belirlenmesi için çeşitli türbülans modelleri geliştirilmiştir [19]. Bu çalışmada, sayısal model bulgularının deneylerle karşılaştırılmasında aşağıdaki türbülans modelleri kullanılmıştır.

Standart k- ϵ türbülans modeli: Bu model ile türbülans viskozitesi, türbülans kinetik enerjisi, k, ve onun kayıp nispetine, ϵ , bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [20]:

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

(4) denkleminde C_η (=0.09) türbülans sabitidir. k- ϵ modelinde k ve ϵ değerlerinin bulunması için iki adet kısmi diferansiyel transport denkleminin çözümü gerekmektedir.

Standart k- ω türbülans modeli: İki-denklemlilik türbülans modellerinden biri de k- ω modeli olup, türbülans viskozitesi aşağıdaki ifade ile hesaplanmaktadır [21]:

$$\eta = \rho \frac{k}{\omega} \quad (5)$$

(5) denklemindeki ω , özgül kayıp nispeti olup birim türbülans kinetik enerji için türbülans kayıp nispetini (ϵ/k) temsil etmekte olup aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\omega = \frac{\epsilon}{C_\eta k} \quad (6)$$

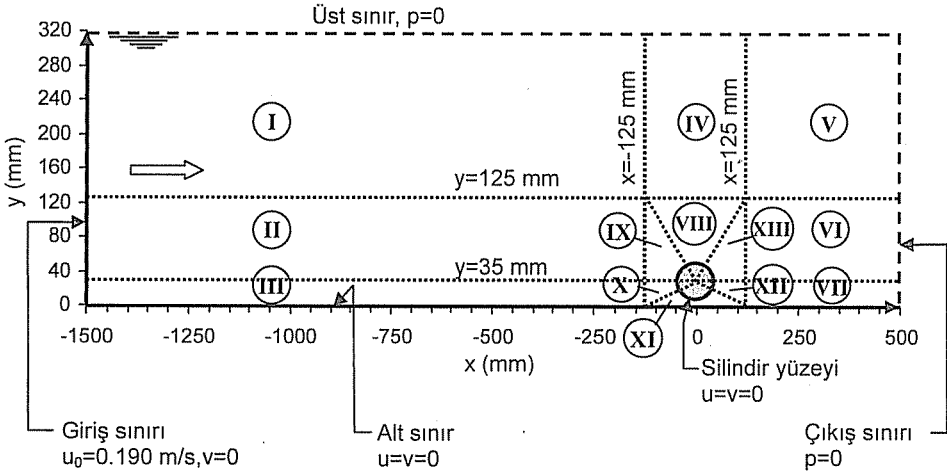
Bu modelde, k'nın yanı sıra ω için ikinci bir transport denkleminin çözülmesine ihtiyaç duyulmaktadır. k- ω modeli, k- ϵ modeline kıyasla daha az uygulama alanı bulmakla birlikte, pozitif basınç gradyanının olduğu sınır tabakası akımlarında daha başarılı sonuçlar verdiği bildirilmektedir [21].

SST türbülans modeli: Katı sınıra yakın akım bölgelerinde k- ω , uzak bölgelerde ise k- ϵ türbülans modelinin daha uygun olduğu varsayımından hareketle her iki modelin üstünlüklerini tek modelde birleştiren bir türbülans modelidir. Böylece, SST (*shear stress transport*) modeli, bir karışım fonksiyonu yardımı ile model katsayıları ilgili modelin katsayılarına uyarlanarak, katı sınıra yakın yerlerde k- ω modeli ile uyumlu olurken, katı sınırdan uzaklaştıkça yumuşak geçişle k- ϵ modeline dönüşmektedir [22].

Bu çalışmada, akışkan hareketini idare eden (1) ve (2) denklemlerinin, açıklanan türbülans modelleri kullanılarak, hız ve basınç bilinmeyenleri için sayısal çözümü, sonlu elemanlar yöntemine dayanan ANSYS paket programı ile yapılmıştır.

3.1. Çözüm Bölgesi, Sınır Şartları ve Sayısal Hesaplama Ağı

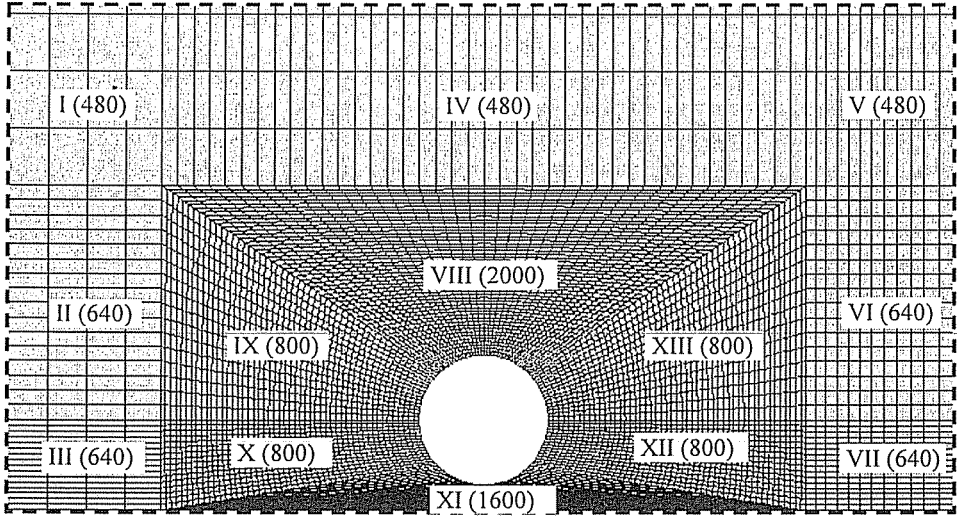
Şekil 1'de görüldüğü gibi, silindir ile etkileşim halindeki açık kanal akımının sayısal modellenmesi için ele alınan çözüm bölgesinin geometrisi ve boyutları deney şartları ile aynı olup 2 m uzunluklu platformun üzerindeki 0.32 m yükseklikli akım alanı çözüm bölgesi olarak seçilmiştir. İki boyutlu kartezyen koordinat sisteminin orijini olarak, silindir merkezinin düşeyindeki taban noktası alınmıştır. Çözüm bölgesinin üst sınırı ile çıkış sınırında, sınır şartı olarak $p=0$ değeri kullanılmıştır. Alt sınırda ve silindir yüzeyinde ise no-slip sınır şartı, yani $u=v=0$, kabulü yapılmıştır. Çözüm bölgesinin giriş sınırında, yatay hız bileşeni, deneylerde ölçülen hız profilinin derinlik ortalama değeri olan $u=190$ mm/s, ve düşey hız bileşeni $v=0$ alınmıştır. $D=50$ mm çaplı silindir, deney şartları ile aynı olacak şekilde giriş sınırından 1.5 m, çıkış sınırından ise 0.5 m uzaklıkta olup, platform ile arasındaki boşluk mesafesi $G=10$ mm'dir ($G/D=0.2$).



Şekil 1. Sayısal hesaplama bölgesi ve sınır şartları

Şekil 1'de tanımlanan çözüm bölgesi için farklı yoğunlukta hesaplama ağları için sayısal çözümler yapılmış ve bunlar arasında deneylerle en uyumlu çözüm sonuçlarının elde edildiği sonlu elemanlar ağı Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi, silindirden etkilenen akım bölgesindeki hesaplama ağı, etkilenmeyen uzak bölgelere kıyasla, özellikle de silindir yüzeyine doğru radyal doğrultuda daha fazla yoğunlaştırılmıştır. Diğer taraftan, akım alanındaki taban ve silindir yüzeyi sınır tabakalarında ve silindir arkasındaki kayma tabakalarında ağ elemanlarının boyutları

küçültülmüştür. Bu ölçütler çerçevesinde yapılandırılan hesaplama ağının farklı yoğunluktaki 13 adet alt bölgesi ve bu bölgelerdeki eleman sayıları Şekilde 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Sonlu elemanlar hesaplama ağı

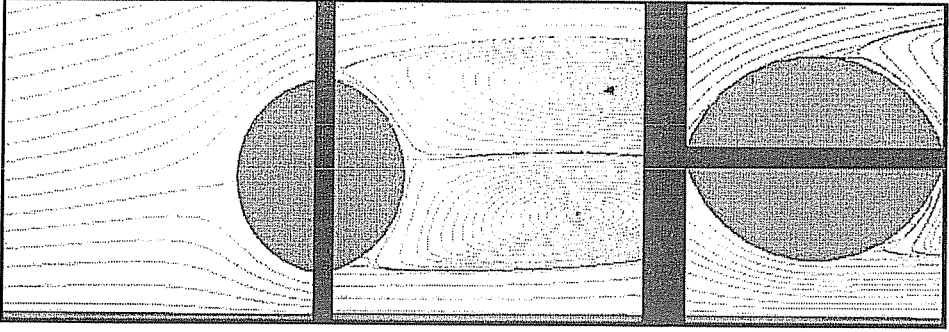
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, ANSYS paket programı yardımıyla farklı türbülans modelleri kullanılarak modellenen çözüm bölgesi için elde edilen sayısal hesaplama bulguları deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır.

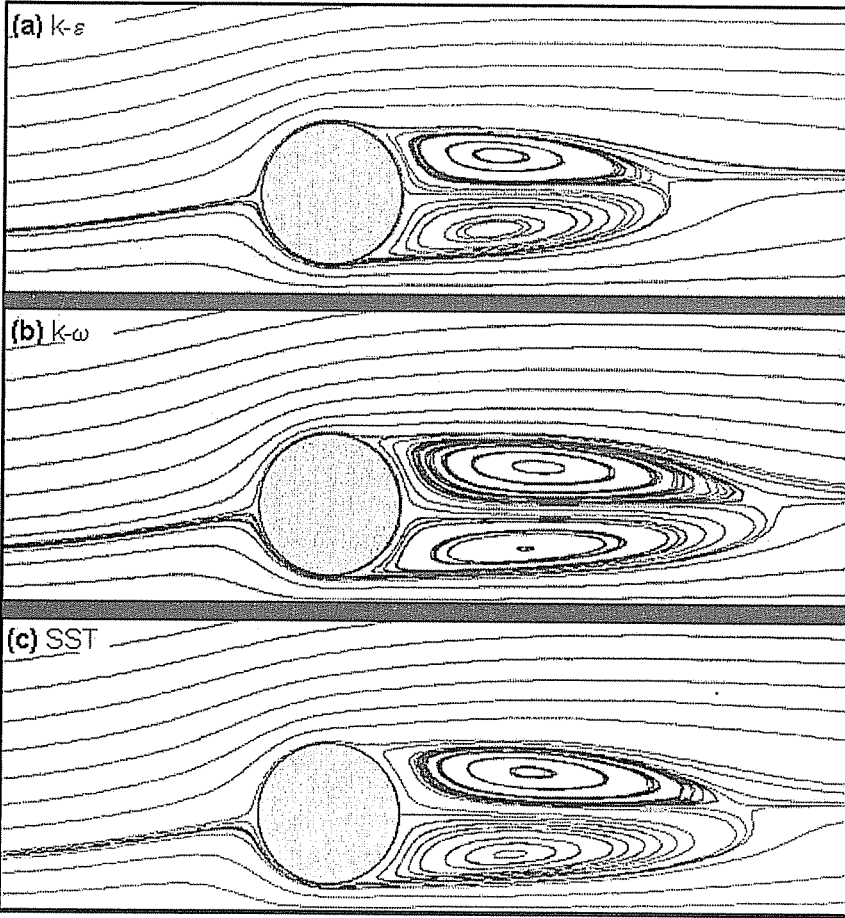
4.1. Akım Çizgileri

Şekil 3 ve 4’de deneysel ve teorik hız alanlarından elde edilen akım çizgileri verilmiştir. Şekillerden, silindirin memba tarafındaki akım bölgesinde, sayısal modellerden bulunan akım çizgilerinin deneysel akım çizgileri ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Bu uyum, her üç türbülans modeli için de söz konusudur. Şekil 3’de görülen deneysel akım çizgileri deseninde durma noktasının silindir üzerindeki pozisyonu, silindirin yatay ekseninden tabana doğru yaklaşık 5°’lik bir açıya karşılık gelmektedir. Şekil 4’de verilen teorik akım çizgilerinde, her üç türbülans modeli ile elde edilen durma noktalarının yerleri Şekil 3’deki deneysel sonuçla benzerlik göstermektedir.

Silindirin mansabındaki ayrılma bölgesinde, deneysel ve teorik zamansal-ortalama akım çizgileri genelde benzer yapıya sahip olmakla birlikte, sayısal hesaplamalardan bulunan ayrılma bölgelerinin geometrisi, genişlik, uzunluk ve asimetric konumlanma bakımından deney sonucuna göre farklılıklar göstermektedir. Bu farklılık ayrılma bölgesinde oluşan vorteks çifti merkezlerinin koordinatlarına da yansımaktadır.



Şekil 3. Deneysel akım çizgileri



Şekil 4. Teorik akım çizgileri

Şekil 3 ve 4'deki silindir ayrılma bölgesinde yer alan deneysel ve teorik vorteks çiftindeki alt ve üst vorteks merkezlerinin silindir merkezine olan yatay uzaklıkları ile vorteks merkezleri arasındaki düşey mesafelerin, silindir çapı ile boyutsuzlaştırılmış değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Vorteks merkezlerinin boyutsuz mesafeleri

	Vorteks merkezlerinin uzaklığı, x/D		Merkezler arası düşey mesafe, $\Delta y/D$
	Alt vorteks	Üst vorteks	
Deneysel	1.41	1.56	0.63
k- ϵ	1.06	1.19	0.53
k- ω	1.39	1.47	0.58
SST	1.31	1.44	0.60

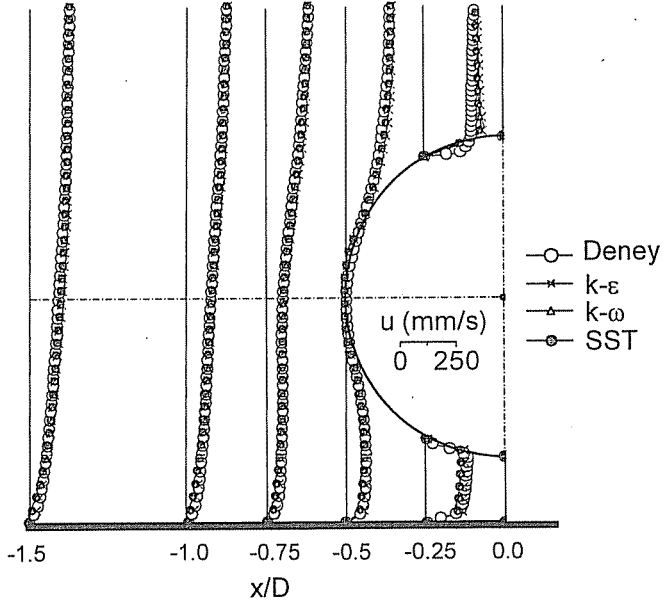
Çizelge 1'de görüldüğü gibi, k- ω ve SST türbülans modellerinden elde edilen vorteks merkezlerinin silindire olan yatay mesafeleri ile vorteks merkezleri arasındaki düşey mesafeler, k- ϵ modeline kıyasla, deneysel bulgulara daha yakın çıkmaktadır.

Bu çalışmadaki deney koşulları için Şekil 3'deki ayrılma noktalarının yaklaşık açısız pozisyonları -x doğrultusundan silindir üst yüzeyinde 90° , alt yüzeyinde ise 109° olarak belirlenmiştir. Silindirin alt yüzeyindeki sınır tabakası ayrılması, üst yüzeydekine nazaran mansaba daha yakın bir noktada meydana gelmekte olup bu sonuç, önceki araştırmacılar tarafından verilmiş olan bulgularla uyumludur [7,9,22]. Sayısal modelden, farklı türbülans modelleri için Şekil 4'de verilen akım çizgilerinden, silindir sınır tabakalarının ayrılma açıları, üst ve alt yüzeylerde sırasıyla 97° - 102° ve 105° - 114° arasında değiştiği görülmektedir. Silindirin alt yüzeyindeki ayrılma noktası için bulunan sayısal model bulguları deney ile uyumlu olmakla birlikte, üst yüzeyindeki ayrılma noktası model bulguları, deneye göre daha mansaba kaymaktadır. Bu da, Şekil 3 ve 4'ün karşılaştırılmasından görüldüğü gibi, sayısal modellerden elde edilen ayrılma bölgesi genişliklerinin deneye göre daha dar olduğu anlamına gelmektedir. Şekil 3 ve 4'deki akım çizgileri ve Çizelge 1'de verilen vorteks çifti pozisyonlarının karşılaştırılmasından, silindir etrafındaki akım çizgileri deseninin SST türbülans modeli ile daha iyi tanımlandığını söylemek mümkündür.

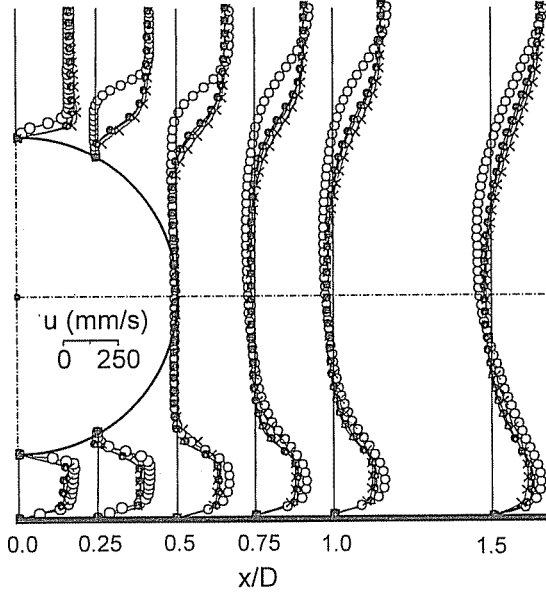
4.2. Hız Dağılımları

Silindirin memba ve mansabındaki $x/D = \pm(0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0$ ve $1.5)$ kesitlerinde deneysel ve teorik yatay hız profilleri Şekil 5'de verilmiştir. Şekil 5(a)'daki hız profillerinde görüldüğü gibi, silindirin membasındaki kesitlerde her üç türbülans modeli ile hesaplanan akım hızları, deneysel hızlarla büyük ölçüde uyumludur. Şekil 5(b)'deki deneysel ve teorik hız profillerinde, silindir ile taban arasındaki boşluktan geçen akım boyunca da, yani mansap bölgesi taban sınır tabakası ve alt kayma tabakasını içine alan bölgede, üç türbülans modelinden elde edilen sayısal hesap bulgularının aynı derecede başarılı olduğu görülmektedir.

(a) Silindir
membasında
hız profilleri



(b) Silindir
mansabında
hız profilleri



Şekil 5. Silindir (a) membasında ve (b) mansabında deneysel ve teorik hız profilleri

Silindirin mansap bölgesinde, yani ayrılma bölgesinde, deneysel ve teorik akım çizgileri desenlerinde görülen farklılıklar, Şekil 5(b)'deki hız profillerinde de görülmektedir. Yani, sayısal hesaplardan bulunan hız profillerine göre, silindir üst yüzeyindeki ayrılma noktası deneye kıyasla daha mansaba kaymaktadır. Bununla birlikte, silindirin mansabındaki üst kayma tabakasının ilerleyen kesitlerinde, sayısal modelden elde edilen hız profillerinin deneysel bulgulara yaklaştığı, yani, mevcut akım koşulları itibariyle, mansap bölgesinde silindirden uzaklaştıkça sayısal modellemenin daha başarılı olduğu izlenimi edinilmektedir. Şekil 5(b)'deki deneysel ve teorik hız profillerinin incelenmesinden, silindir üst yüzeyindeki ayrılma noktasının hemen mansabında, SST türbülans modelinin, diğerlerine göre biraz daha başarılı olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Düzenli akımda, boşluk oranı $G/D=0.2$ olacak şekilde kanal içine yerleştirilen yatay bir silindir etrafındaki $Re_D=9500$ olan iki boyutlu türbülanslı akımın deneysel ve teorik olarak analizi yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemine dayalı ANSYS paket programı kullanılarak hız alanı için elde edilen sayısal bulgular PIV tekniği ile ölçülen hızlarla karşılaştırılmıştır. Sayısal modellemede $k-\epsilon$, $k-\omega$ ve SST türbülans modelleri kullanılmıştır. Hız dağılımlarının karşılaştırılmasından, silindirin membasında, taban üzerindeki sınır tabakası akımında ve ayrılma bölgesinin alt kayma tabakasında, sayısal modellerden bulunan akım hızlarının deneylerle oldukça uyumlu olduğu görülmüşürken, üst kayma tabakasının başlangıç bölgesinde bu uyumun zayıf kaldığı görülmüştür. Bunun sonucu olarak, silindir üst yüzeyinde, sayısal modellerden bulunan ayrılma noktaları, deney sonucuna göre daha mansaba kaymaktadır. Bu çalışmadaki akım koşulları için CFD modeli ve deneysel bulguların karşılaştırılmasından, hız alanının tanımlanması ve buna bağlı olarak silindir ayrılma bölgesindeki vorteks çiftinin geometrik yapısı bakımından SST türbülans modelinin $k-\epsilon$ ve $k-\omega$ modellerine kıyasla az da olsa daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.

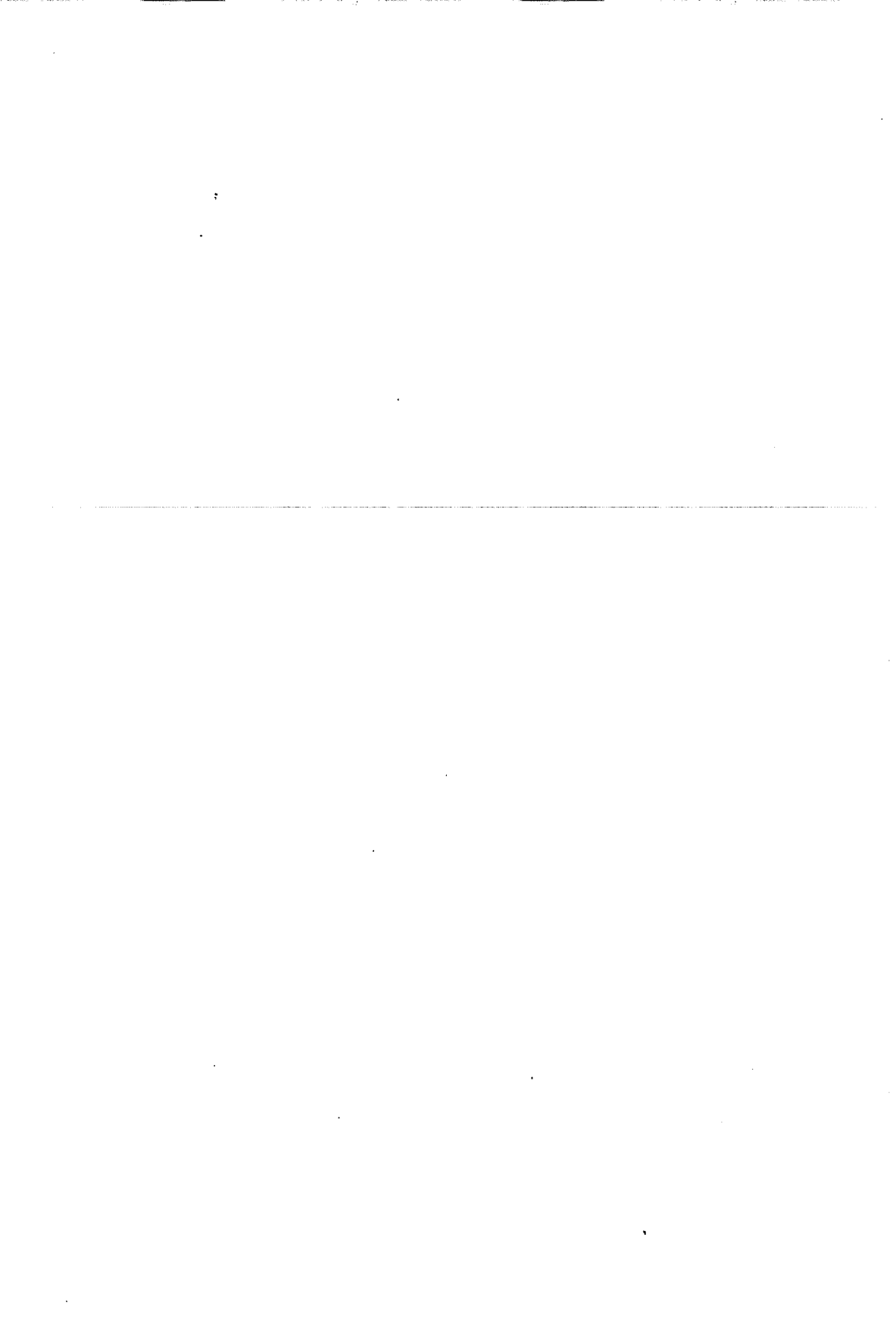
6. TEŞEKKÜR

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

7. KAYNAKLAR

1. Bearman, P.W., Zdravkovich, M.M., "Flow around a circular cylinder near a plane boundary", *Journal of Fluid Mechanics*, 89, 33-47, 1978.
2. Wu, J., Sheridan, J., Hourigan, K., Soria, J., "Shear layer vortices and longitudinal vortices in the near wake of a circular cylinder", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 12, 169-174, 1996.
3. Hoyt, W.J., Sellin, R.H.J., "A comparison of tracer and PIV results in visualizing water flow around a cylinder close to the free surface", *Experiments in Fluids*, 28, 261-265, 2000.
4. Rajagopalan, S., Antonia, A.R., "Flow around a circular cylinder-structure of the near wake shear layer", *Experiments in Fluids*, 38, 393-402, 2005.

5. Hatipoğlu, F., Avci, İ., "Flow around a partly buried cylinder in a steady current", *Ocean Engineering*, 30, 239-249, 2003.
6. Braza, M., Perrin, R., Hoarau, Y., "Turbulence properties in the cylinder wake at high Reynolds numbers", *Journal of Fluids and Structures*, 22, 757-771, 2006.
7. Sumer, B.M., Fredsoe, J., "Hydrodynamics around Cylindrical Structures", *World Scientific, Singapore*, 1997.
8. Lei, C., Cheng, L., Kavanagh, K., "Re-examination of the effect of a plane boundary on force and vortex shedding of a circular cylinder", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 80, 263-286, 1999.
9. Price, S.J., Sumner, D., Smith, J.G., Leong, K., Paidoussis, M.P., "Flow visualization around a circular cylinder near to a plane wall", *Journal of Fluids and Structures*, 16, 175-191, 2002.
10. Zdravkovich, M.M., "Forces on a circular cylinder near a plane wall", *Applied Ocean Research*, 7, 197-201, 1985.
11. Straatman, A.G., Martinuzzi, R.J., "An examination of the effect of boundary layer thickness on vortex shedding from a square cylinder near a wall", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91, 1023-1037, 2004.
12. Bhattacharyya, S., Maiti, D.K., "Shear flow past a square cylinder near a wall", *International Journal of Engineering Science*, 42, 2119-2134, 2004.
13. Zhao, M., Cheng, L., Teng, B., Liang, D., "Numerical simulation of viscous flow past two circular cylinders of different diameters", *Applied Ocean Research*, 27, 39-55, 2005.
14. Hansen, R.P., Forsythe, J., "A grid convergence study of a highly separated turbulent flow", *Computing in Science and Engineering*, Nov/Oct, 30-37, 2004.
15. Abdel Dayem, A.M., Bayomi, N.N., "Experimental and numerical flow visualization of a single square cylinder", *International Journal for Computational Methods in Engineering Science and Mechanics*, 7, 113-127, 2006.
16. Liang, D., Cheng, L., "Numerical modeling of flow and scour below a pipeline in currents, Part I. Flow simulation", *Coastal Engineering*, 52, 25-42, 2005.
17. Tucker, P.G., Liu, Y., "Turbulence modeling for flows around convex features giving rapid eddy distortion", *Heat and Fluid Flow (article in press)*, 2007.
18. Zdravkovich, M.M., "Flow around Circular Cylinders, Vol. 1: Fundamentals", *Oxford University Press Inc., New York*, 1997.
19. Wilcox, D.C., "Turbulence Modeling for CFD", *DCW Industries, Inc., California*, 2000.
20. Launder, B.E., Spalding, D.B., "The numerical computation of turbulent flows", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3, 269-289, 1974.
21. Wilcox, D.C., "Reassessment of the scale-determining equation for advanced turbulence models", *American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal*, 26(11), 1299-1310, 1988.
22. Menter, F.R., "Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications", *AIAA Journal*, 32(8), 1598-1605, 1994.



KAMU İHALE SİSTEMİNDEKİ DEĞİŞİKLİĞİN İNŞAAT YATIRIMLARININ SÜRE VE MALİYETİNE YANSIMALARI

M. Emin ÖCAL ve Nuray TURHAN

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

ÖZET : *Bu çalışmada, 01.01.1984 yılında yürürlüğe giren 2886 sayılı Devlet İhale Kanunu ile 01.01.2003 yılında yürürlüğe giren 4734 sayılı Kamu İhale Kanununun arasındaki farklılıkların irdelenmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda her iki ihale kanununa dayalı olarak gerçekleştirilen kamu inşaat projeleri incelenerek, bunların gerçekleştirilmesi sürecinde meydana gelen süre ve maliyet sapmaları karşılaştırılmıştır.*

Çalışma sonucunda, 4734 sayılı ihale yasasının, kamu kaynaklarının verimli kullanılmasına katkı sağlar nitelikte düzenlemeler içerdiğine ilişkin önemli bulgulara ulaşılmıştır.

REFLECTIONS OF RECENT CHANGES IN PUBLIC TENDER SYSTEM ON TIME AND COST OF CONSTRUCTION INVESTEMENTS

ABSTRACT : *The present study aims to compare National Procurement Law, Number 2886, which became valid after the January 1st 1984 and Public Procurement Law, Number 4734, which became valid after the January 1st 2003. So this study provides basis to compare each variants between the planned and actual cost and duration of projects which undertaken by these two procurement laws.*

At the end of the investigation some significant conclusions have been achieved which enable to contributing to use of public resources more efficiently, in accordance with Tender Low Number 4734.

1. GİRİŞ

Ülkemizde, 01.01.1984 tarihinde yürürlüğe girmiş olan 2886 sayılı Devlet İhale Kanunu (1). 2003 yılına kadar köklü değişikliğe uğramamıştır. Bu Kanun'un günümüzün değişen ve gelişen ihtiyaçlarını karşılayamaması, uygulamada ortaya çıkan aksaklıkları gidermede yetersiz kalması, bütün kamu kurumlarını kapsamaması, Avrupa Birliği ve uluslararası ihale uygulamalarına paralellik göstermemesi nedeniyle, kamu ihaleleri ile ilgili daha geniş kapsamlı yeni bir kanun hazırlanmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla, 4734 sayılı Kamu İhale Kanunu hazırlanmış ve 01.01.2003 tarihinde yürürlüğe girmiştir (2).

Ülkemizde kamu inşaat yatırımlarının beklenenden daha uzun sürede ve daha yüksek maliyetle gerçekleşmesinin, kamu kaynaklarında önemli israfa neden olduğu bilindiğinden; yeni ihale sistemi, bu konularda önemli iyileşmeler sağlayacağı beklentisiyle hazırlanmıştır (3-5).

Bu çalışmada, 2886 sayılı Devlet İhale Kanunu ve 4734 sayılı Kamu İhale Kanunu'na dayalı olarak yapılan kamu inşaat yatırımlarında, proje süresi ve maliyette ne düzeyde sapmalar meydana geldiği kıyaslanarak, ihale sisteminin değişmesiyle sağlanan iyileşme düzeyinin saptanması hedeflenmiştir (6-8).

Belirtilen amaçla önce; Ankara, Kayseri, Adana, Mersin, Gaziantep, Osmaniye ve Hatay illerinde Bayındırlık ve İskân İl Müdürlüklerince 2886 ve 4734 sayılı yasalara göre ihale edilmiş ve sonuçlandırılmış toplam 1313 adet inşaat projesinin ihale dokümanları incelenmiştir. Bu belgelerden, söz konusu projelerin öngörülen ve gerçekleşen süre ve maliyet değerleri elde edilmiştir. Daha sonra da bu veriler işlenerek elde edilen bulgular, 4734 sayılı Kamu İhale yasasının beklentileri ne düzeyde karşıladığı bağlamında yorumlanmıştır (9).

Sonuç olarak, yeni ihale sisteminin kamu kaynaklarının etkin kullanılmasına önemli katkılar sağlayacak düzenlemeler içerdiğine ilişkin ciddi bulgulara ulaşılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2886 ve 4734 sayılı yasalara göre ihale edilip gerçekleştirilen inşaat projeleri ile ilgili gerekli bilgilerin çok büyük bir bölümü Bayındırlık ve İskân Bakanlığınca derlenmektedir. Bu nedenle bu çalışma için veri toplanırken; Ankara, Kayseri, Adana, Mersin, Gaziantep, Osmaniye ve Hatay illerinde Bayındırlık ve İskân İl Müdürlüklerinin arşivlerinden yararlanılmıştır. Bu bağlamda, Tablo 2.1'de verilmiş olan 7 ilde toplam 1313 adet ihale dosyası incelenmiştir.

Bu incelemeler sonucunda, 2886 ve 4734 sayılı yasalara göre ihale edilerek tamamlanmış bulunan inşaat projelerine ait; ihale onay belgesi, sözleşme, iş programı, geçici ve kesin kabul tutanakları, kesin hakediş raporu gibi ihale işlem dosyalarından çalışmanın amacına yönelik bilgilere ulaşılmıştır. Söz konusu inşaat projelerine ilişkin verilerin, 2886 ve 4734 sayılı yasalara göre yıllar bazında ve illere göre tasnifi yapılmıştır. Bu veriler içinden, çalışmanın amacına yönelik bilgiler ayıklanarak ana veri tabloları oluşturulmuştur (EK: 1, EK: 2, EK: 3, EK: 4).

Tablo 2.1. 2886 ve 4734 Sayılı Yasalara Göre İhale Edilmiş İnşaat Projelerinin İllere Göre Dağılımı

İller	2886 Sayılı Yasaya Göre İhale Edilen Proje Sayısı	4734 Sayılı Yasaya Göre İhale Edilen Proje Sayısı	İl Bazında Proje Sayısı
Ankara	161	116	277
Kayseri	90	74	164
Adana	233	24	257
Mersin	69	57	126
Osmaniye	180	40	220
Hatay	10	26	36
Gaziantep	135	98	233
Genel Toplam	878	435	1313

Arşiv çalışması sonucu elde edilen veriler süre ve maliyet sapmalarını belirlemeye olanak verecek şekilde işlenmiştir. Bu çerçevede önce, 2886 ve 4734 sayılı yasalara göre ihale edilmiş inşaat projeleri ihale tarihlerine göre yıllar bazında sıralanmış, daha sonra inşaat projelerinin süre ve maliyeti ile ilgili bilgileri incelenerek bunlar tablolaştırılmıştır. Tabloların daha kolay anlaşılması, karmaşıklığın giderilmesi ve bazı bilgilerin sürekli tekrarlanmasını ortadan kaldırılmak amacı ile inşaat projelerinin tamamına tanım numarası girilmiştir. Tanım numarası oluşturulurken, bir kodlama sistemi geliştirilmiştir. Proje kodları oluşturulurken, her ilin isminin ilk üç harfinden sonra projeye ait sıra numarası ve projenin ihale edildiği yılın son iki rakamı yazılmıştır. Örneğin, Adana'da 2002 yılında ihale edilen ve sıra numarası (5) olan bir projenin tanım numarası, "ADN-05-02" olarak ifade edilmiştir. Süresel sapma tablolarında inşaat projesinin adına yer verilmesine rağmen, maliyet sapma tablolarında sadece proje kodu bilgisinin girilmesi yeterli görülmüştür (EK: 3, EK: 4). Yıllara göre sıralama yaparken, 2886 sayılı yasaya göre ihale edilmiş inşaat projelerinde her ilde 2002 yılından başlayarak 1995 yılına kadar geriye doğru sıralaması yapılmıştır. 4734 sayılı yasaya göre ihale edilmiş inşaat projeleri için ise, her ilde 2003 yılından başlayarak 2005 yılına kadar ileriye doğru sıralama yapılmıştır.

2.1. İnşaat Projelerinin Sürelerine Yönelik Bilgilerin Toplanması

1995-2005 yılları arasında 2886 ve 4734 sayılı yasalara göre ihale edilmiş inşaat projelerin süresel sapmalarını belirlemek için projelerin tamamında, sözleşmeye göre iş bitim tarihinden iş yeri teslim tarihi çıkarılarak öngörülen proje süresi ve gerçekleşen iş bitim tarihinden fiilen işe başlama tarihi çıkarılarak gerçekleşen proje süresi gün olarak bulunmuştur. Gerçekleşen proje süresinden öngörülen proje süresi çıkarılarak gün olarak projenin süresel sapması bulunmuştur. Bulunan değer, öngörülen proje süresine bölünerek de projenin % olarak süre sapması bulunmuştur. Bu işlemler, 1995-2005 yılları arasında 2886 ve 4734 sayılı yasalara göre ihale edilmiş inşaat projelerinin her biri için ayrı ayrı yapılarak il bazında ve yıllara göre sıralanmıştır (EK: 1, EK: 2).

2.2. İnşaat Projelerinin Maliyetine Yönelik Bilgilerin Toplanması

EK: 3'deki ana veri tablosunda görüldüğü gibi 2886 sayılı yasaya göre ihale edilmiş inşaat projelerinde, II.Keşif bedelini hesaplamak için, I.Keşfe, keşif artışları ile birim fiyat farkları ilave edilmiş ve hakedişte yapılan kesintiler (fazla imalatlar, vb.) çıkarılmıştır. Bulunan bu değere ihale tenzilatı uygulanarak tenzilatlı tutar bulunmuş; bu tutara malzeme fiyat farkları eklenip (teminat, müteahhitten kaynaklanan, vb.) kesintiler çıkarılarak da kesin hesap tutarı bulunmuştur. Tablo EK:4 ise, 4734 sayılı yasaya göre ihale edilmiş inşaat projelerinde, kesin hesap tutarı belirlenirken; sözleşme bedeline, varsa, keşif artışları ile fiyat farkı eklenmekte ve kesintiler çıkarılmaktadır.

İki ihale yasasına ait verileri kıyaslayabilmek için, ana veri tablolarındaki bilgilerden yararlanılarak, her biriyle gerçekleştirilen projelerin tamamına ait süre ve maliyet değerlerinin izlenebildiği grafikler oluşturulmuştur. Bu aşamada, maliyetteki gerçekleşme ve sapmaların gerçekçi olarak kıyaslanabilmesi için; proje bedelleri, karne katsayısı ile 2006 yılına taşınarak güncellenmiştir (EK: 5, EK: 6).

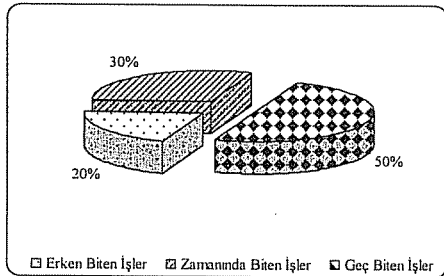
Daha sonra da elde edilen bulgular yorumlanarak bazı önerilerde bulunulmuştur.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

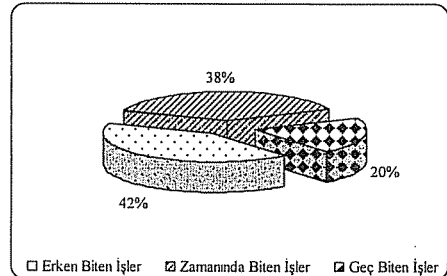
3.1. Proje Süresinde Meydana Gelen Sapma Düzeyleri

2886 ve 4734 sayılı yasalara göre ihale edilmiş inşaat projelerinin yıllar bazında süresel gerçekleşme düzeyleri, iki yasa ile ilgili uygulamaları kıyaslayabilmek için, bu yasalara göre ihale edilen toplam proje sayılarının dikkate alınması daha anlamlı sonuçlara ulaşmaya olanak vereceğinden analizler bu yönde geliştirilmiştir.

2886 sayılı yasaya göre ihale edilmiş, toplam 878 adet inşaat projesinin süresel gerçekleşme oranlarını belirlemek için; işler, erken biten, zamanında biten ve geç bitenler olarak gruplandırılıp bunların her birinin sayıları belirlenmiştir. Daha sonra, her grup için bulunan proje sayısı, toplam proje sayısına bölünerek bunların grup içindeki yüzdesi bulunmuştur. Aynı işlem, 4734 sayılı yasaya göre ihale edilmiş toplam 435 adet inşaat projeleri için de yapılmıştır. Elde edilen değerler Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de görüldüğü gibidir.

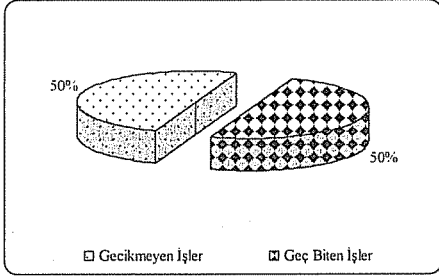


Şekil 3.1. 1995-2002 Yılları Arasında 2886 Sayılı Yasa İle İhale Edilmiş 878 Adet İnşaat Projesinde Süresel Gerçekleşmeler

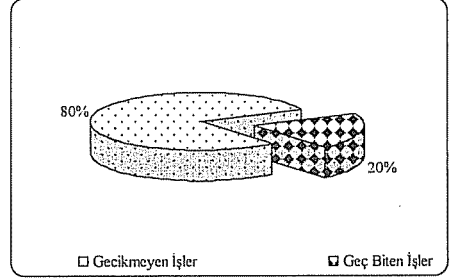


Şekil 3.2. 2003-2005 Yılları Arasında 4734 Sayılı Yasa İle İhale Edilmiş 435 Adet İnşaat Projesinde Süresel Gerçekleşmeler

Her iki ihale yasasına göre ihale edilmiş inşaat projelerinde, erken bitirilen işler ile zamanında bitirilen işler, “gecikmeyen işler” olarak bir grup kabul edildiğinde ise süresel gerçekleştirmeler Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de görüldüğü gibi olmaktadır.

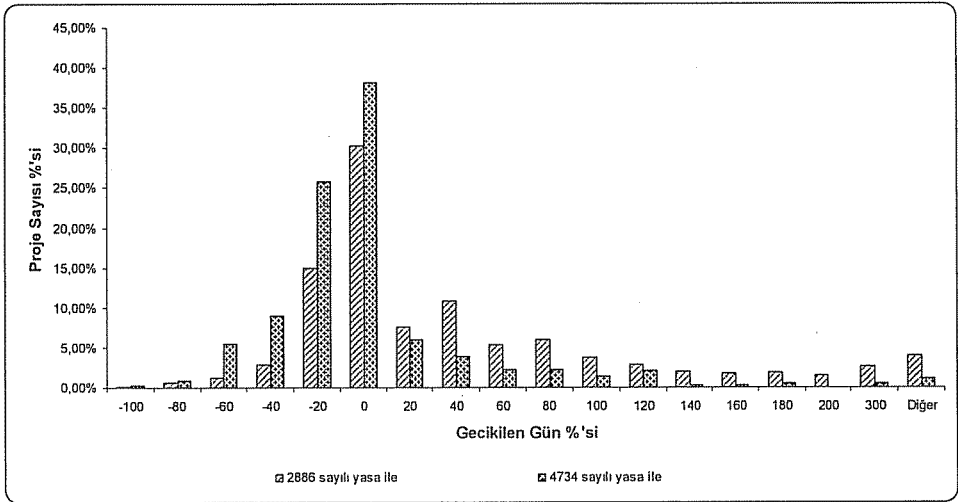


Şekil 3.3. 2886 Sayılı Yasaya Göre İhale Edilmiş İnşaat Projelerinde Süresel Gerçekleşmeler



Şekil 3.4. 4734 Sayılı Yasaya Göre İhale Edilmiş İnşaat Projelerinde Süresel Gerçekleşmeler

Kaç projede ne düzeyde süresel sapma meydana geldiğinin belirlenmesi de, iki yasanın kıyaslanması için önemli bir değerlendirme kriteri olacağından, incelenen projeler %20’lik gecikme aralıkları bağlamında gruplandırılarak her bir %20’lik aralığa giren proje sayısının toplam proje sayısı içindeki oranı saptanmıştır. Oldukça sınırlı sayıdaki projede çeşitli nedenlerle büyük miktarlarda gecikmeler olduğu anlaşılmış ve istisnai durumdaki bu gecikmeler “diğer” başlığı altında toplandığında Şekil 3.5’deki grafikte görülen sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 3.5. Gecikme Düzeyi Bakımından 2886 ve 4734 Sayılı Yasaların Kıyaslanması

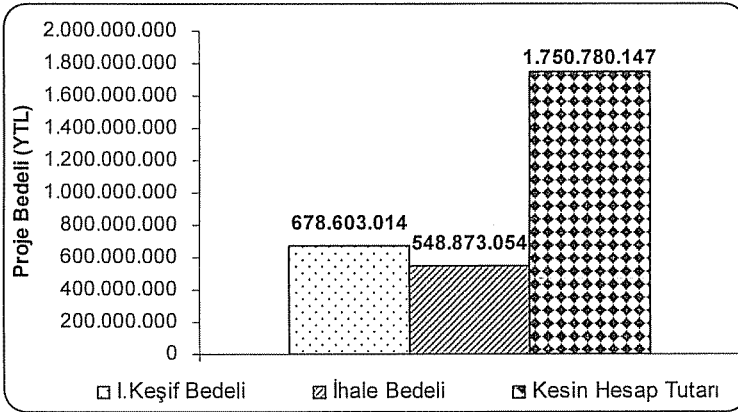
2886 sayılı ihale yasasına göre gerçekleştirilen inşaat projelerinde, gecikme düzeyi %40'ın üzerinde olan projelerde; fiilen işe geç başlanması, ruhsatın geç alınması, proje değişikliği, ödenek yokluğu veya yetersizliği, hava muhalefeti vb. sayılabilir. Şekil 3.5 incelendiğinde, 4734 sayılı yasaya göre gerçekleştirilen oldukça sınırlı sayıda projede görülen uzun gecikmeler, öngörülen proje süresi ile gerçekleşen proje süresi gün olarak aynı olmasına rağmen; iş programının zamanında yapılmaması, teknik elemanın geç bildirilmesi, hava muhalefeti, vb. nedenlerle işe vaktinde başlanılamamıştır. Bu nedenle, projenin gerçekleşme süresi ihale dokümanında oldukça uzamış gibi görünmektedir.

3.2. Proje Maliyetinde Meydana Gelen Sapma Düzeyleri

2886 ve 4734 sayılı yasalara göre ihale edilmiş inşaat projelerinin yıllar bazında maliyet sapma düzeyleri, iki yasa ile ilgili uygulamaları kıyaslayabilmek için, bu yasalara göre ihale edilen toplam proje sayılarının dikkate alınması daha anlamlı sonuçlara ulaşmaya olanak vereceğinden analizler bu yönde geliştirilmiştir.

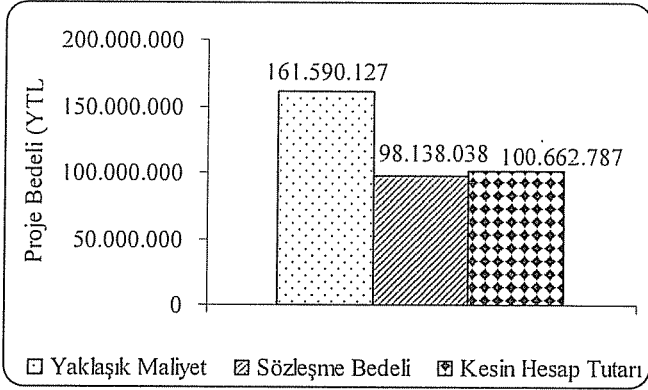
2886 ve 4734 sayılı yasalara göre ihale edilmiş projelerinde, maliyet sapma oranlarını belirlemek için; işlere ait üç kriter göz önüne alınmıştır. Bunlar; 2886 sayılı yasaya göre; I.Keşif Bedeli, İhale Bedeli ve Kesin Hesap Tutarı; 4734 sayılı yasaya göre ise; Yaklaşık Maliyet, Sözleşme Bedeli ve Kesin Hesap Tutarıdır.

2886 sayılı yasaya göre ihale edilmiş ve proje maliyetleri karne katsayısıyla 2006 yılına taşınmış toplam 878 adet inşaat işine ait maliyet sapmaları Şekil 3.6'da görüldüğü gibidir.



Şekil 3.6. 2886 Sayılı Yasaya Göre İhale Edilmiş İnşaat Proje Maliyetlerinin 2006 Yılına Güncellenmiş Maliyet Sapmaları

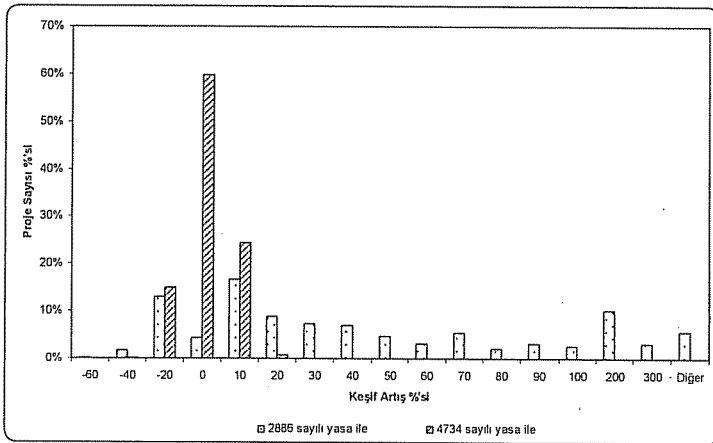
4734 sayılı yasaya göre ihale edilmiş ve proje maliyetleri karne katsayısıyla 2006 yılına taşınmış toplam 435 adet inşaat işine ait maliyet sapmaları ise, Şekil 3.7'de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.7. 4734 Sayılı Yasaya Göre İhale Edilmiş İnşaat Proje Maliyetlerinin 2006 Yılına Güncellenmiş Maliyet Sapmaları

Şekil 3.6 ve Şekil 3.7 incelendiğinde, 2886 sayılı yasaya göre ihale edilmiş inşaat işlerinin, I.Keşif bedeline göre %158, sözleşme bedeline göre ise %218,97 üstünde bir maliyetle tamamlanmasına karşılık; 4734 sayılı yasaya göre ihale edilerek gerçekleştirilen inşaat projelerinin sözleşme bedeline göre %0,89'luk bir sapma ile tamamlandığı anlaşılmaktadır.

Kaç projede ne düzeyde maliyet sapmasının meydana geldiğinin belirlenmesi de, iki yasanın kıyaslanması için önemli bir değerlendirme kriteri olacağından, incelenen projeler %20'lik maliyet sapma aralıkları bağlamında gruplandırılarak her bir %20'lik aralığa giren proje sayısının toplam proje sayısı içindeki oranı saptanmıştır. Oldukça sınırlı sayıdaki projede çeşitli nedenlerle büyük miktarlarda maliyet sapmaları olduğu anlaşılmış ve istisnai durumdaki bu sapmalar "diğer" başlığı altında toplandığında Şekil 3.8'deki grafikte görülen sonuçlar elde edilmiştir.

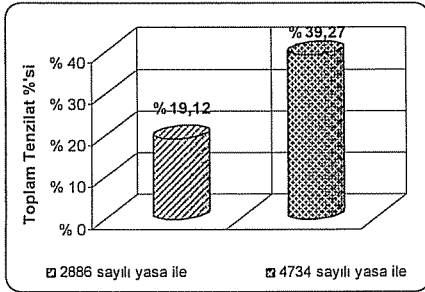


Şekil 3.8. İnşaat Projelerinin Keşif Artışı Verilme Düzeyleri Bakımından 2886 ve 4734 Sayılı Yasaların Kıyaslanması

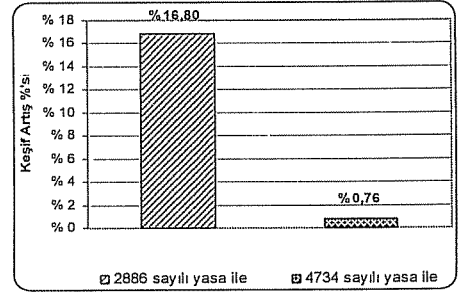
Grafikte de görüldüğü gibi, 2886 sayılı ihale yasasına göre gerçekleştirilen projelerin, yaklaşık %41 düzeyinde azımsanmayacak sayıda projenin %3000'lere varan maliyet sapmasıyla gerçekleştiği görülmektedir. 4734 sayılı ihale yasasına göre gerçekleştirilen projelerin, yaklaşık %1'lik bir proje sayısında ise; malzeme fiyat farklarından kaynaklanan %0,70 düzeyinde bir maliyet artışı olduğu saptanmıştır.

2886 sayılı yasaya göre ihale edilerek gerçekleştirilmiş projelerde, toplam I.Keşif bedelinden toplam ihale bedeli çıkarılmış, bulunan değer I.Keşif bedeline bölünmesiyle toplam tenzilat oranı bulunmuştur. 4734 sayılı yasaya göre ihale edilerek gerçekleştirilmiş projelerde ise; bu sistemde ihale tenzilatı söz konusu olmadığı için ve kıyaslamak adına, toplam yaklaşık maliyetten toplam sözleşme bedeli çıkarılmış, bulunan bu değer yaklaşık maliyete bölünmesiyle toplam ihale tenzilatı bulunmuştur. Bunun sonucunda ortalama ihale tenzilatının; 2886 sayılı yasayla ihale edilen işlerde %19,12, 4734 sayılı yasayla ihale edilen işlerde ise %39,27 düzeyinde olduğu saptanmıştır (Şekil 3.9).

Her iki yasaya göre ihale edilerek tamamlanan projelere ait keşif artışları ayrı ayrı toplanarak, bulunan keşif artışları, 2886 sayılı yasaya göre yapılan işlerde I.Keşif bedeline; 4734 sayılı yasaya göre yapılan işlerde sözleşme bedeline bölünmek suretiyle, her iki ihale sistemiyle gerçekleşen işlerde ortalama keşif artış yüzdeleri bulunmuştur. Keşif artışının, 2886 sayılı yasa kapsamında yapılan işlerde ortalama olarak %16,80 olmasına karşılık, 4734 sayılı yasa kapsamında yapılan işlerde %0,76 olduğu saptanmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.9. İnşaat Projelerindeki Toplam Tenzilat Oranları



Şekil 3.10. İnşaat Projelerindeki Keşif Artış Yüzdesi

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kamu kuruluşlarının mal, hizmet ve yapım işlerine yönelik alımları ülke ekonomisi içerisinde önemli bir paya sahiptir. Dolayısıyla, kamu alım sisteminin, kamu kaynaklarının verimli kullanılmasındaki rolü oldukça büyüktür.

Belirtilen nedenle kamu alım sistemini etkinleştirmek amacıyla, yeni bir ihale yasası hazırlanarak 2003 yılında yürürlüğe konulmuştur. Bu yasanın, uygulanmaya başlanıldığı tarihten itibaren ihale edilen projelerde ne düzeyde ve hangi konularda iyileştirme sağladığına dönük uygulama verilerine dayalı henüz bir araştırma yapılmamıştır.

EK: 1. Bayındırlık İl Müdürlükleri Tarafından 2886 Sayılı Yasaya Göre 1995-2002 Yılları Arasında Gerçekleştirilen İnşaat İşlerinde Süresel Sapmalar

Tarama No	Projenin Adı	İhale Tarihi	İş Yeri Teslim Tarihi (a)	Filen İşe Başlama Tarihi (b)	Söz. Göre İş Bitim Tarihi (c)	Gerçekleşen İş Bitim Tarihi (d)	Öngörülen İle Gerçekleşen Proje Süresi Farkı			
							Öngörülen (e=c-a)	Gerçekleşen (f=d-b)		
							Süresel Sapma			
							Gün (g=f-e)	% (g/e)		
ADN-1-02	Adana İl Özel İdareliğine Hizmet Binası C Blok İkinci İnşaatı	22-08/2002	20-09/2002	20-09/2002	20-12/2002	21-01/2003	91	123	32	35,16
ADN-2-02	Karaisalı Cumhuriyet İlköğretim Okulu Kat İlavesi	06-06/2002	28-06/2002	28-06/2002	16/09/2002	16-09/2002	80	80	0	0,00
ADN-3-02	Kozan 100 Kişilik Anaokulu İnşaatı	05-07/2002	23-07/2002	23-07/2002	20-11/2002	20-11/2002	120	120	0	0,00
ADN-4-02	Kozan İsmet İnönü İlköğretim Okulu	05-07/2002	25-07/2002	25-07/2002	21-11/2002	21-11/2002	119	119	0	0,00
ADN-5-02	Kozan Aslanpaşa İlköğretim Okulu İnşaatı	06-06/2002	26-06/2002	27-06/2002	22-11/2002	19-11/2002	149	145	-4	-2,68
ADN-6-02	Seyhan İnkilap İlköğretim Okulu Restorasyon İşleri	15-08/2002	02-09/2002	02-09/2002	20-12/2002	20-12/2002	109	109	0	0,00
ADN-7-02	Yüreğir Ömer Refika Halıcılar İlköğretim Okulu İnşaatı	05-07/2002	19-07/2002	19-07/2002	20-12/2002	20-12/2002	154	154	0	0,00
ADN-8-02	Yüreğir Remzi Öğür Arık İlköğretim Okulu İnşaatı	05-07/2002	22-07/2002	22-07/2002	31-10/2002	31-10/2002	101	101	0	0,00
ADN-9-02	Yüreğir Doğankent İlköğretim Okulu İnşaatı	04-07/2002	22-07/2002	22-07/2002	20-12/2002	20-12/2002	151	151	0	0,00
ADN-10-02	Yüreğir Bayram Karadağ İlköğretim Okulu Kat İlave İnşaatı	15-08/2002	29-08/2002	29-08/2002	28-11/2002	28-11/2002	91	91	0	0,00
ADN-11-02	Yüreğir Şehit Gaffar Oktan İlköğretim Okulu İnşaatı	12-07/2002	17-07/2002	17-07/2002	28-11/2002	28-11/2002	134	134	0	0,00
ADN-12-02	Yüreğir Sanyam İlköğretim Okulu İnşaatı	04-07/2002	23-07/2002	23-07/2002	20-12/2002	20-12/2002	150	150	0	0,00
ADN-13-02	Yüreğir 100 Kişilik Anaokulu İnşaatı	05-07/2002	23-07/2002	23-07/2002	20-11/2002	20-11/2002	120	120	0	0,00
...
EAT-878-95	Anakaya 250 Yataklı Devlet Hastanesi İkinci İnşaatı	11-07/1995	11-07/1995	11-07/1995	31-10/1997	02-08/2000	843	1849	1006	119,34

EK: 2. Bayındırlık İli Müdürlükleri Tarafından 4734 Sayılı Yasaya Göre 2003-2005 Yılları Arasında Gerçekleştirilen İnşaat İşlerinde Süresel Sapmaları

Tanım No	Projenin Adı	İhale Tarihi	İy Yeri Teslim Tarihi (a)	Fihlen İyeye Bağlanma Tarihi (b)	Söz. Göre İy Bitim Tarihi (c)	Gerçekleşen İy Bitim Tarihi (d)	Öngörülen İle Gerçekleşen Proje Süresel Farkı			
							Öngörülen (e-c-a)	Gerçekleşen (f-d-b)	Süresel Sapma Gün (g-f-e) % (g/e)	
ADN-1-03	Sarıbeyli İlköğretim Okulu-300 Kişilik Pansiyon İnşaatı	26/12/2003	16/03/2004	16/04/2004	31/12/2004	08/03/2005	290	326	36	12.41
ADN-2-03	Seyhan İlçesi 24 Kasım İlköğretim Okulu Ek Bina İnşaatı	29/11/2003	17/03/2004	17/03/2004	22/11/2004	22/11/2004	250	250	0	0.00
ADN-3-03	Yüreğir Koza Tesis İlköğretim okulu İnşaatı	26/12/2003	18/03/2004	18/03/2004	27/11/2004	25/01/2005	254	313	59	23.23
ADN-4-03	Adana İl Kontrol Lab.Müd. Katkı Kalanını Mad. Lab. Onarım İnşaatı	24/09/2003	08/10/2003	08/10/2003	21/11/2003	21/11/2003	44	44	0	0.00
ADN-5-03	Adana Mİ Bölge Baş. Yeniden Mevcutünde Bulunulan Hizmet Binalarının Onarımı	14/10/2003	11/11/2003	11/11/2003	11/12/2003	10/12/2003	30	29	-1	-3.33
ADN-6-03	Adana Mİ Bölge Baş. Hizmet Binası Mısırfıhane Onarım İnşaatı	17/10/2003	18/11/2003	18/11/2003	27/12/2003	24/12/2003	39	36	-3	-7.69
ADN-7-03	Adana Kemal Serhatlı Polis Meslek Yüksek Okulu Onarım İnşaatı	25/08/2003	24/09/2003	24/09/2003	22/11/2003	20/11/2003	59	57	-2	-3.39
ADN-8-03	Ceyhan Kapalı Cezaevi Onarım İnşaatı	12/12/2003	16/12/2003	16/12/2003	25/12/2003	25/12/2003	9	9	0	0.00
ADN-9-03	Pozantı Özel Tip Kapalı Cezaevi Genel Onarım İnşaatı	11/12/2003	24/12/2003	24/12/2003	31/12/2003	21/01/2004	7	28	21	300.00
ADN-10-03	Yunuraklık Miteroloji Hizmet Binası Onarım İnşaatı	21/10/2003	12/11/2003	12/11/2003	21/12/2003	01/12/2003	39	19	-20	-51.28
ADN-11-03	Adana Göğüs Hastalıklar Hastanesi Onarım İnşaatı	10/10/2003	23/10/2003	23/10/2003	23/11/2003	17/11/2003	31	25	-6	-19.35
...
HAT-435-04	Antalya 2 Grup İlköğretim Okulu Onarım İşleri	07/01/2004	19/01/2004	19/01/2004	18/02/2004	11/02/2004	30	23	-7	-23.33

EK-3. Bayındırlık İl Müdürlükleri Tarafından 2886 Sayılı Yasaya Göre 1995-2002 Yılları Arasında Gerçekleştirilen İnşaat İşlerinde Maliyet Sapmaları

Tanım No	I.Keşif Bedelli- YTL (h)	İhale Tenzilatı (f) %	İhale Bedelli YTL (b-a-a*)	II.Keşif Bedelli- YTL (c) *	Malzeme Fiyat Farkları Tutarı- YTL (d)	Kesin Hesap Tutarı-YTL [(e-c*)+(f)]	Öngörülen İle Gerçekleşen Proje Bedelli Farkı (YTL)			
							Keşif Kuyulaması		Maliyet Kuyulaması	
							Tutarı (f-c-a)	% (f/a)		Tutarı (f-e- b)
									% (g/a)	
ADN-1-02	600,000.00	18.00	492,000.00	759,285.35	16,054.44	638,668.43	159,285.35	26.55	146,668.43	24.44
ADN-2-02	69,920.00	10.10	62,858.08	69,607.21	5,475.67	68,052.55	-312.79	-0.45	5,194.47	7.43
ADN-3-02	187,066.36	18.00	153,394.42	186,674.02	14,494.18	167,566.88	-392.34	-0.21	14,172.46	7.58
ADN-4-02	115,000.00	13.10	99,955.00	115,000.00	7,739.16	107,674.16	0.00	0.00	7,739.16	6.73
ADN-5-02	124,200.00	14.00	106,812.00	124,200.00	9,445.88	116,257.88	0.00	0.00	9,445.88	7.61
ADN-6-02	414,000.00	14.00	356,040.00	414,000.00	13,843.56	369,883.56	0.00	0.00	13,843.56	3.34
ADN-7-02	340,400.00	17.00	282,532.00	340,400.00	28,653.73	311,187.73	0.00	0.00	28,653.73	8.42
ADN-8-02	174,800.00	16.00	146,832.00	165,442.95	13,970.32	152,942.40	-9,357.05	-5.35	6,110.40	3.50
ADN-9-02	575,000.00	14.10	493,925.00	574,406.57	46,968.23	340,383.47	-593.43	-0.10	46,458.47	8.08
ADN-10-02	69,920.00	15.10	59,362.08	68,558.49	4,030.18	62,236.34	-1,361.51	-1.95	2,874.26	4.11
ADN-11-02	230,000.00	15.00	195,500.00	230,000.00	17,737.94	213,237.94	0.00	0.00	17,737.94	7.71
ADN-12-02	572,327.40	13.10	497,352.51	572,327.40	46,264.84	543,617.35	0.00	0.00	46,264.84	8.08
ADN-13-02	187,066.36	19.00	151,523.75	187,066.36	13,899.01	165,422.76	0.00	0.00	13,899.01	7.43
ADN-14-02	577,910.68	13.05	-502,493.33	540,397.80	42,267.28	512,143.17	-57,512.87	-6.49	9,649.84	1.67
...
HAT-878-95	213,400.00	15.10	181,176.60	1,188,995.83	9,879.27	1,019,260.32	985,385.10	461.75	805,860.32	377.63

* I.Keşif bedeline, birim fiyat farkı ve keşif artışları ilave edilerek bulunan tutar.

EK: 4. Bayındırlık İl Müdürlükleri Tarafından 4734 Sayılı Yasaya Göre 2003-2005 Yılları Arasında Gerçekleştirilen İnşaat İşlerinde Maliyet Sapmaları

Tanım No	Yaklaşık Maliyet-YTL (a)	Sözleşme Bedeli-YTL (b)	İhale Tezihli [(a-b)/a] %	Kerf Artış		Sözleşme Fiyatları ile Yapılan İşler-YTL [(b+c)-a]*	Malzeme Fiyat Farkları Tutarı-YTL (e)	Kasın Hesap Tutarı-YTL (f+d-e-k)**	Maliyet Kıyaslaması (YTL)			
				%	Tutarı-YTL (c)				Yaklaşık Maliyet Olarak Tutarı (g=f-a)	Sözleşme Bedeli Olarak		
										% (g/a)	Tutarı (h=f-b)	% (h/b)
ADN-1-03	2.359.012,97	1.296.000,00	45,06	37,843,20	2,92	1.333,843,20	0,00	1.333,843,20	-1.025,169,77	-43,46	37,843,20	2,96
ADN-2-03	924.827,93	530.000,00	42,69	0,00	0,00	527,749,57	0,00	527,749,57	-397,078,36	-42,94	-2.250,43	-0,42
ADN-3-03	969.719,90	484.000,00	50,09	0,00	0,00	484.000,00	0,00	484.000,00	-483.719,90	-50,09	0,00	0,00
ADN-4-03	84.406,64	79.950,00	5,28	0,00	0,00	79.950,00	0,00	79.950,00	-4.456,64	-5,28	0,00	0,00
ADN-5-03	38.373,13	23.250,00	39,41	2.325,00	10,00	25.575,00	0,00	25.575,00	-12.798,13	-33,35	2.325,00	10,00
ADN-6-03	53.232,68	46.469,88	12,70	4.634,92	9,97	51.102,93	0,00	51.102,93	-2.129,73	-4,00	4.633,05	9,97
ADN-7-03	167.969,40	79.336,24	52,77	0,00	0,00	76.139,00	0,00	76.139,00	-91.830,40	-54,67	-3.197,24	-4,03
ADN-8-03	25.375,00	14.750,00	41,87	0,00	0,00	14.750,00	0,00	14.750,00	-10.625,00	-41,87	0,00	0,00
ADN-9-03	33.898,31	32.750,00	3,39	0,00	0,00	32.750,00	0,00	32.750,00	-1.148,31	-3,39	0,00	0,00
ADN-10-03	6.298,65	6.000,00	4,74	0,00	0,00	6.000,00	0,00	6.000,00	-298,65	-4,74	0,00	0,00
ADN-11-03	28.614,21	28.125,00	1,71	0,00	0,00	28.125,00	0,00	28.125,00	-489,21	-1,71	0,00	0,00
ADN-12-05	21.168,34	14.700,00	30,56	0,00	0,00	14.700,00	0,00	14.700,00	-6.468,34	-30,56	0,00	0,00
ADN-13-05	38.112,63	23.000,00	39,65	0,00	0,00	22.858,80	0,00	22.858,80	-15.253,83	-40,02	-141,20	-0,61
...
HAT-435-04	31.778,54	14.900,00	53,11	0,00	0,00	14.900,00	0,00	14.900,00	0,00	0,00	-16.878,54	-53,11

* Sözleşme öngörülen noksan yapılan/yapılmayan işler tutarı.

** Hakedişlerden, gecikme cezası vb. nedenlerle yapılan kesinti tutarı.

KAMU İHALE SİSTEMİNDEKİ DEĞİŞİKLİĞİN İNŞAAT YATIRIMLARININ SÜRE VE MALİYETİNE YANSIMALARI

EK:5 2886 Sayılı Yasaya Göre İhale Edilmiş İnşaat Proje Bedellerinin Karne Katsayısı İle 2006 Yılına Güncellenmesi

Yıllar	Gün. Katsayısı (K)	I.Keşif Bedelli-YTL (a=a*K)	İhale Bedeli YTL (b=a*a')	İhale Tenzit [=(a-b)/a]	Keşif Artışı		II.Keşif Bedelli-YTL (c)	Malz. F.F. Tutarı-YTL (d)	Keşif Hesap Tutarı-YTL (e=d+c,k**)
					%	Tutarı			
2002	1,786	94.659.380	67.062.212	% 29,15	12,94	12.248.924	114.097.366	2.748.013	85.098.679
2001	2,957	74.646.136	55.604.290	% 25,51	16,85	12.577.874	109.367.802	13.151.604	94.876.991
2000	3,62	187.374.040	157.780.058	% 16,79	12,71	23.815.240	354.161.168	31.506.473	331.519.954
1999	5,986	86.337.331	71.511.261	% 17,17	18,35	16.842.900	162.153.441	7.096.445	143.021.230
1998	9,274	119.457.749	102.647.948	% 14,07	23,43	27.988.951	514.132.881	20.884.707	467.636.909
1997	16,006	36.487.629	29.691.226	% 18,63	12,42	4.531.764	97.967.312	3.367.409	83.597.438
1996	31,159	16.562.107	12.266.041	% 25,94	17,01	2.817.214	74.393.925	5.654.031	66.124.460
1995	50,238	63.078.640	52.310.018	% 17,07	22,44	14.154.847	127.156.101	31.084.168	478.905.456
TOPLAM		678.803.014	548.873.054	% 18,12	% 16,80	113.977.714	1.953.429.897	115.461.040	1.750.780.147

EK:6 4734 Sayılı Yasaya Göre İhale Edilmiş İnşaat Proje Bedellerinin Karne Katsayısı İle 2006 Yılına Güncellenmesi

Yıllar	Güncelleme katsayısı	Yatılacak Maliyet-YTL (a)	Sözleşme Bedeli-YTL (b)	İhale Tenzitlatsi [=(a-b)/a]	Keşif Artışı		Sözleşme Fiyatları ile Yapılan İşler-YTL [(d-b)*y*]	Malzeme Fiyat Farkları Tutarı-YTL (e)	Keşif Hesap Tutarı-YTL (f=d+e-k**)
					%	Tutarı-YTL (c)			
2003	1,373	47.956.206	32.432.884	% 32,37	% 0,43	139.342	32.457.510	-1.087.620	33.540.237
2004	1,183	71.333.334	40.225.107	% 43,61	% 0,65	260.637	40.373.204	791.782	41.150.612
2005	1,060	42.300.587	25.480.048	% 39,76	% 1,35	345.058	25.786.170	194.098	25.971.938
TOPLAM		161.590.127	98.138.038	% 39,27	% 0,76	745.037	98.616.893	2.073.500	100.662.787

Kamu alımları içerisinde de, özellikle inşaat yatırımlarının oldukça büyük yer tutması nedeniyle bu çalışmada, yeni yasanın, projelerin gerçekleşme süre ve maliyetlerine ne düzeyde katkı sağladığının araştırılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda eski (2886 sayılı) yasa ile ihale edilen 878 adet ve yeni (4734 sayılı) yasa ile ihale edilen 435 adet projenin ihale işlem dosyaları incelenerek, bunların süre ve maliyet açısından gerçekleştirmeleri ile ilgili uygulama verileri derlenmiş ve analiz edilmiştir.

Elde edilen bulgulara göre, eski yasaya ihale edilen projelerin %50'si öngörülen süreden daha geç biterken, yeni yasada bu gecikme %20 düzeyinde kalmıştır. Ayrıca, eski yasaya göre ihale edilen işlerin yaklaşık %41'e yakınında, %60 ila %3000 oranında gecikmelerin bulunduğu saptanmıştır. Yeni yasaya göre de sınırlı sayıdaki bazı projelerin sözleşme süresinde aşırı gecikme olduğu görülmüş ise de, bunların fiili gerçekleşme süresi olmayıp, iş yeri teslimindeki gecikmelerden kaynaklandığı saptanmıştır. Proje süresinin gecikmesi yatırımın geç hizmete girmesine bağlı çok yönlü ve büyük boyutlarda kayıplara neden olduğu kuşkusuzdur.

Diğer taraftan, eski yasaya göre ihale edilen işlerin ancak %4'ü öngörülen maliyette tamamlanmış, yeni yasaya göre yapılan işlerde ise öngörülen maliyette tamamlanma düzeyi %60 mertebesinde olmuştur. Diğer bir anlatımla, eski yasaya göre ihale edilen işlerin tümündeki maliyet sapması %218'e varmışken, yeni yasa ile ihale edilen işlerde

bu sapma %0,89'da kalmıştır. Maliyet sapmalarının; kamu bütçelerinin öngörüldüğü gibi gerçekleşmemesine, kaynak yetersizliğine dayalı olarak projenin gecikmesine, paranın zaman değerindeki artış nedeniyle proje bedelinin artmasına neden olmak gibi çok yönlü olumsuz etkilerinin bulunduğu bilinmektedir. Örneğin; yeni yasanın yürürlükte olduğu 01.01.2003 tarihi ile Haziran 2006 tarihleri arasında kamu inşaat yatırımları için toplam olarak 20,30 milyar YTL harcama yapılmıştır (11). Şayet bu yatırım, eski ihale yasası ile yapılsaydı, meydana gelecek maliyet sapması $20,30 \times \%218 = 44,25$ milyar YTL mertebesinde olacaktı. Bu oldukça büyük bir rakamdır ve sadece 3,5 yıllık bir süreyi kapsayan bütçesel sapma düzeyidir.

Ayrıca, ihalelerde yapılan tenzilat oranında da yeni yasa lehine gelişmelerin olduğu görülmüştür. Örneğin; eski yasayla ihale edilen işlerde ortalama ihale tenzilatı %19,12 düzeyinde iken, yeni yasada bu oran ortalama %39,27 olmuştur.

Aslında yeni yasa daha pek çok bakımdan önemli iyileşmeler içermekle birlikte, araştırmanın hedefi itibari ile sadece süre ve maliyete olan etkisi incelenmiştir. Yukarıda verilen rakamlardan anlaşıldığı üzere yeni yasanın yatırımların vaktinde ve beklenen maliyetle tamamlanması yönünde oldukça ciddi katkılar sağladığı görülmektedir. Bu nedenle yeni ihale sistemine alışmamaktan dolayı özellikle bürokrasinin direnç göstermesi sonucu mevcut yasanın özüne yönelik değişikliklerden kaçınılması gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. 2886 Sayılı Devlet İhale Kanunu, 10.9.1983 tarih ve 18161 sayılı Resmi Gazete.
2. 4734 Sayılı Kamu İhale Kanununun, 22.01.2002 tarih ve 24648 sayılı Resmi Gazete.
3. Abacıoğlu, M., "Devlet İhale Kanunu ve İlgili Mevzuat", 2.baskı, Şekçin Yayınevi, 509s., Ankara, 1999.
4. Arslan, A., "2886 Sayılı Kanun İle 4734 sayılı Kamu İhale Kanununun Karşılaştırılması", Mali Kılavuz Dergisi, Sayı:19,41-66s., 2002.
5. Gencer, Dr. H., "Kamu Bina Yapım İhalelerinde 2886 Sayılı Devlet İhale Kanunu İle 4734 Sayılı Kamu İhale Kanunu'nun Karşılaştırılması", TİM-SE Dergisi, Sayı:207,14-19s., 2003.
6. Göçerler, A., "Kamu İhale Kanunu'nun: Getirdiği Yenilikler", http://www.icisleri.gov.tr/ Icisleri/WPX/kamu_ihale_kanunu.htm, 2002.
7. Gök, Y., "Sorular ve Cevaplarla Açıklamalı Kamu İhale Kanunu", 1.baskı, İksan Matbaası, 656s., Ankara, 2003.
8. Gönen, D., Işık, H., "Açıklamalı Devlet İhale Kanunu ve Yapım Sözleşmelerinin Uygulanması", 10.baskı, TŞOF Plaka Matbaacılık Tic. ve San. A.Ş., 1292s., Ankara, 1997.
9. Gören, S.G., "Kamu İnşaat Projelerinin Gerçekleştirilmesinde Süre Uzama Nedenlerinin Analizi", 75057 Nolu Doktora Tezi, İTÜ Matbaası, 150s., 1998.
8. Güreş, T., "Kamuya Ait İnşaat İşlerinde Süre Uzatımı ve Ödenek Aktarımı İhtilafları", 75899 Nolu Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Matbaası, 103s., 1998.
9. Paydak, Ö., Avrupa Birliği ve Ülkemizde Uygulanmakta Olan İhale Mevzuatının İrdelenmesi, 120004 Nolu Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Matbaası, 294s., 2002.
10. Turhan, N., "Kamu İhale Sistemindeki Değişikliğin İnşaat Yatırımlarının Süre ve Maliyetine Yansımaları", Ç.Ü.Fen Bilimleri Ens., Yüksek Lisans Tezi, 2006.
11. www.kik.gov.tr

BİNALARDA KISA KOLON ETKİSİNİN İNCELENMESİ

İsmail H. ÇAĞATAY ve Sena GÜZELDAĞ
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : *Bu çalışmada, dolgu duvar yüksekliğinin binanın kısa kolon kesme kuvvetine etkisi incelenmiştir. Yapının dolgu duvarsız ve değişik oranlarda dolgu duvar yüksekliği olması durumunda boşluk oranının kesme kuvvetine etkisi araştırılmıştır. Yapıda döşemeler rijit diyafram kabulü yapılarak modellenmiştir. Yapının deprem analizi dolgu duvar uzunluğu yönünde Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi kullanılarak SAP2000 programı ile yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda dolgu duvardaki boşlukların dolgu duvarların bağlandığı kolonların kesme kuvvetini önemli derecede etkilediği görülmüştür.*

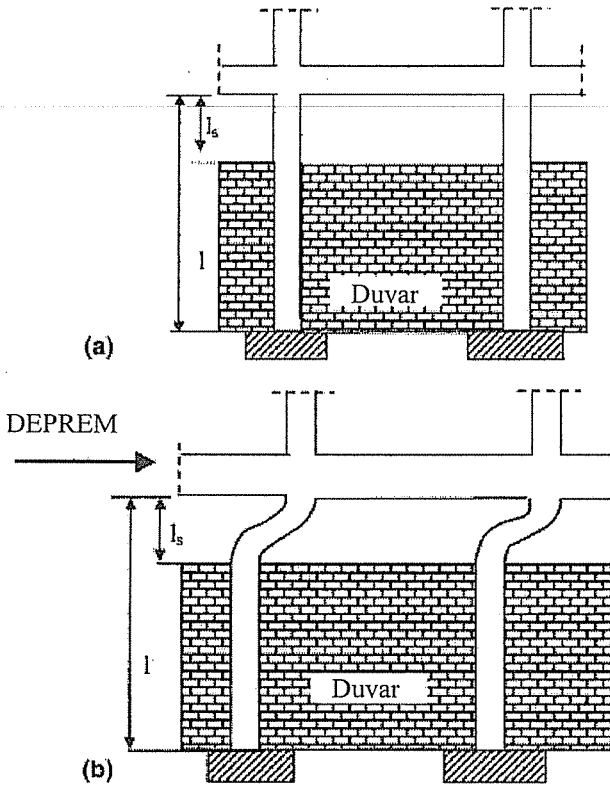
INVESTIGATION OF SHORT COLUMN EFFECT OF BUILDINGS

ABSTRACT : *In this study, the effect of height of infill wall on shear force of short column of the building was investigated. The effect of the gap ratio between the infill wall and the frame on shear force of the columns was studied considering the building both has no infill wall and has the different ratio of height of infill wall. The floors of the building have been modeled as rigid diaphragm. The dynamic analysis of the buildings has been performed in the direction of the length of the infill wall by using SAP2000 computer program. The results show that the gap between the infill wall and the frame affected the shear force of the columns significantly where the infill walls joined.*

1. GİRİŞ

Binalarda, özellikle dış duvarlarda, duvarlar üst tabliyeye kadar sürekli olarak yapılmadığı zaman deprem esnasında, kolonların bölme duvar örülme kısımlarında kısa kolon etkileri ortaya çıkmaktadır. Bu duvarların kolon yüksekliği boyunca devam etmemesi durumunda ve bağlı bulunduğu çerçeveden de ayrılmamışlarsa deprem sırasında kolonlarda ağır hasarlar meydana gelebilmektedir. Genellikle sanayi türü yapılarda pencereler açmak ve ışıktan yararlanmak için dış duvarlarda boşluklar bırakılmaktadır. Kısa kolon davranışlarının yapıda meydana getirdiği etkiler yeterince anlaşılmadığından ülkemizdeki hemen hemen tüm depremlerde görülmektedir (1-3).

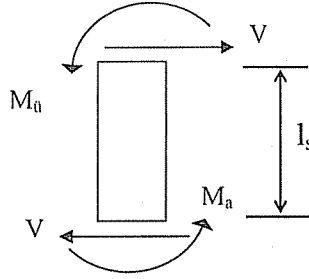
2. KISA KOLON DAVRANIŞI



Şekil 1 a. Duvar boşluklu sistem, b. Kısa kolon etkisi

Şekil 1 a'da dolgu duvarlı bir çerçeve görülmektedir. Özellikle deprem gibi yatay yük etkisiyle kolonların yanal ötelenme yapmaları gerekirken, bölme duvarların engellemesiyle sadece duvarların üst kısmında bırakılan boşluk miktarı kadar olan kısımları ötelenecektir. Yani kolonlarda ani bir rijitlik değişimi meydana gelecektir. Bu durumda da yapıda kısa kolon davranışı ortaya çıkmaktadır, (Şekil 1 b).

Kısa kolonda oluşan kesme kuvveti kısa kolonun alt ve üst kısmında meydana gelen momentlerin toplamının kısa kolon boyuna oranı ile ifade edilmektedir, (Şekil 2).



Şekil 2. Kısa kolona etki eden momentler ve kesme kuvveti

$$V = \frac{M_a + M_u}{l_s} \quad (1)$$

Burada, M_a : kolonun alt ucunda meydana gelen moment değerini, M_u : kolonun üst ucunda meydana gelen moment değerini ve l_s : kısa kolon boyunu göstermektedir.

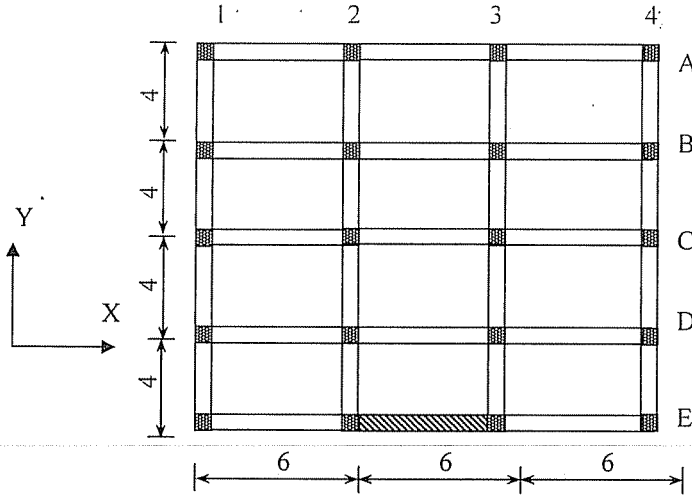
Kısa kolon durumunda, formüllerden de görüleceği gibi; kesme kuvveti kolon boyu ile ters orantılıdır. Dolayısıyla l_s uzunluğu ne kadar kısa olursa oluşacak kesme kuvveti de o kadar fazla olacaktır. Genellikle proje aşamasında duvarlar modelde yer almaz. Yani kısa kolon davranışının bulunduğu kolonlarda hesaplanan kesme kuvvet değerleri gerçekte deprem sırasında meydana gelen kesme kuvvet değerleri değildir. Kolonların kesme kuvveti değerlerinin proje aşamalarında hesaplanan değerlerden daha fazla olması demek, o elemanların deprem sırasında daha fazla yatay yüke maruz kalması demektir.

Yapılarda deprem sırasında oluşacak hasarların, sistemde eğilme momenti altında sünek kırılma meydana getiren hasarlar olması gerekmektedir. Yani deprem enerjisinin tüketiminin kolonlarda değil, sünek çerçeve kirişlerinde olması gerekir. Kısa kolon davranışının bulunduğu yapılarda ise kesme dayanımının olmaması nedeniyle gevrek olan kesme kırılması meydana gelmektedir. Bu enerji tüketimi ise Yeni Deprem Yönetmeliğinde kesinlikle izin verilmeyen bir durumdur, çünkü yapı göçebilir.

3. ÖRNEKLER

Örnek 1.

Şekil 3'te planı görülen tek katlı yapının kısa kolon etkisi incelenmiştir. Bu sistemin dış cephesine bir adet perde duvar yerleştirilmiştir. Perde duvarın elastisite modülü $2.85E6 \text{ t/m}^2$ olarak alınmıştır.



Şekil 3. Yapı planı

Veriler

- Döşeme =10 cm
 Kiriş boyutları =30*30 cm
 Kolon boyutları =30*30 cm
 Perde duvar kalınlığı =20 cm
 Toplam Kat ağırlığı =120 ton

Bina bilgileri

- Kat Sayısı :1
 Bodrum Kat Sayısı :
 Bina Önem Katsayısı :1
 Taşıyıcı Sistem Türü : Yerinde dökme betonarme çerçevesi sistem

Deprem Bilgileri

- Deprem Bölgesi :1
 Etkin Yer ivmesi katsayısı (A_0) : 0.4
 Yerel Zemin Sınıfı :Z2
 Spektrum Karakteristik Periyotları : T_A : 0.15 sn T_B : 0.40 sn
 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı :8
 Deprem Yönü :X

Yapıda döşemeler rijit diyafram kabulü yapılarak modellenmiştir. Yapının deprem analizi X yönünde Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (4) kullanılarak SAP2000 programı (5) ile yapılmıştır.

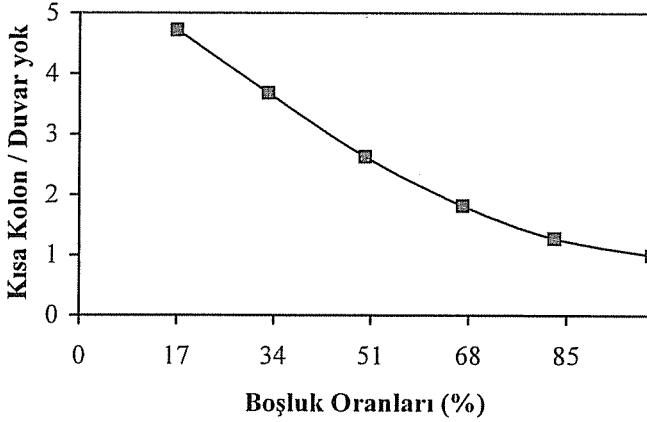
Yapı 1/1 oranları % 0, 17, 33, 50, 67, 83, 100 olan boşluklar bırakılarak analizler yapılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda sistemin kısa kolon elemanlarında meydana gelen kesme kuvvet değerleri Çizelge 1’de verilmektedir.

Çizelge 1. Kısa kolon elemanlardaki kesme kuvvet değerleri (ton)

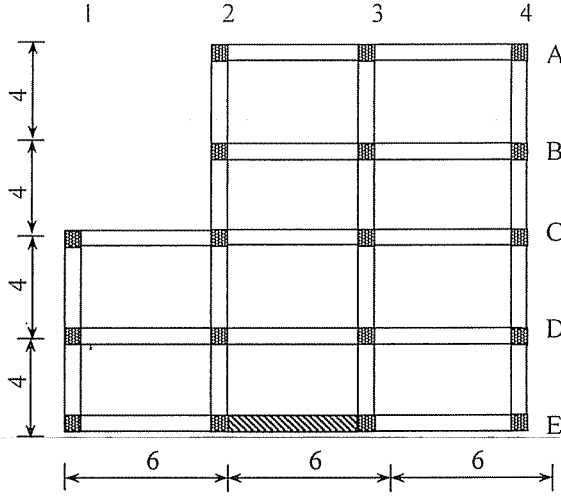
Boşluk Oranı (l_s/l)	Kesme Kuvveti (t)
0	0.05
0.17	3.68
0.33	2.87
0.50	2.05
0.67	1.42
0.83	1.00
1.00	0.78

Çizelge 1’den görüleceği gibi %17 kısa kolon boşluğu olması durumunda meydana gelen kesme kuvveti hiç duvar olmaması durumunun yaklaşık olarak 4.71 katı kadardır, (Şekil 4).



Şekil 4. Kesme kuvvet değişimi

Örnek 2. Örnek 1’deki yapının dataları ile aynı değerlerdedir. Kat ağırlığı 100 t olarak alınmıştır (Şekil 5).



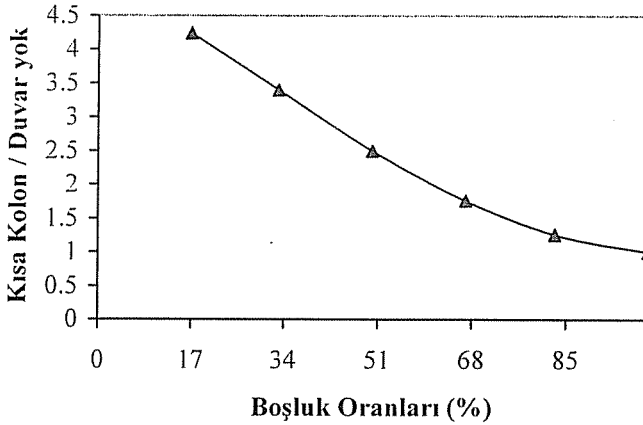
Şekil 5. Örnek 2'nin planı

Yapılan analizler sonucunda sistemin kısa kolon elemanlarında meydana gelen kesme kuvvet değerleri Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2. Kısa kolon elemanlardaki kesme kuvvet değerleri (ton)

Boşluk Oranı (l_s/l)	Kesme Kuvveti (t)
0	0.05
0.17	3.39
0.33	2.72
0.50	2.00
0.67	1.41
0.83	1.01
1.00	0.80

Çizelge 2'den görüleceği gibi %17 kısa kolon boşluğu olması durumunda meydana gelen kesme kuvveti hiç duvar olmaması durumunun yaklaşık olarak 4.24 katı kadardır, (Şekil 5).



Şekil 5. Kırma kuvvet değışimi

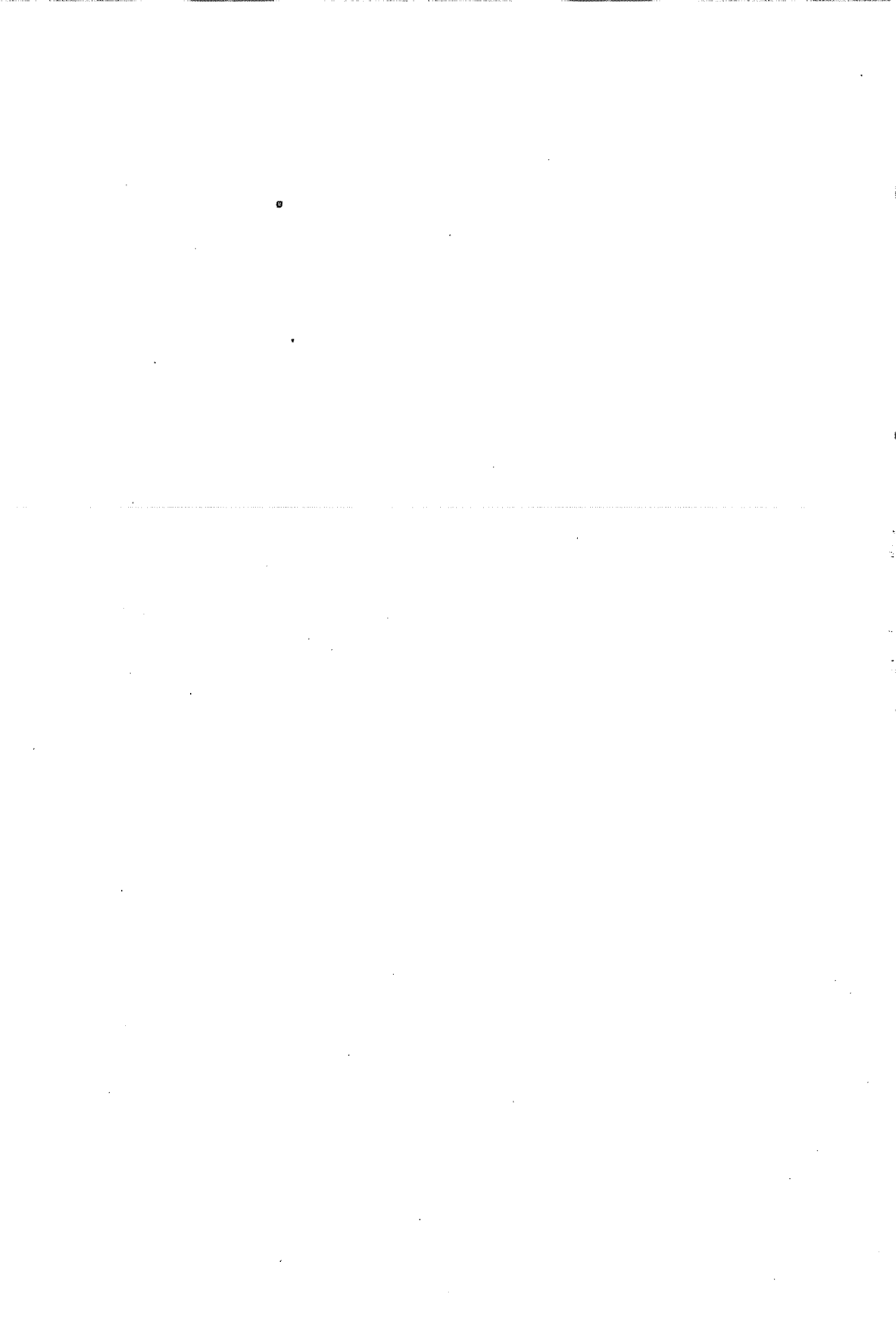
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kısa kolon davranışı olarak bilinen olay genellikle ülkemizdeki tüm depremlerde görülmektedir. Dolayısıyla bu etkinin yeterince anlaşılmadığı veya önemsenmediği gözlemlenmektedir. Yapının dolgu duvarsız ve değişik oranlarda dolgu duvar yüksekliği olması durumunda boşluk oranının kırma kuvvetine etkisi araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda dolgu duvardaki boşlukların dolgu duvarların bağlandığı kolonların kırma kuvvetini önemli derecede etkilediği görülmüştür. Simetrik ve simetrik olmayan yapıda %17 kısa kolon boşluğu olması durumunda meydana gelen kırma kuvveti hiç duvar olmaması durumunun yaklaşık olarak 4.71 ve 4.24 katı kadar hesaplanmıştır.

Yapı taşıyıcı sistemindeki kolonların kısa kolon olarak çalışmasını önlemek gereklidir. Kısa kolon durumunun oluşmaması için kolonların çerçevelerde kat yüksekliği boyunca hareketlerinin kısıtlanmaması gereklidir. Bunun için bu kolonlara duvarların bağlanmaması kolon ile duvar arasında boşluk bırakılması gereklidir. Ancak bu durumda duvarlar kendi düzlemlerine dik doğrultuda devrilebilir. Bunu önlemek için (1) de açıklanan yöntemler kullanılarak yapıda kısa kolon oluşumu engellenebilir.

5. KAYNAKLAR

1. Çağatay, İ.H., "Failure of an Industrial Building During a Recent Earthquake in Turkey", *Engineering Failure Analysis*, 12, 497-507, 2005.
2. Celep, Z., Kumbasar, N., "Betonarme Yapılar", *Sema Matbaacılık*, 888 sayfa, İstanbul, 1998.
3. Çağatay, İ.H., Kural, E. "Binalarda Kısa Kolon Etkisinin Deprem Açısından İncelenmesi", *Adana-Ceyhan Depremi Sempozyumu*, Adana Seyhan Oteli, 17-18 Aralık 1998.
4. Afet Bölgelerine Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, İMO, Ankara.
5. SAP Series, *Structural Analysis Programs, Computers and Structures*, Berkeley, USA, 1999.



BETONARME YAPILARIN SAP2000N İLE TASARIMI

Hacer BİLİR ve İsmail H. ÇAĞATAY
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : *Bu çalışmada, betonarme yapıların analiz ve tasarımı SAP2000N programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Boyutlandırma hesabında, SAP2000N programı içerisinde yer alan, ACI-318-99 yönetmeliğinde bulunan karakteristik malzeme dayanımları, TS-500-2000 yönetmeliğine uygun olacak şekilde hesap dayanımları olarak alınmıştır. Çeşitli yapı ve yapı elemanlarına ait elde edilen analiz ve tasarım sonuçları karşılaştırıldığında, SAP2000N programı ile bulunan sonuçların, TS-500-2000 yönetmeliğiyle elde edilen sonuçlarla uyum içerisinde kaldığı görülmüştür.*

Anahtar Kelimeler: *Betonarme, Kolon, Kiriş, Analiz, Tasarım*

**DESIGN OF THE REINFORCED CONCRETE STRUCTURES
BY USING SAP2000N**

ABSTRACT : *In this study, design and analysis of the reinforced concrete structures have been made by using SAP2000N programme. The characteristic strengths of the materials, which are defined in ACI-318-99 and are used in the programme, have been modified by using some coefficients in accordance with TS-500-2000. Many reinforced concrete examples were solved and designed and the results of the computer programme have been compared with the results in the literature and found to be in good agreement.*

Key Words: *Reinforced Concrete, Column, Beam, Analysis, Design*

Bu çalışma Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: MMF2003-YL28

1. GİRİŞ

Betonarme yapı, yurdumuzda ve Avrupa ülkelerinde yaygın uygulama alanı bulan bir yapı türüdür. Bunun nedeni, ekonomik ve amaca uygun uygulama alanının daha geniş olmasıdır. Çelik ve betondan oluşan kompozit yapı malzemesi olarak adlandırılan betonarmede genel olarak betonun görevi basınç, çeliğin görevi de çekme gerilmelerinin karşılanması ve böylece betonda oluşabilecek çatlakların kesiti zayıflatmayacak bir sınırdan kalmasını sağlamasıdır. İyi bir tasarımda donatı kesit içerisine yeterli sayıda ve uygun şekilde yerleştirilmek suretiyle çatlaklar çıplak gözle görülmez düzeyde tutulur. Günümüzde, betonarme yapıların uzun zaman alan ve külfetli elle çözümlerinin yerini, her türlü yapı sistemini şartnamelere uygun olarak kolay ve istenilenden daha kısa sürede çözümleyebilen, bilgisayar programları almıştır.

Bu çalışmada, yapı mekaniği ve mühendislik alanında kullanılan sistemlerin modellenmesi, analizi ve boyutlandırılması amacıyla hazırlanan SAP2000 Nonlinear programı kullanılmıştır. Program, betonarme çerçeve elemanlarının otomatik boyutlaması için çok sayıda şartnameyi destekleyebilen bir yapıya sahiptir. Amerika Birleşik Devletleri (ACI 1999, AASHTO 1997), Kanada (CSA 1994), İngiliz (BSI 1989), Avrupa (CEN 1992) ve Yeni Zelanda (NSZ 3101-95) şartnamelerini destekleyen program, ülkemiz şartnamesi olan ve betonarme yapıların boyutlandırma ve donatılmasında kullanılan TS-500-2000 şartnamesini henüz içermemektedir. Bu çalışmada çeşitli açıklıklarda, çeşitli kesitlerdeki kirişleri ve kolonları içeren taşıyıcı sistem örneklerinin, analiz sonuçlarına göre (statik veya dinamik) sistemi oluşturan betonarme elemanlarının boyutlandırılmasının SAP2000N programıyla ne şekilde gerçekleştirileceğinin araştırılması yapılarak programın TS-500-2000'e uyarlanmasına çalışılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ersoy, betonarme'nin davranışıyla ilgili bilgiler vermiş ve basit eğilme, bileşik eğilme, eğik eğilme, kesme etkisindeki elemanların taşıma gücü ve burulma etkisi konularını ilgili yönetmeliklere göre inceleyerek kesit hesabıyla ilgili bilgiler sunmuştur (1).

Nilson ve Winter, ACI 318-89 yönetmeliğini esas alarak, betonarme binaların boyutlamasıyla ilgili örnekler vermiş ve yönetmelik şartlarının uygulamasını göstermişlerdir (2).

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğe göre depreme dayanıklı binalar için hesap esasları, betonarme binalar için depreme dayanıklı tasarım kuralları ve ilgili diğer yapı kuralları belirtilmektedir (3).

Celep ve Kumbasar, deprem mühendisliği, deprem etkisi ve depreme dayanıklı yapı yapısıyla ilgili bilgiler sunmuşlardır (4).

SAP2000N TS-500-2000 ve Deprem Yönetmeliği Uyarlamalı Betonarme Çerçeve Boyutlama Kılavuzu, içerisinde ilgili programın çeşitli şartnamelere göre boyutlama esasları belirtilmiş ve Celep ve Kumbasar tarafından TS-500-2000 şartnamesine uyarlama amaçlı öneriler sunulmuştur (5).

Dündar ve ark., taşıma gücü, eksenel kuvvet, basit eğilme etkisi, eksenel basınç ve eğilme etkisi, kesme etkisi, burulma etkisi altındaki elemanları incelemişler ve TS-500-2000 ve Deprem yönetmeliğiyle ilgili bilgiler sunmuşlardır (6).

Özmen ve ark., yapı sistemi modellerinin geliştirilmesi, analiz ve boyutlandırılması için kullanılan, SAP2000N programıyla ilgili, bir çok açıklayıcı örnek ve bilgiler sunmuşlardır (7).

TS-500-2000, içerisinde yapılacak betonarme yapılar için uygulanması gereken hesap ve yapım kuralları verilmektedir (8).

Çağdaş, yapı sistemlerinin modellenmesi, statik ve dinamik analizlerinin sonuçlarına göre sistemi oluşturan betonarme veya çelik malzemeli elemanların boyutlandırılmasında SAP2000N programının kullanılmasıyla ilgili bilgiler sunmuştur (9).

3. MATERYAL VE METOD

Yapının kullanım süresince, güven içerisinde ve amacına uygun davranış göstermesi için, taşıyıcı sistemi ve sistemi oluşturan yapı elemanlarının, gerekli şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Ülkemizde, bu amaçla betonarme yapıların tasarımı, TS-500-2000 şartnamesine ve TDY-98'e göre yapılmaktadır. Çalışmada, betonarme yapıların boyutlamasında ACI, AASHTO gibi yönetmelikleri kapsayan fakat şu anda TS-500-2000'i henüz içermeyen SAP2000N programı kullanılmıştır. SAP2000N yazılımı, yapı sistemi modellerinin geliştirilmesi, analizi ve boyutlandırılması için kullanılan genel amaçlı bir programdır. Betonarme yapı ve yapı elemanları (kiriş, kolon, çerçeve vb.) öncelikli olarak TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine göre çözülmüş ve sonuçların karşılaştırılmasında SAP2000N programının desteklediği şartnamelerden olan ACI-318-99 (Yapısal Beton için Amerikan Beton Enstitüsü Bina Şartnamesi 1999) kullanılmıştır.

SAP2000N ile sistemlerin modellenmesinde elemanların (çubuk vb.) ve düğüm noktalarının oluşturulması, bu elemanlarda kullanılacak malzeme (beton, çelik vb.) ve kesit özelliklerinin tanımı ve her elemana atanması, sisteme etkileyen yüklemelerin belirlenmesi ve bu yüklemeler veya bazı yüklemelerin kombinasyonları ile, sistemin statik veya dinamik analizi'nin yapılması, analizde bulunan sonuçlara göre bu elemanların betonarme yönetmeliği dikkate alınarak boyutlandırılması adımları takip edilmiştir (9). Programda betonarme boyutlandırma hesabında ;

-Malzeme Özellikleri tanımlanırken; SAP2000N Define menüsünden tanımlanan, Beton (CONC), Çelik (STEEL) ve Alüminyum (ALUM) malzemelerinden, yapılan çalışmada beton malzeme özellikleri kullanılmıştır. Yine ilgili kısımda Type of Design bölümünde, SAP2000N programının kapsamı içerisinde boyutlandırma aşamasında kullanılan yönetmeliklerin arasında TS-500-2000 bulunmadığından, (5) içerisinde yapılması önerilen bazı veri düzenlemeleriyle betonarme boyutlandırmaya giriş yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Buna göre, beton ile ilgili karakteristik malzeme bilgileri, karakteristik donatı akma dayanımı (f_y), donatı hesap akma dayanımına (f_{yd}), karakteristik beton silindir basınç dayanımı (f'_c), beton silindir hesap basınç dayanımına (f_{cd}), karakteristik kayma donatısı akma dayanımı (f_{ys}), kayma donatısı hesap akma dayanımına (f_{ywd}) dönüştürülmüştür.

- Kesit Özelliklerinin tanımlanırken, uygun kesit türü belirlenerek, betonarme boyutlandırma yapılması için elemanın türüne göre aşağıdaki bilgiler girilmiştir. Kesit özellikleri tanımlanacak eleman bir kiriş ise;

Kiriş seçeneği işaretlenmiş ve donatı pas payını belirtmek için üst donatı ve alt donatı yazı kutucuklarına ilgili donatı pas payı değerleri girilmiştir. Kesit özellikleri tanımlanacak eleman bir kolon ise;

Kesitin bir kolon kesiti olduğunu belirtmek için, Kolon seçeneği, donatı yerleşimi dikdörtgen biçimindeyse dikdörtgen, dairesel ise dairesel seçeneği işaretlenmiştir. Pas payı değeri de belirtildikten sonra kesit yerel eksenlerine göre 3 ve 2 doğrultularında kaç sıra donatı isteniyorsa tarif edilmiş, Donatı çapı bölümünden donatı çapı seçilmiştir. En altta Kontrol /Boyutlandırma kısmında iki seçenek sunulmuştur. Bunlar, kesitin taşıma kapasitesinin hesaplanması ve gerekli donatının belirlenmesi seçenekleridir.

- Yüklerin tanımlanması aşamasında çalışmada, SAP2000N programıyla çözülen örneklerin yükleri, TS-500-2000'e göre ya direkt katsayılarla çarpılmış değerler olarak yada yük kombinasyonları oluşturularak programda tarif edilmiştir ve sonrasında analiz yapılmış ve elde edilen iç kuvvet diyagramlarının değerleri alınarak boyutlandırma işleminde kullanılmıştır.

Betonarme yapı veya yapı elemanları çözülrken; betonarme hesap için ACI-318-99 yönetmeliği seçilerek, ilgili tüm dayanım azaltma çarpan değerleri, TS-500-2000 yönetmeliğine yaklaşım sağlama amaçlı olarak, 1 değeriyle değiştirilmiştir (5) ve program yeniden çalıştırılarak, çözümün yinelenmesi sağlanmıştır. İç kuvvetleri belirlenen sistemin betonarme hesabını yaparken kullanılması istenilen, programda var olan veya daha sonra ilave edilen yükleme kombinasyonları belirlenmiş, SAP2000N programıyla betonarme hesabı gerçekleştirilmiştir.

4. SAYISAL UYGULAMALAR

4.1. Örnek 1.

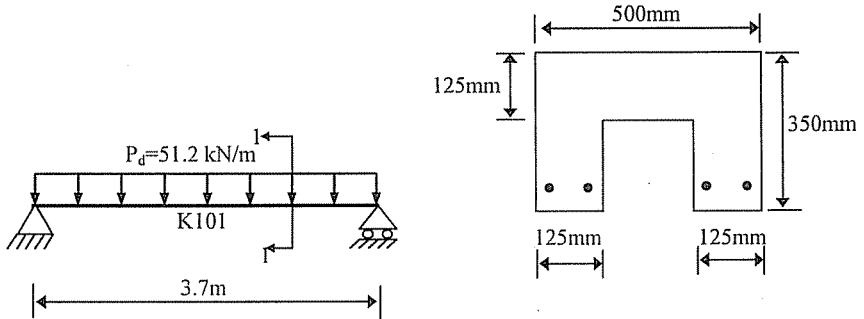
Şekil 1'de yükleme durumu ve kesiti verilen kirişin kesim tasarımının yapılarak gerekli donatı alanının bulunması, (6).

Verilenler:

Yük: $P_d = 51.2 \text{ kN/m}$

Malzeme: C20, S420 ($f_{cd} = 13 \text{ Nt/mm}^2$, $f_{yd} = 365 \text{ Nt/mm}^2$)

Pas payı (d') = 25 mm



Şekil 1. K101 kirişinin, yükleme durumu ve kesiti

a- TS-500-2000 yöntemine göre elde edilen sonuçlar, Çizelge 1 de verilmektedir. Moment değeri 87.62 kNm, donatı alan değeri ise 804.25 mm² olarak bulunmuştur.

Çizelge 1. Örnek 1'e ait moment ve donatı alanı sonuçları.

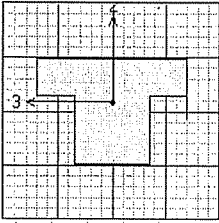
Eleman*	Eleman boyutları (mm)		M _d (kNm)	A _s (mm ²)
	b _w	d		
K101 Kirişi	250	365	87.62	804.25

*1-1 kiriş kesiti tablalı kesite dönüştürülerek, tarafsız eksenin konumuna bakılmış (F_c>F_s), tarafsız eksenin tablanın içerisinde kaldığı görülmüş, bu nedenle dikdörtgen kesit hesabıyla devamında gerekli işlemler yapıldıktan sonra A_s donatı alanı hesaplanmıştır.

b- SAP2000N programıyla elde edilen tasarım sonuçlarına ait bilgiler Şekil 2 de verilmiştir.

SAP2000N programıyla ve TS-500-2000 yönetmeliği kullanılarak yapılan çözümlemelere ait donatı alanı ve moment değerleri ve bu değerlerin karşılaştırılması Çizelge 2 de verilmektedir. Çizelge 2'de de gösterilmiş olduğu gibi K101 kirişi çekme bölgesinde TS-500-2000 ve SAP2000N donatı alanı hesap sonuçları arasında %0.01'lik bir fark bulunmuş ve istenilen yakınsaklığı sağladığı görülmüştür.

ACI 318-99 BEAM SECTION DESIGN					Type: Sway Special	Units: N, mm	Units: N, mm, C
L=3700,000							
Element	: 1	D=350,000	B=250,000				
Station Loc	: 1850,000	ds=125,000	dct=25,000				
Section ID	: KRS	E=28500,000	fc=13,000				
Combo ID	: COMB1	fy=365,000	fys=191,000				
Phi(Bending):	1,000						
Phi(Shear):	1,000						
Phi(Torsion):	1,000						
Design Moments, M3							
		Positive Moment	Negative Moment	Special +Moment	Special -Moment		
		87616000,0	0,000	0,000	0,000		
Flexural Reinforcement for Moment, M3							
		Required Rebar	+Moment Rebar	-Moment Rebar	Minimum Rebar		
Top (+2 Axis)		0,000	0,000	0,000	0,000		
Bottom (-2 Axis)		804.353	804.353	0,000	306.958		



Şekil 2. Örnek 1'e ait SAP2000N programına göre elde edilen sonuçlar

Çizelge 2. Örnek 1'e ait TS-500-2000 ile SAP2000N donatı alanı hesap sonuçlarının Karşılaştırılması

Eleman	Metod	Moment (kNm)	Donatı Alanları (mm ²)		TS-500-2000 SAP2000N Fark (%)	
			M _d	A _s	A _s '	A _s
K101	SAP2000N	87.62	804.35	-	0.01	0
	TS-500-2000	87.62	804.25	-		
	ACI 318-99	87.62	804.38	-		

4.2. Örnek 2

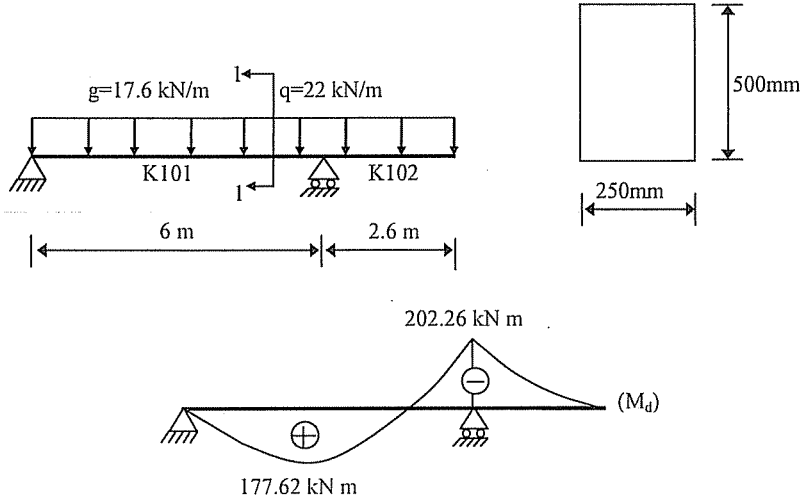
Şekil 3'te moment diyagramı verilen kirişin eğilmeye göre kesin tasarımının yapılarak gerekli donatı alanının bulunması, (6).

Verilenler:

Yükler: $g=17.6$ kN/m, $q=22$ kN/m

Malzeme C25, S420

Pas payı (d') = 50 mm



Şekil 3. İki açıklıklı kirişin, yükleme, kesit ve moment bilgileri

a- TS-500-2000 yöntemine göre, ele alınan konsol kirişe ait veriler kullanılarak, tasarım için gerekli moment ve donatı alanı değerleri bulunmuştur. Elde edilen bu değerler, Çizelge 3'te verilmektedir.

Çizelge 3. Örnek 2'ye ait değerlerin TS-500-2000 yöntemine göre elde edilmesi

Eleman	Eleman boyutları (mm)		$K^{(1)}$ (mm ² /kN)	K_f (mm ² /kN)	M_1 (kNm)	M_2 (kNm)	A_{s1} (mm ²)	$A_{s2}=A_s'$ (mm ²)	$A_{s1}+A_{s2}$ (mm ²)
	b_w	d							
K101 Kirişi	250	450	285.02	291.2	173.85	3.77	1230.75	25.82	1256.57
Mesnet	350	570	250.30	291.2	173.85	28.41	1230.75	194.59	1425.34

b- SAP2000N programıyla, ele alınan konsol kiriş örneği çözülerek elde edilen tasarım sonuçlarına ait moment ve donatı alanı değerleri ve bu değerlerin TS-500-2000 yöntemine göre elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması Çizelge'4 te verilmiştir.

Çizelge 4. Örnek 2'ye ait TS-500-2000 ile SAP2000N arasındaki donatı alanı hesap sonuçlarının karşılaştırılması

Eleman	Metod	Moment (M_d) kNm	Donatı Alanları (mm ²)		TS-500-2000 SAP2000N Fark (%)	
			A_s	A_s'	A_s	A_s'
K101	SAP2000N	177.53	1258.68	425.02	0.17	(1)
	TS-500-2000	177.62	1256.57	25.82		
	ACI 318-99	177.62	1259.49	-		
K101-K102 Mesnet	SAP2000N	-202.26	665.41	1475.98	(2)	3.55
	TS-500-2000	-202.26	194.59	1425.34		
	ACI 318-99	-202.26	-	1475.99		
Konsol K102	SAP2000N	-50.57	425.02	425.02	(3)	(3)
	TS-500-2000	-	-	-		
	ACI 318-99	-	-	-		

(¹): Çizelge 4'de görüldüğü gibi K101 kirişinde TS-500-2000'e göre ve SAP2000N programına göre yapılan hesaplamalar neticesinde, çekme donatıları arasında %0.17 oranında fark bulunmuştur. Elde edilen bu sonucun, istenilen yakınlıkta olduğu düşünülmektedir. Yine hesabı yapılan kirişte, TS-500-2000'e göre basınç donatısı alan değeri 25.82 mm² olarak hesap edilmiş SAP2000N programına göre yapılan hesaplama sonucunda ise 425.02 mm² lik bir donatı alanı bulunmuştur. Ortaya çıkan farkın, ACI 318-99 (21.3.2.2) şartnamesi gereğince olduğu saptanmıştır. Hesaplanan moment değerlerine göre, farkı oluşturan donatı alanı değerinin, yukarıda belirtilen şartnameye göre elde edilişi aşağıda gösterilmiştir.

$$M_{uAÇIK} \geq \frac{1}{4} \max[M_u^+, M_u^-]_{UC} = M_{uAÇIK} = \frac{1}{4} [202.26] = 50.565 \text{ kNm}$$

Yapılan işlem neticesinde farkı oluşturan moment değeri 50.565 kNm olarak bulunmuştur.

ACI 318-99'a göre; K101

$$(-)M_d = 50.565 \text{ kN-m}$$

$$a_{\max} = 178.37 \text{ mm}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{(0.85 \times f_c' \times b \times \phi)}} = 450 - \sqrt{450^2 - \frac{(2 \times 50.565 \times 10^6)}{(0.85 \times 17 \times 250 \times 1)}} = 32.26 \text{ mm}$$

$a \leq a_{\max}$ tek donatılı dikdörtgen kesit hesabı yapılmıştır.

Çekme donatısı alanı;

$$A_{s(\min)} = \text{Min}\left(\frac{4}{3} A_{s(\text{gerekli})}, \frac{200}{f_{yd}} b_w d \times 0.006895\right)$$

$$A_s = \frac{M_u}{f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) \phi} = \frac{50.565 \times 10^6}{365 \times \left(450 - \frac{32.26}{2}\right) \times 1} = 319.30 \text{ mm}^2 < A_{s(\min)} = 425.03 \text{ mm}^2$$

$$\frac{4}{3} A_{s(\text{gerekli})} = \frac{4}{3} \times 319.30 = 425.73 \text{ mm}^2 > A_{s(\min)} = 425.03 \text{ mm}^2$$

Gerekli Olan Donatı Alanı: 425.03 mm² olarak bulunmuştur.

Yukarıda detayı verilen ve SAP2000N programına göre elde edilen sonucun gösterimi Şekil 4'te verilmektedir.

ACI 318-99 BEAM SECTION DESIGN		Type: Sway Special	Units: N, m	Units: N, mm, C
L=6000,000	Element : 1	D=500,000	B=250,000	
Station Loc : 2500,000		ds=0,000	dct=50,000	
Section ID : KRS		E=28500,000	fc=17,000	
Combo ID : COMB1		fy=365,000	fys=191,000	
Phi(Bending): 1,000				
Phi(Shear): 1,000				
Phi(Torsion): 1,000				
Design Moments, M3				
	Positive Moment	Negative Moment	Special +Moment	Special -Moment
	177525333,3	-50564800,	50564800,0	-50564800,
Flexural Reinforcement for Moment, M3				
	Required Rebar	+Moment Rebar	-Moment Rebar	Minimum Rebar
Top (+2 Axis)	425,019	0,000	319,298	425,019
Bottom (-2 Axis)	1258,683	1258,683	0,000	425,019

Şekil 4. Örnek 2'ye ait K101 kirişi SAP2000N program sonuçları

(²): Çizelge 4'te görüldüğü gibi, TS-500-2000'e göre ve SAP2000N programına göre yapılan hesaplamalar neticesinde mesnet çekme bölgesindeki (basınç donatısı hanesinde) donatılar arasında %3.55 oranında fark bulunmuştur. Elde edilen bu sonucun istenilen yakınlıkta olduğu düşünülmektedir. Yine hesabı yapılan kirişte mesnet basınç bölgesinde TS-500-2000'e göre 194.59 mm² olarak hesap edilmiş, SAP2000N programına göre yapılan hesaplama sonucunda ise 665.41 mm² lik bir donatı alanı bulunmuştur. Ortaya çıkan farkın ACI 318-99 (21.3.2.2) şartnamesi gereğince oluştuğu saptanmıştır. SAP2000N programına göre 1475.98 mm²'lik mesnet çekme bölgesindeki donatı alanını oluşturan moment değeri (-)M_d= 202.26 kNm, ve mesnet basınç bölgesindeki donatı alanını oluşturan moment değeri;

$$M_{alt} = \frac{M_{ost}}{2} = \frac{202.26}{2} = 101.13 \text{ kNm} \text{ olarak bulunmuştur. Bu moment değeriyle}$$

ACI 318-99 a göre donatı alanı aşağıdaki şekilde hesap edilmiştir.

$$a_{max} = 178.37 \text{ mm}$$

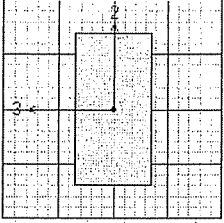
$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{(0.85 \times f'c \times b \times \phi)}} = 450 - \sqrt{450^2 - \frac{(2 \times 101.13 \times 10^6)}{(0.85 \times 17 \times 250 \times 1)}} = 67.23 \text{ mm}$$

$a \leq a_{max}$ basınç donatısı gerekli görülmemiştir.

Çekme donatısı alanı;

$$A_s = \frac{M_u}{f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) \phi} = \frac{101.13 \times 10^6}{365 \times \left(450 - \frac{67.23}{2}\right) \times 1} = 665.41 \text{ mm}^2 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Yukarıda detayı verilen ve SAP2000N programına göre elde edilen sonucun gösterimi Şekil 5'te verilmektedir.

ACI 318-99 BEAM SECTION DESIGN Type: Sway Special Units: N, mm Units: N, mm, C				
L=6000,000				
Element	: 1	D=500,000	B=250,000	
Station Loc	: 6000,000	ds=0,000	dct=50,000	
Section ID	: KRS	E=28500,000	fc=17,000	
Combo ID	: COMB1	Fy=365,000	fys=191,000	
Phi(Bending):	1,000			
Phi(Shear):	1,000			
Phi(Torsion):	1,000			
				
Design Moments, M3				
	Positive Moment	Negative Moment	Special +Moment	Special -Moment
	101129600,0	-202259200	101129600,0	-202259200
Flexural Reinforcement for Moment, M3				
	Required Rebar	+Moment Rebar	-Moment Rebar	Minimum Rebar
Top (+2 Axis)	1475,981	0,000	1475,981	425,019
Bottom (-2 Axis)	665,413	665,413	0,000	425,019

Şekil 5. Örnek 2'ye ait K101-K102 kiriş mesnet bölgesi SAP2000N program sonuçları

(³): Çizelge 4'te verilen konsol açıklık bölgesinde TS-500-2000'e göre hesap edilmemiş, ancak SAP2000N programına göre yapılan hesaplama sonucunda, ise 425.02 mm² lik bir donatı alanı bulunmuştur. Ortaya çıkan farkın, ACI 318-99 (21.3.2.2) şartnamesi gereğince oluştuğu saptanmıştır. Hesaplanan moment değerlerine göre, farkı oluşturan donatı alanı değerinin, yukarıda belirtilen şartnameye göre elde edilişi aşağıda gösterilmiştir.

$$M_{uAÇIK} \geq \frac{1}{4} \max[M_u^+, M_u^-]_{UÇ} = M_{uAÇIK} = \frac{1}{4} [202.26] = 50.565 \text{ kNm}$$

Yapılan işlem neticesinde farkı oluşturan moment değeri 50.565 kNm olarak bulunmuştur.

ACI 318-99'a göre; K102 (Konsol)

$$(-)M_d = 50.565 \text{ kNm}$$

$$a_{max} = 178.37 \text{ mm}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{(0.85 \times f'_c \times b \times \phi)}} = 450 - \sqrt{450^2 - \frac{(2 \times 50.565 \times 10^6)}{(0.85 \times 17 \times 250 \times 1)}} = 32.26 \text{ mm}$$

$a \leq a_{max}$ tek donatılı dikdörtgen kesit hesabı yapılmıştır.

Çekme donatısı alanı;

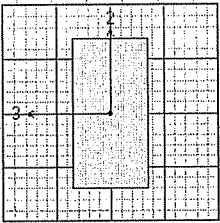
$$A_{s(min)} = \text{Min} \left(\frac{4}{3} A_{s(gerekli)} + \frac{200}{f_{yd}} b_w d \times 0.006895 \right)$$

$$A_s = \frac{M_u}{f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \phi} = \frac{50.565 \times 10^6}{365 \times \left(450 - \frac{32.26}{2} \right) \times 1} = 319.30 \text{ mm}^2 < A_{s(min)} = 425.03 \text{ mm}^2$$

$$\frac{4}{3} A_{s(gerekli)} = \frac{4}{3} \times 319.30 = 425.73 \text{ mm}^2 > A_{s(min)} = 425.03 \text{ mm}^2$$

Gerekli Olan Donatı Alanı: 425.03 mm² olarak bulunmuştur.

Yukarıda detayı verilen ve SAP2000N programına göre elde edilen sonucun gösterimi Şekil 6'da verilmektedir.

ACI 318-99 BEAM SECTION DESIGN Type: Sway Special Units: N, mm Units: N, mm, C				
L=2600,000				
Element : 2	D=500,000	B=250,000		
Station Loc : 1300,000	ds=0,000	dct=50,000		
Section ID : KRS	E=28500,000	fc=17,000		
Combo ID : COMB1	Fu=365,000	fys=191,000		
Phi(Bending): 1,000				
Phi(Shear): 1,000				
Phi(Torsion): 1,000				
				
Design Moments, M3	Positive Moment	Negative Moment	Special +Moment	Special -Moment
	50564800,0	-50564800,0	50564800,0	-50564800,0
Flexural Reinforcement for Moment, M3	Required Rebar	+Moment Rebar	-Moment Rebar	Minimum Rebar
Top (+2 Axis)	425,019	0,000	319,298	425,019
Bottom (-2 Axis)	425,019	319,298	0,000	425,019

Şekil 6. Örnek 2'ye ait K102 konsolu SAP2000N program sonuçları

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bilgisayar teknolojisinin ilerlemesi ve kullanım olanaklarında artış olmasıyla birlikte, yapı mekaniği ve mühendislik alanında kullanılan sistemlerin modellenmesi, analiz ve boyutlandırılması amacıyla hazırlanan birçok yapısal analiz programı mevcuttur. Yapılan çalışmada da, SAP2000N paket programı kullanılmıştır. SAP2000N programı tarafından, çeşitli ülkelerin yönetmelikleri esas alınarak, çözümler yapılmaktadır.

Program içerisinde belirtilmiş olan, ACI 318-99 üzerinde yapılması önerilen veri düzenlemeleri, taşıyıcı sistem elemanları üzerinde uygulanmış ve bu düzenlemelerin neticesinde, TS-500-2000 şartnamesine göre sonuçların uygunluğuna bakılmıştır. Çözülen örneklerin her birinde elde edilen sonuçlar yönetmeliklere ve SAP2000N

programına göre karşılaştırılmış ve çeşitli oranlarda farklılıklar tespit edilmiştir. Çalışmada esas alınan ACI 318-99 ve TS-500-2000 yönetmelikleri'nin, çeşitli kesitteki elemanlar için belirtmiş oldukları, eğilme ve kayma donatı alan hesabı ve sınır olarak verilen, minimum donatı alan hesap formüllerindeki değişikliklerden dolayı fark oranlarının çıkması olağan görülmüştür. Ayrıca TS-500-2000'e göre yapılan hesaplamalarda bulunmadığı halde, SAP2000N programına göre bulunan donatı miktarları da program içerisinde ACI 318-99 şartnamesine göre, deprem boyutlaması başlığı altında belirtilen, ek koşullar gereği bulunan donatı miktarlarıdır. Bunların yanı sıra, TS-500-2000 şartnamesine göre kirişlerin basınç bölgelerinde montaj donatısı yerleştirildiği için örneklerde, açıklıkların üst yani basınç bölgelerinde hesap edilmemiş olsa da, mevcut olan 2Ø12'lik montaj donatısı miktarı da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu değer de işlemlere yansıtılırsa, sonuçlar arasındaki yakınsama daha da artacaktır.

SAP2000N programının, belirtilmiş olan veri düzenlemeleriyle kullanılması halinde, yapı taşıyıcı sistemlerinin analiz ve boyutlandırma hesabında TS-500-2000 şartnamesine yakın sonuçlar verdiği ve uygulamalarda kullanılabilir olacağı düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Ersoy,U., "Betonarme; Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı (Cilt 1)", Evrim Yayınevi, 640s., Ankara, 1985.
2. Nilson,H.A., Winter,G., "Design of Concrete Structures", Mc Graw Hill International Editions, 904s., 1991.
3. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Eğitim Merkezi, "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 85s., İzmir, 1998.
4. Celep,Z.,N., "Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı", Beta Dağıtım, 592s., İstanbul, 2000.
5. SAP2000, Computers and Structures, "SAP2000N TS-500-2000 ve Deprem Yönetmeliği Uyarlamalı Betonarme Çerçeve Boyutlama Kılavuzu", Berkeley, 82s., USA, 2001.
6. Dündar,C., Tanrıku,A.K., Tokgöz,S., "Örnek Problemlerle Betonarme", Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Eğitim-Araştırma ve Güçlendirme Derneği, 157s., Adana, 2003.
7. Özmen,G., Orakdöğen,E., Darılmaz,K., "Örneklerle SAP2000-V8", Birsen Yayınevi, 293s., İstanbul, 2004.
8. TS 500, 2000. "Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları", Türk Standartları Enstitüsü, 2000.
9. Çağdaş,S., "Uygulamalı SAP2000 Yapı Sistemlerinin Modellenmesi Statik ve Dinamik Analizi", Türkmen Kitabevi, 593s., İstanbul, 2004.

ERZURUM TIMAR VE DAZLAK POMZALARININ KATKILI ÇİMENTO VE HAFİF AGREGALI BETON ÜRETİMİNDE KULLANIMI**Hanifi BİNİCİ ve Hüseyin TEMİZ***K.S.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş/Türkiye***İsmail H. ÇAĞATAY***Ç. Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye*

ÖZET : *Bu çalışmada, Erzurum, Pasinler-Timar ve Narman-Dazlak bölgelerinin pomzalarının mühendislik özellikleri araştırılmıştır. Bu özellikleri belirleyebilmek için pomzalarının puzolanik aktiviteleri incelenmiştir. Puzolanik aktivitenin belirlenmesinde standartlarda yer alan her iki yöntem de kullanılmıştır. Pomza-kireç karışımı ile elde edilen numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları ASTM C618' e göre belirlenmiştir. Ayrıca, pomzaların değişik özellikleri, beton yapımında kullanılıp kullanılmayacağı ilgili TS EN 24 standartlarına göre araştırılmıştır. Pomzaların birim ağırlıkları, özgül ağırlıkları, ağırlıkça su emme kapasiteleri, hafif madde miktarı, Los Angeles aşınma miktarları, porozite ve granülometri eğrileri deneysel olarak belirlenmiştir. Çalışmada pomza kullanılarak üretilen betonların 7, 28, 90 ve 180 günlük basınç dayanımları test edilmiştir. Çalışmada ele alınan her iki pomzanın çimento üretiminde kullanılmaya uygun olduğu görülmüştür. Dazlak pomzası ile üretilen betonların basınç dayanımları standartlara uygun bulunmuştur. Bu yüzden bu pomza ile normal beton ve panel üretilebilir. Timar pomzası fazla dayanım gerektirmeyen işlerde ve briket ve bims üretiminde kullanılabilir.*

THE USE OF ERZURUM TIMAR AND DAZLAK PUMICES AS CEMENT ADMIXTURES AND LIGHTWEIGHT AGGREGATE CONCRETE PRODUCTION

ABSTRACT : *In this study, the physical characteristics of pumice in Erzurum, Pasinler-Timar and Narman-Dazlak regions were investigated. The puzolanic activity of pumice was determined according to two methods specified in TS EN 24 and ASTM C618. The compressive strength of samples, produced by pumice and lime, at 7 and 28 days were determined according to ASTM C618. Other characteristics and the usability of pumice in concrete production were also investigated according to TS specifications. The unit and specific weight, the water absorption capacity, light material content, Los Angeles abrasion value, apparent porosity and grading curves of pumice were obtained experimentally. The compressive strengths of concrete samples produced with pumice were determined at 7, 28, 90 and 180 days. According to the test results Dazlak pumice can be used in the concrete production. However, Timar pumice should be used in areas where high compressive strength is not needed such as production of masonry and etc.*

1. GİRİŞ

Puzolan-Kireç karışımının eski tarihlerden beri kullanıldığı bilinmektedir. Romalılar zamanında birçok su kemeri, köprü ve deniz yapısı inşaatında puzolan-kireç harcı kullanılmıştır. Bu yapıların bir kısmı hala hizmet vermektedir (1). Kireç-tuğla toprakları karışımı Bizanslılar ve Romalılar zamanında da kullanılmıştır. Günümüzde hala Hindistan’ da yaygın olarak kullanılmaktadır (2). Bileşiminde, doğal veya yapay puzolan bulunan betonlar genellikle su kemeri inşaatlarının duvarlarında, köprü kemerlerinde, set duvarlarında ve Romalılar devrinde yapılan inşaatlarda kullanılmıştır (3).

Horasan harcı olarak bilinen puzolanik malzeme Orta Asya’da Türkler tarafından yaygın olarak kullanılmıştır (4). Bazı gelişmekte olan ülkelerde maliyetlerin düşük olmasından dolayı bu malzeme hala kullanılmaktadır. Örneğin, Endonezya’da kireç-puzolan oranı $\frac{1}{2}$ ile $\frac{1}{4}$ arasında alınarak kireç-puzolan blokları üretilmektedir. Aynı malzeme pişmiş tuğlalar ile harç yapımı, su tankları için astar üretimi gibi değişik inşaatlarda başarılı olarak kullanılmaktadır. Puzolanların tipik özelliklerinden biri de kireçle reaksiyona girmeleridir (5).

Kimyasal bileşim, termodinamik kararsızlık ve özgül yüzeyler puzolanların aktifliklerini etkileyen faktörler arasında sayılmaktadır. Kireç çimentoya göre sabit bir karakteristiğe sahip olduğundan, puzolan-kireç harcı ile yapılan deneyler daha çabuk değerlendirilebilmektedir (6).

Düzgün kristallenmiş silis mineralleri kireçle reaksiyona girmemektedir. Bu yüzden bir puzolanda koloidal silis veya aktif silis ne kadar fazla ise o puzolan o oranda yüksek bir bağlayıcılık özelliğine sahiptir. Aktif silisin az olması halinde bağlayıcılık kabiliyeti düşük olacağından bu maddenin çimento veya kireçle karıştırılarak kullanılması doğru değildir. Bu yüzden puzolan olarak kullanılması istenilen bir maddenin aktif silis miktarının belirlenmesi gereklidir. Ancak yapılan analizlerde aktif silis miktarı değil bütün silis miktarı belirlenebilmektedir. Aslında bir puzolanda toplam silis miktarının fazla olması aktif silis miktarının da fazla olması olasılığını kuvvetlendirse bile, her zaman bu maddenin puzolanik özelliğe sahip olduğunu göstermez (7).

Ülkemiz pomza kapasitesi açısından oldukça zengindir. Ancak, her bölgede bulunan pomza yataklarının tamamının mühendislik özellikleri henüz belirlenememiştir. Çalışmanın amacı Erzurum bölgesinde bol miktarda bulunan pomzaların çimento hammaddesi ve beton üretiminde hafif agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Özellikle Dazlak bölgesinde bulunan yerleşim birimlerine yakın bölgede beton için uygun agrega bulunmadığından çok uzak mesafelerden dere agregası teminine gidilmektedir. Bu çalışma ile Dazlak agregasının beton üretimine uygunluğu belirlenirse çok daha ekonomik bir agrega kaynağı sağlanmış olacaktır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Bu çalışmada, Tımar ve Dazlak bölgelerinde bulunan pomzalar ele alınmıştır. Deneylerde kullanılan pomzaların kimyasal element kompozisyonları Tablo 1’ de, bazı fiziksel analizleri ise Tablo 2’de verilmiştir. Bölge halkı tarafından açılan ve kullanılan pomzaların ocağı, Resim 1’de, verilmiştir. TS EN 19’a uygun olarak üretilmiş olan Portland çimentosu kullanılmıştır. Portland çimentosunun kimyasal özellikleri Tablo

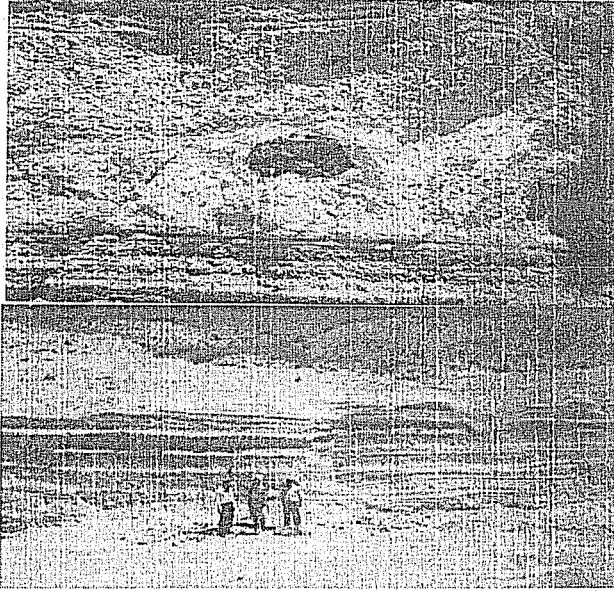
3'te, fiziksel özellikleri Tablo 4'te verilmektedir. Deneysel çalışmada kullanılan kirecin kimyasal özellikleri Tablo 5'te, fiziksel özellikleri ise Tablo 6'da verilmektedir. TS EN 819'da belirtilmiş olan boyutlardaki standart kum kullanılmıştır.

Tablo 1. Kullanılan pomzaların kimyasal içerikleri

Pomza türü	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Yanma Kaybı
Tımar	68.07	12.81	4.73	1.25	1.16	1.82	1.25	3.10	5.89
Dazlak	72.12	10.87	5.54	1.05	0.44	1.4	1.15	2.25	4.05

Tablo 2. Kullanılan pomzaların fiziksel özellikleri

Pomza türü	Özgül ağırlık g/cm ³	Özgül yüzey cm ² /gr
Tımar	2.17	3000 ve 6000
Dazlak	1.89	4000 ve 6000



Resim 1. Pomza ocağının değişik profilleri

Tablo 3. Portland çimentosunun kimyasal özellikleri

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Yanma kaybı
22.49	5.88	4.79	62.37	2.25	0.95	0.19	1.55	1.09

Tablo 4. Portland çimentosunun fiziksel özellikleri

Özgül ağırlık (kg/cm ³)	Özgül yüzey (cm ² /gr)	200 µ Elek üzerinde alan %	90 µ Elek üzerinde kalan %
3.11	3200	0.19	1.84

Tablo 5. Deneylerde kullanılan kirecin kimyasal özellikleri

Özellikler	Bulunan (%)
MgO+CaO En az	95.20
MgO	1.62
CO ₂ En çok	1.38
Asitli çözünmeyen SiO ₂	0.5
Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ En çok	0.8
SO ₃ En çok	0.5

Tablo 6. Deneylerde kullanılan kirecin fiziksel özellikleri

Türk standartlarda istenen fiziksel özellikler	Bulunan fiziksel özellikler
Birim ağırlık standardında kirecin birim ağırlığı 0.6 kg/dm ³ , kireç hamurunun birim ağırlığı en çok 1.5 kg/dm ³	0.55 kg/dm ³
Elek açıklığı (mm)	% kalan
0.63 En çok	% 0.5
	0.47
0.09 En çok	%10
	8.41

2.2. Yöntem

2.2.1. Pomzaların Puzolanik Aktiviteleri

Pomzaların kalite kontrolleri için ASTM C618'de verilen yöntemleri kullanılmaktadır. Çalışmada Tımar ve Dazlak pomzalarının puzolanik aktivite deneyleri ASTM C618 ve TS EN 25'e göre yapılmıştır.

2.2.2. Pomzalarla Yapılan Betonların Basınç Dayanımları

Beton üretiminde kullanılacak pomza agregalarının olarak ağırlıkça su emme, aşınma, porozite ve yıkanabilir madde oranları saptanmış ve standartlara uygun agrega elde edebilmek için granülometrik analizleri yapılmıştır. Ayrıca deneyde kullanılan betonların karışım oranları TS 802'ye göre belirlenmiştir. Su/çimento oranı 0.53 alınmıştır. 45 dm³ sıkıştırılmış beton bileşenlerinin ağırlık ve hacim olarak miktarları bulunmuştur. Laboratuvar şartlarında agrega olarak pomzalar ve çimento kullanılarak 15x15x15 cm küp numunelerin 7, 28, 90 ve 180 günlük basınç dayanımları tespit edilmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Rutubet Tayini ve Öğütme

Pomzaların puzolanik aktiviteilerinin belirlenmesi için bölgeden numuneler alınmış ve aşağıda anlatılan işlemler uygulanmıştır. Pomza alanlarından yeterli miktarda istifi temsil edecek şekilde Resim 1'de verilen alanlardan pomzalar alınmış ve çalışma yeri olan laboratuara getirilmiştir.

Pomza rutubetli olduğundan 5 kg malzeme etüvde 105 °C 24 saat bekletilmiş ve kırıktan geçirildikten sonra değirmende öğütülmüştür. Birkaç denemeden sonra öğütme süreleri belirlenmiştir.

3.2. Pomzaların Puzolanik Aktiviteileri (TS EN 25-ASTM C 618)

Çimento üreticileri kalite kontrolleri için ASTM C 618'de verilen yöntemleri kullanmaktadırlar. Bu yüzden çalışmada bu standarda göre de aktivite deneyleri yapılmıştır. Çalışma konusu Tımar ve Dazlak pomzalarının puzolanik aktiviteileri Türk standartlarına göre belirlenmiştir. İyi kristallenmemiş kuvars kireçle birleşmemektedir. Bu yüzden bir puzolanda kolloidal silis veya amorf kuvars mineralleri ne kadar fazla ise o puzolan o oranda yüksek bir bağlayıcılık özelliğine sahiptir. Aktif silisin belli bir değerden az olması halinde bağlayıcılık kabiliyetinin düşük olmasından dolayı, böyle bir maddenin çimento veya kireçle karıştırılarak kullanılması doğru olmaz. Bu yüzden puzolan olarak kullanılması istenilen bir maddenin aktif silis miktarının belirlenmesi gereklidir.

3.2.1. ASTM C 618 Yöntemi

Bu yönteme, kireç ile puzolanik aktivite deneyi adı verilmiştir. Bu deneyde harç karışımı 1 kısım özellikleri belirli hidrate kireç ile 2 kısım puzolan, 9 kısım gradasyonlu kum ile standart kıvam için gerekli sudan oluşmaktadır. ASTM C 618'de örneğin 7 günlük basınç dayanımının en az 5 MPa dayanıma ulaşması istenir.

3.2.2. TS 25 Yöntemi

TS EN 25 kireç ile aktivite belirlenmesi için kullanılır. Bu standarda uygun olarak karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar mikserde karıştırıldıktan sonra, 4x4x16 cm boyutlarında standart prizmatik kalıplara yerleştirilmiş ve sarsma tablasında yerlerine koyduktan sonra, kalıpların üstü buharlaşmayı önlemek için kapatılmıştır. Kalıpların alt taraflarından olabilecek karışım suyu sızmalarını önlemek için, parafin reçine karışımı sürülmüştür.

Numuneler kalıplarla birlikte oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra numuneler 6 gün kireçli suda bırakılmıştır. Bu süre sonunda numuneler kalıplarla birlikte 55 °C'lik etüvde 6 gün bekletilmiştir. Bu süre sonunda numuneler test edilmeden dört saat önce etüvden çıkartılmış ve oda sıcaklığında soğutulmuştur. Numunelerin eğilmede çekme ve basınç dayanımları TS EN 24'e göre yapılmıştır. Pomza örneklerinin önce özgül ağırlıkları belirlenmiştir. Aktivite deneyinde kullanılan malzemelerin bileşenlerinin bulunmasında (1) ve (2) ifadeleri kullanılmıştır. Miktarları belirlenen öğütülmüş pomza ile 150 g sönmüş kireç [Ca(OH)₂] sağlam bir naylon torbanın içine konulmuştur. Torbanın ağzı kapatılmış, torba iyice sallanarak malzemenin karıştırılması sağlanmıştır. Bu karışım harç karma makinesinde, orta kısmı

kaşıkla açılarak belirlenen miktar su konulmuştur. Su dışarı dökülmeyecek şekilde kaşıkla hafifçe karıştırıldıktan sonra makineye konularak makine çalıştırılmıştır. 1350 g standart kum (TS EN 819) mikserin hunisine dökülmüş, makinenin birinci duruşunda kap çıkarılmıştır. Etrafındaki pomza kaşıkla sıyrılmış ve tekrar makineye konmuştur. Makinenin çalışma süresinin tamamlanması beklenmiştir. Bileşen miktarları aşağıdaki ifadeler yardımı ile bulunmuştur.

$$\text{Puzolan Miktarı (g)} = (\text{Puzolanın Özgül Ağırlığı}) 300 / (\text{Sönmüş Kirecin Özgül Ağırlığı}) \quad (1)$$

$$\text{Su Miktarı (g)} = (\text{Puzolan Miktarı (g)} + \text{Sönmüş Kireç Miktarı (g)}) / 2 \quad (2)$$

(1) İfadesinde kullanılan kirecin özgül ağırlığı 2.38 g/cm^3 , sönmüş kireç miktarı da 150 g alınmıştır. Yapılan harç, kalıpların gözlerine eşit miktarda yarıya kadar konulmuş, tokmak sapıyla iyice bastırılarak yerleştirilmiştir. Harç sarsma makinesinde 60 sn içinde 60 sarsma yapılmış ve geri kalan harç ikinci kez aynı kalıba gözlerine eşit miktarda konulmuş, tokmak sapıyla sıkıştırılmıştır. Kalıp tekrar 60 defa sarsılmış, çarpma işi bittikten sonra kalıp şok çarpma makinesinden çözülmüştür. Kalıbın üzeri sıyrılıp temizlenmiş, delik olmayan bir naylon torbanın içine konulmuş, nem kaybı olmaması için, ağzı sıkı bir şekilde bağlanmıştır. 24 saat oda sıcaklığında bekletilen aktivite kalıbı naylon torbanın içinden çıkarılmıştır.

3.3. Pomzalarla Üretilen Betonların Basınç Dayanımları

3.3.1. Pomza Agregaların Su Emme, Aşınma, Porozite ve Yıkabilir Madde Oranları

Agreganın emdiği su miktarı, bileşimindeki tanelerin kökenine, tanelerin yapı ve dokusuna, çimentolaşma türü ve çimento maddesine, tanelerin boyutuna, porozitesine, maruz kaldığı kimyasal ve fiziksel ayrışmanın derecesine, granülometri bileşimine bağlı olarak değişir. Beton üretiminde kullanılacak agreganın su emme değeri ne kadar az ise, o kadar az karışım suyu absorbe edecek ve karışım tasarımında o ölçüde az dalgalanmalara neden olacaktır (8). Ayrıca, don olayına uğrayabilecek betonlarda yapı içinde meydana gelebilecek çekme gerilmelerini minimuma indirmek için su emme değerinin düşük olması gerekmektedir. TS EN 706'da agreganın su emme değeri hakkında bir açıklama bulunmamaktadır. Su emme değerinin %10 dolaylarında bulunmasının iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir. İncelenen agrega örneklerinin su emme kapasiteleri Tablo 7'de verilmektedir.

Los Angeles aşınma deneyi agregaların aşınma dayanımını belirlenmesi açısından önemlidir. İri agreganın darbe ve aşınmalara karşı dayanımını, agregadaki kayaların cinsi ve bunların petrografik olarak incelenmesiyle yaklaşık olarak saptamak mümkündür. Agreganın aşınmaya karşı dayanıklılığı, agregayı oluşturan kayacın kristallenme derecesiyle de yakından ilişkilidir (8). Yassı-uzun tanelerin aşınma kaybı değeri fazla olmaktadır. Diğer taraftan daha gevşek ve kırılğan taneler, yumuşak tanelere göre daha fazla aşınma yüzdesi vermektedir. TS EN 3694'de beton agregası için benimsenen Los Angeles aşınma değeri, 100 devir için ağırlıkça %10'dan, 500 devir için ağırlıkça %50'den fazla olmamalıdır. İncelenen agregalardan Tımar pomza agregası Los Angeles aşınma değeri standartlarda belirtilen sınır değerinin çok üstünde bulunmuştur (Tablo 7).

Birim hacim, agrega da agrega tanelerince işgal edilen gerçek hacimsel doluluğu verir. Hacimsel doluluk ne kadar fazla ise agrega taneleri aralarında kalan boşluklar o kadar az demektir. Dolayısıyla bu boşlukları doldurması gereken çimento miktarı o derece de azalacaktır (Tablo 8).

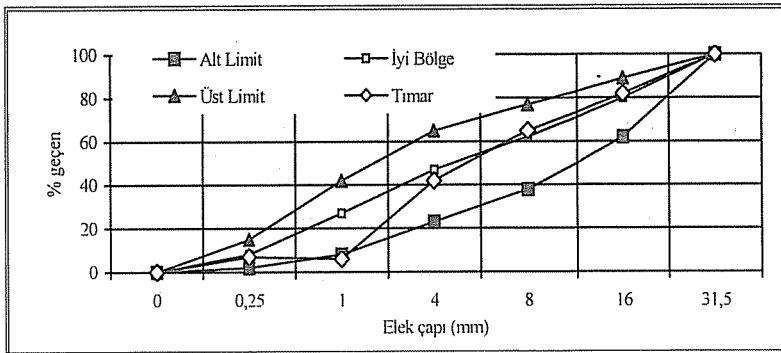
TS EN 3526'da 63 milimikron açıklıklı kare gözlü elekten geçen madde olarak tanımlanan yıkanabilir madde miktarı TS EN 706'ya göre, kumda maksimum %5, çakılda ise maksimum %1 olması gerektiği ifade edilmiştir. Yıkanabilir maddeler kil, silt, ve çok ince kaya unundan oluşur. Kil boyutundaki taneler kil mineralleri yanında, farklı mineral türlerini içerir (Tablo 7).

Tablo 7. Pomza agregaların ağırlıkça su emme, aşınma, görüntür gözeneklilik ve yıkanabilir madde oranları

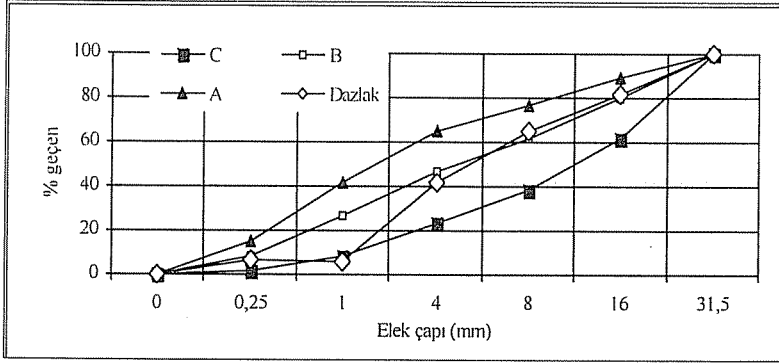
Pomzalar	Su Emme (%)		Aşınma (%)	Porozite (%)		Yıkanabilir madde miktarı (%)
	İri Agregata	İnce Agregata		İri Agregata	İnce Agregata	
Tımar	65.5	74	45.5	75	72	8.2
Dazlak	55.5	58.5	19.6	64	61	6.4

3.2.2. Granülometri Eğrileri

Agreganın granülometresi betondaki agrega dağılımını göstermektedir. Dolayısıyla iyi bir beton üretebilmek için agregaların granülometri değerlerinin TS EN 706'da verilen sınır değerlere uyması gerekmektedir. İnce tane pomza agregaların elek analizleri TS EN 3530'a göre yapılmıştır. İnce tane pomza agregaların granülometri eğrileri de Şekil.1 ve 2'de verilmiştir. Granülometri deneyleri her grup agrega için ikişer defa yapılmıştır.



Şekil 1. Tımar pomza agregasının granülometri eğrisi



Şekil 2. Dazlak pomza agregasının granülometri eğrisi

3.2.3. Betonların Karışım Hesapları

TS-EN-802² ye göre belirlenen karışım oranları ağırlık ve hacim olarak miktarları Tablo 8.'de verilmiştir.

Tablo 8. TS 802'ye göre bulunan beton bileşenlerinin miktarları

Numune	Bileşenler								
	Ağırlık (kg)				Hacim (dm ³)				
	Su	Çimento	Kum	Çakıl	Su	Çimento	Kum	Çakıl	Hava
Tımar pomzası	8.43	15.4	33.26	51.78	8.46	5.02	12.63	19.82	0.02
Dazlak pomzası	8.24	15.4	33.62	52.32	8.24	4.88	12.70	19.12	0.04

3.2.4. Karışımların Hazırlanması

TS EN 802'ye uygun olarak yapılan beton karışım hesabı ile bulunan karışım ağırlıklarına göre pomza agregalar ve çimento hassas bir şekilde tartılarak betoniyerde karılmıştır. Taze betonun işlenebilirliğini, akıcılığını tespit etmek amacıyla çökme deneyi yapılmıştır. Bunun için birçok yöntem geliştirilmiş olmakla beraber en çok kullanılan yöntem, çökme hunisi denilen bir aletle yapılan çökme deneyidir. Taze beton çökme hunisine 3 etapta konularak, her defasında 25 kez şişlenmiş, üstü mala ile düzeltildikten sonra çökme hunisi yukarıya doğru dikkatlice kaldırılmıştır. Oluşan taze beton yığınının yanına slump hunisi konulmuş taze betonun çökme miktarı ölçülmüştür. Tablo 9'da üretilen betonlar için bulunan çökme değerleri verilmiştir. Hazırlanan deney numuneleri aynı şartlarda, normal sıcaklıkta kür havuzunda saklanmıştır.

Tablo 9. Pomzalarla üretilen betonların çökme değerleri

Numuneler	Çökme değeri (cm)
Tımar pomzası ile üretilen beton	10.5
Dazlak pomzası ile üretilen beton	11.4

Çökme değerleri normal kıvamı göstermektedir. Yani, üretilen betonların işlenebilmesi (kalıba yerleştirilmesi) kolay olacaktır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Pomzaların Öğütülmesi

Hazırlanan pomzalar; 45, 90 ve 200 μ 'luk elek kalıntısı belirlenerek 3000 cm^2/g ve 6000 cm^2/g olarak iki ayrı Blaine incelik kullanılmıştır. Bu nedenle karışımların öğütme süreleri farklıdır. Çimento karışımlarının incelik deneyi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre değirmendeki öğütme süreleri tespit edilmiştir. Malzemelerin öğütme süreleri ve incelik değerleri Tablo 10'de verilmiştir. Dazlak pomzasının öğütme süresi en uzun olanıdır. Öğütme süreleri ile incelik arasında doğru orantı vardır. Malzeme ne kadar ince öğütülürse o oranda daha fazla süre öğütme gereklidir.

Tablo 10. Pomzaların öğütme süreleri-incelik ilişkileri

Pomzalar	İncelik (% elek kalıntısı)			Öğütme süresi (dakika)
	45 μ	90 μ	200 μ	
Tımar pomzası (3000 cm^2/g)	3.30	0.57	0	83
Tımar pomzası (6000 cm^2/g)	0.43	0.04	0	245
Dazlak pomzası (3000 cm^2/g)	4.45	0.69	0	88
Dazlak pomzası (6000 cm^2/g)	0.66	0.12	0	254

4.2. Pomzaların Puzolanik Aktiviteleri (TS 25-ASTM C 618)

TS EN 25'e göre yapılan aktivite deneyinde kullanılan puzolan ve su miktarları Tablo 11'de verilmiştir. TS EN 25'e göre yapılan deneylerde örneklerin 7 günlük aktivite değerleri Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 11. Bileşenlerinin miktarları (g)

Puzolan	Puzolan Miktarı (g)	Su Miktarı (g)
Tımar pomzası (3000 cm^2/g)	395	214
Tımar pomzası (6000 cm^2/g)	425	225
Dazlak pomzası (3000 cm^2/g)	387	211
Dazlak pomzası (6000 cm^2/g)	418	218

Tablo 12. TS EN 25 ile aktivite (Basınç dayanımı, MPa)

Numune Kodu	Basınç Dayanımı	Eğilme Dayanımı
Tımar pomzası (3000 cm^2/g)	13.2	3.9
Tımar pomzası (6000 cm^2/g)	20.1	6.1
Dazlak pomzası (3000 cm^2/g)	15.4	4.2
Dazlak pomzası (6000 cm^2/g)	22.6	6.6

TS EN 25'e göre yapılan kireç harcının 7 günde eğilme dayanımı en az 1 MPa, basınç dayanımı ise en az 5 MPa dayanıma ulaşması istenir. Pomzaların 7 günlük aktivite değerleri bu sınırların çok üstünde çıkmıştır (Eğilmede en az 3.9 MPa, en çok 6.6 MPa ve basınç dayanımları en az 13.2 en çok 22.6 MPa olmuştur).

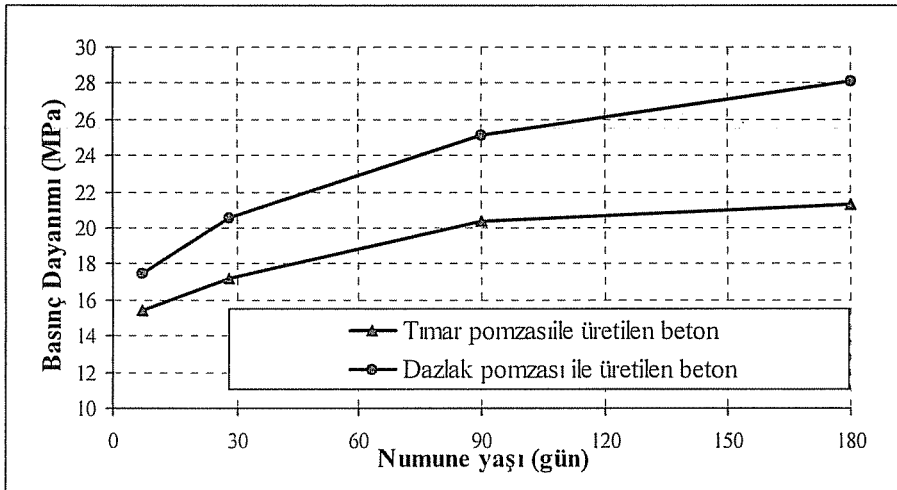
TS EN 25'e göre bulunan aktivite değerleri iki farklı pomza için hem basınç hem de eğilme dayanımları açısından farklı değerler vermiştir. Pomzaların TS EN 25'e göre aktivite değerleri standartların oldukça üstünde çıkmıştır. ASTM C618 ile elde edilen aktiviteler Tablo 13'te verilmiştir. Çizelge incelendiğinde bulunan değerlerin standartların çok daha üstünde aktivitelerin elde edildiği görülmektedir.

Tablo 13. ASTM C618 ile aktivite (Basınç dayanımı, MPa)

Numune Kodu	Basınç Dayanımı	Yüzde aktivite
Tımar pomzası (3000 cm ² /g)	37.5	88
Tımar pomzası (6000 cm ² /g)	41.3	92
Dazlak pomzası (3000 cm ² /g)	39.6	93
Dazlak pomzası (6000 cm ² /g)	42.2	93
Kontrol (3000 cm ² /g)	42.4	100
Kontrol (6000 cm ² /g)	45.1	100

4.3. Pomzalarla Üretilen Betonların Basınç Dayanımları

Pomzalarla üretilen küp numuneler normal oda sıcaklığında musluk suyunda bekletildikten sonra elde edilen basınç dayanımları Şekil.3'te verilmiştir. Dazlak pomzası ile üretilen betonların basınç dayanımları, Tımar pomzası ile üretilenlerden daha yüksek bulunmuştur. Özellikle 28 günden sonraki dayanım açısından Dazlak betonunun basınç dayanımı normal değerler arasında iken Tımar pomzası ile üretilen betonların dayanımları taşıyıcı eleman üretimin kullanılmaya uygun değildir.



Şekil 3. Pomzalarla üretilen betonların basınç dayanımları

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Pomzaların Aktiviteleri

TS EN 25'e göre yapılan aktivite deneyine göre, 3000cm²/g incelikteki Tımar pomzasının basınç dayanımı Dazlak pomzasının basınç dayanımının ancak %85 ne ulaşırken, bu değer 6000cm²/g incelikteki pomzalar için %89 dur. Oysa ASTM C618'e göre aktivite değerleri daha yakındır (%95 ile 98).

Bu standarda göre puzolanların 28 günlük dayanımları, puzolan katılmadan yapılan tanık numunenin dayanımının en az % 70'ine ulaşması istenmektedir. Sonuçlar incelendiğinde pomzanın ASTM C618'e göre aktivite değerleri standartların oldukça üstünde çıkmıştır. Puzolanik aktivite deneyi sonuçlarına göre, hem TS EN 25 hem de ASTM C618'e göre Dazlak pomzası daha aktif bulunmuştur. Pomzaların puzolanik aktiviteleri çimento üretimi için yeterlidir.

5.2. Pomzalarla Üretilen Betonların Basınç Dayanımları

Pomzalarla üretilen betonların ilk günlerde basınç dayanımı çok düşüktür. Ancak Dazlak pomzası ile üretilen betonların özellikle 28 günden sonraki dayanımları normal beton agregalarına göre normal düzeydedir. Tımar pomzası yüksek dayanım istemeyen beton üretiminde kullanılabilir. Dazlak bölgesinde ve civar yerleşim birimlerine yakın yerlerde uygun agrega ocakları bulunmamaktadır. Test sonuçları, daha uzak bölgelerden agrega taşımak yerine bu pomza ile normal beton üretilebileceğini göstermektedir. Dazlak pomzası hem gerekli dayanım hem de yeterli ekonomi sağladığı için beton üretiminde kullanılabilir.

Bunlarla birlikte aşağıda verilen sonuçlar sıralanabilir.

- i-) Her iki pomzanın da puzolanik aktivite standart değerlerin üstünde çıkmasına karşılık Dazlak pomzanın puzolanik aktivitesi daha yüksek olmuştur. Yine her iki pomzanın da kimyasal kompozisyonları ve basınç dayanımları ilgili standartlara uygundur.
- ii-) Pomzalarda aktif silis miktarının fazla olmasının basınç dayanımını artırdığı bilinmektedir. Çünkü Dazlak pomzasındaki silis miktarı Tımar pomzasından daha yüksek olmasının bir sonucu olarak aktivite değeri de daha yüksek bulunmuştur.
- iii-) Çok ince öğütüldüğünde her iki pomza da çimento üretiminde kullanılabilir.
- vi-) Pomzalar hem kolay öğütülebildiğinden hem de çimentoya öğütme aşamasında katılabildiğinden ekonomik malzemelerdir.
- v-) Tımar pomzası ile üretilen betonların basınç dayanımları düşüktür. Fakat hem ekonomik olması hem de yüksek dayanım vermesi yüzünden Dazlak pomzası, hafif beton üretiminde kullanılabilir.

6. KAYNAKLAR

1. Massazza,F., "Puzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları", Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, 11-12 Mayıs, Ankara, 1989.
2. Taylor,H.F.W., "The Cemistry of Cement", Volume 2, Academic Pres Inc, Ltd. London, 1964.
3. Lea,F.M, C.B.E, D Sc, F.R.I.C., "The Chemistry of cement and concrete 3rd Edition", Edward Arnold Ltd., London, 1956.

4. Akman, M.S., TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yayın, Panel, Aralık, Ankara, 1994.
5. Binici, H., Kaplan, H., Kapur, S., "Osmaniye Delihalil Trası ile İlgili Deneysel Çalışma", Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimler Dergisi (Journal of Engineering Science), Cilt:2, 843-851, Denizli, 1998.
6. Postacıoğlu, B., Beton Cilt 1, Bağlayıcı Maddeler, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1986.
7. Czernin, W., "Cement chemistry and physics", C. Inc. Publishing, New York, 1967.
8. Binici, H., Çağatay, İ.H., "Osmaniye ili Agregalarının Teknik Özellikleri", Çukurova Üniversitesi, Mühendislik dergisi, Haziran, cilt, 19, Sayı.1, Adana, 2004.
9. Erdoğan, T., "Betonu Oluşturan Malzemeler (Çimentolar)", Türkiye Hazır Beton Birliği, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Basımevi, Ankara, 2002.
10. TS EN 25, Tras, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1975.
11. TS EN 19, Portland Çimentoları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1992.
12. TS EN 819, Rilem Cembureau standart kumu, Ankara, 1976.
13. TS EN 802, Beton Karışım Hesap İlkeleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1987.
14. TS EN 24, Çimentoların fiziki ve mekanik deneyleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1997.
15. TS EN 706, Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
16. TS EN 3694, Beton Agregalarında Numune Aşınmaya Dayanıklılık Aşınma Oranı Tayini Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1981.
17. TS EN 3526, Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
18. TS EN 3530, Beton Agregalarında Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini, Ankara, 1980.

GENİŞ BAŞLIKLİ DİKDÖRTGEN SAVAK ARKASINDA OLUŞAN DALGALI HİDROLİK SIÇRAMANIN SAYISAL ANALİZİ

Selahattin KOCAMAN ve Hatice ÖZMEN-ÇAĞATAY

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

ÖZET : Dalgalı hidrolik sıçrama, hidrolik sıçramanın düşük yükseklikli durgun serbest yüzey dalgalarına sahip özel bir türü olarak tanımlanır. Froude sayısının 1 den çok az daha büyük olduğu akım durumlarında meydana gelir. Yapılan çalışmada, geniş başlıklı dikdörtgen savak arkasında meydana gelen dalgalı hidrolik sıçrama oluşumu sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çözüm için, sonlu hacimler yöntemine dayanarak 3-boyutlu Reynolds ortalama Navier-Stokes (RANS) denklemlerinin çözüldüğü, FLOW-3D hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı kullanılmıştır. Sayısal yöntemin doğruluğunu belirlemek için, sayısal çözümle hesaplanan su yüzü profilleri literatürdeki deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca, farklı batıklık dereceleri için savak arkasında, dalgalı hidrolik sıçrama oluşumu sayısal olarak incelenmiştir. Batıklık derecesinin artmasıyla, savak arkasında meydana gelen dalgalanmalara ait dalga genliği, dalga uzunluğu, dalga şekli ve dalgalanmanın yayıldığı mesafe gibi hidrolik özelliklerde belirgin değişimler gözlenmiştir.

NUMERICAL INVESTIGATION OF UNDULAR HYDRAULIC JUMP BEHIND A RECTANGULAR BROAD-CRESTED WEIR

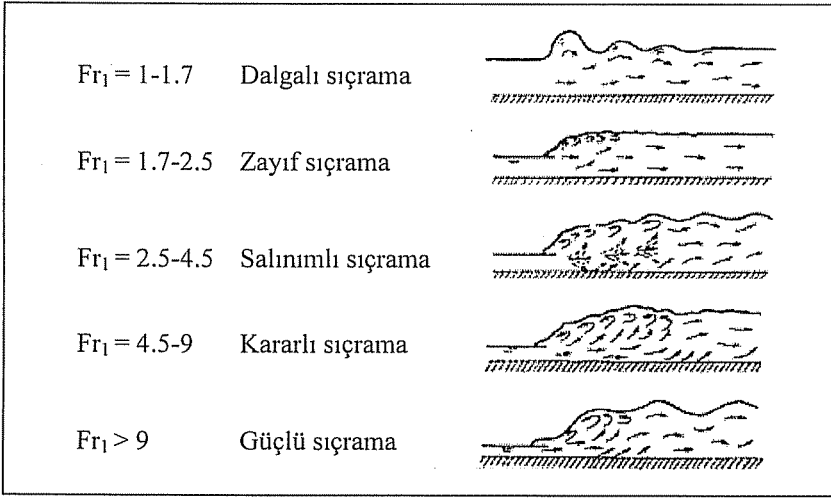
ABSTRACT : Undular hydraulic jump is characterized as the special type of the hydraulic jump which has low height with standing free surface waves. It occurs at the flow situation when the inflow Froude number is a little larger than 1. In the present study, occurrence of undular hydraulic jump behind a rectangular broad crested weir is numerically examined. For numerical solution, FLOW-3D computational fluid dynamics software based on finite volume method to solve 3-dimensional Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) equations is utilized. To verify the numerical method, water surface profiles computed by numerical solutions are compared with experimental results which are given in literature and there are good agreements between numerical and experimental results. Furthermore, occurrence of undulations behind the weir is examined numerically for different degree of submergences. With the increase of submergence degree, significant variations are observed on hydraulic properties of undulations behind the weir such as wave amplitude, wave length, wave shape and propagation distance of undulations.

1. GİRİŞ

Açık kanallarda, kritik üstü akımdan kritik altı akıma başka bir ifade ile sel rejiminden nehir rejimine geçişte hidrolik sıçrama meydana gelir. Hidrolik sıçrama, akım ortamına aşırı miktarda hava girişinin, enerji kayıplarının, yüzey dalgaları ve saçılımların olduğu oldukça şiddetli bir türbülanslı yapıya sahiptir (1). Hidrolik sıçramanın memba bölgesinde hız yüksek, derinlik az iken mansap kısmında hız düşük, derinlik büyüktür. Hidrolik sıçramanın yapısı giren akımın Froude sayısına bağlı olarak Şekil 1'de görüldüğü gibi sınıflandırılır (2). Froude sayısının eşitliği aşağıda görülmektedir:

$$F_r = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}} \quad (1)$$

Burada v_1 giren akımın ortalama hızını, h_1 ise giren akımın derinliğini göstermektedir.



Şekil 1. Hidrolik sıçrama türlerinin Froude sayısına bağlı olarak sınıflandırılması (2)

Dalgalı hidrolik sıçrama klasik hidrolik sıçramanın özel bir hali olup Froude sayısının 1 den çok az daha büyük ($1 < Fr < 1.7$) olduğu durumlarda meydana gelir ve serbest yüzeyli dalgalarla (undulations) ifade edilir. Daha yüksek Fr sayılarında dalgalı sıçramadan klasik hidrolik sıçramaya geçilir. Dalgalı hidrolik sıçramada, su yüzeyi dalgalı görünümlü olup sıçrama derinliği klasik hidrolik sıçramaya göre daha düşüktür ayrıca klasik hidrolik sıçramada görülen belirgin yuvarlak sıçrama yüzeyi oluşmaz. Bundan dolayı dalgalı hidrolik sıçrama su yüzeyi dalgalı düşük yükseklikli hidrolik sıçrama olarak tanımlanır. Su yüzeyindeki durağan (standing) haldeki bu dalgalar, dalgalanmalar (undulations) olarak adlandırılır. Klasik hidrolik sıçramaya göre daha az

enerji kaybı olmasından dolayı bu dalgalanmalar, sıçramanın mansabında oldukça uzun bir alana yayılabilir (3).

Taşkın esnasında doğal akarsularda, barajlarda kapak altı, savak yada eşik üstünden geçen akımlarda, sığ suda gemi hareketi, baraj rezervuarı kıyılarında heyelan, kanal tabanının ani yükselmesi, suya büyük bir cismin düşmesi gibi durumlarda oluşabilen dalgalı hidrolik sıçrama, kıyı duvarlarında ve tabanında erozyona neden olarak sıçramanın mansabındaki hidrolik yapılara ilave yükler getirebilir. Bunun için dalgalı hidrolik sıçramanın özelliklerinin ve hangi hidrolik şartlarda oluşacağını bilmesi su yapılarının tasarımı ve işletilmesi için gereklidir. Ayrıca doğal akarsu yataklarının korunması, bakımı ve düzenlenmesi için de önemlidir. Dalgalı hidrolik sıçramanın, rekreasyon aktiviteleri ile kano, rafting, surfing gibi su sporlarının yapılabilmesi için akarsuda gerekli fiziksel ortamı yaratması gibi avantajları da bulunmaktadır (4).

Hidrolik sıçramanın mansabındaki akım şartları, mambadaki akım şartlarının yardımıyla süreklilik ve momentum denklemleri kullanılarak elde edilir. Sürtünmelerin ihmal edildiği dikdörtgen yatay bir kanalda hidrolik sıçrama için aşağıdaki ifade kullanılmaktadır.

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right) \quad (2)$$

burada h_1 mambadaki akım derinliği, h_2 mansap akım derinliği ve Fr_1 de giren akımın Froude sayısıdır. Denklem (2)'den anlaşılacağı gibi hidrolik sıçramanın yapısı Fr sayısına bağlı olarak değişmektedir (1,2). Eğer memba ve mansap derinlikleri arasındaki fark azalırsa yüzeysel sıçrama zayıflar ve su yüzü mansap doğrultusunda hareket eden dalgalı bir görünüm alır.

Günümüzde, dalgalı hidrolik sıçramanın oluşumu ve özellikleri tam olarak anlaşılammıştır. Dalgalı hidrolik sıçramalar hidrostatik olmayan basınç dağılımına sahip serbest yüzeyli akımlardır. Ayrıca dalgalı hidrolik sıçrama, genellikle ayrı olarak ele alınan akım ve dalga olayını bir arada bulundurur. Bu nedenle dalgalı hidrolik sıçrama farklı sayısal yaklaşımların değerlendirilmesi açısından iyi bir örnektir. Kullanılan modelin, dalgalanmaların oluşumunu ve doğru dalga özelliklerini belirleyip belirleyemeyeceğinin bulunması ilgi konusudur. Bununla birlikte literatürde konu üzerinde yapılan deneysel ve sayısal çalışmalar oldukça sınırlıdır. Dalgalı hidrolik sıçramalar üzerine yapılan araştırmaların çoğu yatay kanallardaki hidrolik sıçrama konusunda yapılmıştır ve genellikle deneysel çalışmalardan oluşmaktadır (4-7). Bu amaçla dalgalı hidrolik sıçramanın özel bir durumu olan savak arkasında oluşan dalgalanmalar FLOW-3D ticari yazılımı kullanılarak sayısal olarak incelenmiş ve elde edilen su yüzü profilleri ile dalga özellikleri literatürdeki deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca hidrolik sıçrama oluşumuna etki eden bir çok parametreden biri olan batıklık derecesinin etkisi sayısal çözümle belirlenmiştir.

2. SAYISAL YÖNTEM

Sayısal çalışmada, FLOW-3D ticari hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı kullanılmıştır. Özellikle, serbest yüzeyli akımların modellenmesinde oldukça başarılı olan bu yazılım ile süreklilik ve 3-boyutlu Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS)

denklemleri sonlu hacimler yöntemi kullanılarak çözülmektedir. Sayısal hesaplamalar, dikkörtgen hücrelerden oluşan bir çözüm ağı üzerinde yapılmakta ve problem geometrisi daha sonra bu ağ üzerinde ilgili hücrelerin engellerle kapatılmasıyla elde edilmektedir. Yazılım, serbest yüzeyli problemlerin çözümü için akışkan hacmi (VOF-Volume of Fluid) yöntemini kullanmaktadır (8). Türbülans büyüklüklerinin hesaplanabilmesi için k-ε modeli, Prandtl karışma boyu modeli, türbülans enerji modeli, RNG (Renormalized Group) model ve LES (Large-Eddy Simulation) modeli gibi farklı türbülans yaklaşımlarını içerisinde barındırmaktadır. Yazılım içerisinde, sıkışmayan akım için eş zamanlı olarak çözülen kartezyen koordinatlarındaki 3 boyutlu süreklilik ve RANS denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (u_i A_i) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u_j A_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + g_i + f_i \quad (4)$$

burada u_i i doğrultusundaki akım hızını, P basıncı, A_i i doğrultusunda her bir hücredeki akışkanın sahip olduğu alanı, V_F her bir hücredeki akışkanın sahip olduğu hacmi, g_i kütleli kuvvetleri, f_i herhangi bir türbülans modeli için Reynolds gerilmelerini ifade etmektedir (9).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada, kullanılan sayısal yöntemin doğruluğunun belirlenebilmesi için ilk olarak literatürdeki deneysel sonuçlarla karşılaştırma yapılmıştır. Daha sonra farklı batıklık dereceleri için dalgali hidrolik sıçramanın oluşumu sayısal olarak irdelenmiştir.

3.1. Sayısal Yöntemin Deneysel Sonuçları ile Karşılaştırılması

Sayısal yöntemin doğruluğunu belirlemek amacıyla, yatay dikkörtgen bir kanalda düzenli akım için eşik mansabındaki dalgalanmaların incelendiği ve Bukreev (2001) tarafından gerçekleştirilmiş olan deney verilerinden yararlanılmıştır. Deneyler 480 cm uzunluğunda ve 6 cm genişliğinde yatay dikkörtgen bir kanalda gerçekleştirilmiştir. 30 cm uzunluğunda ve 4.85 cm yüksekliğinde geniş başlıklı dikkörtgen bir savak engel olarak kullanılmıştır. Aynı kritik yüksekliğe ve savak yüküne sahip akım için kuyruk suyu derinliğini değiştirmek suretiyle eşik mansabında meydana gelen dalgalanmalara ait su yüzü profilleri belirlenmiştir. Eşik membasındaki akım derinliği $h_1=13.45$ cm, mansaptaki akım derinlikleri sırasıyla $h_2=10.6$ cm ve 11.1 cm olarak alınmıştır. İncelenen akım kritik altıdır ve savak üzerindeki kritik yükseklik $h_{kr}=5.55$ cm olarak verilmiştir (10).

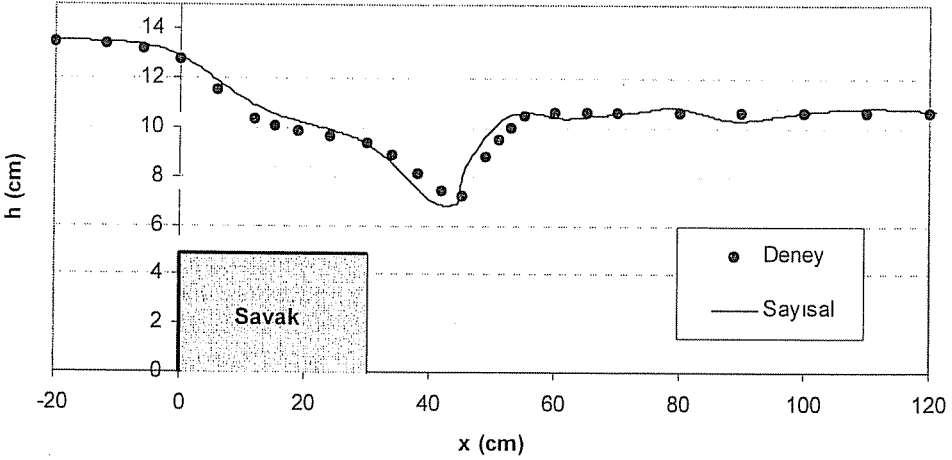
Sayısal çalışmada, deneysel veriler dikkate alınarak 200 cm uzunluğunda, 20 cm yüksekliğinde dikkörtgen hücrelerden oluşan bir çözüm bölgesi düşünülmüş ve savağın memba ucu koordinat merkezi olarak seçilmiştir. Yapılan çalışmada, memba ve mansap derinlikleri arasında dalgalanmaların oluşum hassasiyetini sağlayabilmek amacıyla seçilen kuyruk suyu derinlikleri arasında oldukça küçük fark bulunmaktadır ($\Delta h=0.5$ cm). Bu kadar küçük farkın sonuçları etkilediği bir durumda dalgalanmaların

daha sağlıklı gözlenebilmesi için ağ aralıklarının oldukça sık seçilmesi gereklidir. Bu da problemin çözüm süresini arttırmaktadır. Buna karşın, yapılan ön hesaplamalar sonucunda ağ aralıkları yatay ve düşey doğrultuda 0.05 cm seçilerek yeterli hassasiyet sağlanmıştır. Mamba sınır şartı olarak giriş hızı ve mansap sınır şartı olarak da mansap ucundaki kuyruk suyu derinliği bilindiğinden basınç yüksekliği kullanılmıştır. Kuyruk suyu yükseklikleri sırasıyla 10.6 cm ve 11.1 cm olmak üzere iki farklı basınç yüksekliği mansap sınır şartı olarak seçilmiştir. Taban sınır şartı duvar olarak belirlenmiş ve yerçekiminden dolayı herhangi bir etkisi olmadığı için üst sınır şartı "simetri" alınmıştır. Bu özellik sınır şartları seçilebilmesi için program tarafından izin verilen sınır şartından biridir. Bu sınır şartı seçildiğinde serbest yüzeyde atmosfer basıncının etkili olduğu kabul edilmektedir. Problem iki boyutlu olarak ele alındığından yan yüzeylerdeki sınır şartları simetri olarak seçilmiş ve y doğrultusu bir hücre ile temsil edilmiştir. Hesaplamalarda su seviyeleri kararlı hale gelene kadar çözüm süresi devam ettirilmiştir. Başlangıç şartı olarak savak membasında, savak üzerinde ve savak mansabında olmak üzere üç farklı bölgede akışkan hacmi tanımlanarak problemin kısa sürede çözüme ulaşması amaçlanmıştır. Katı sınır yüzeylerinde kaymama (no-slip) sınır koşulu uygulanmıştır. Dolayısıyla cidar yüzeylerinde yatay ve düşey doğrultudaki hız bileşenleri sıfır olmaktadır. Çalışmada k-ε türbülans modeli kullanılmıştır.

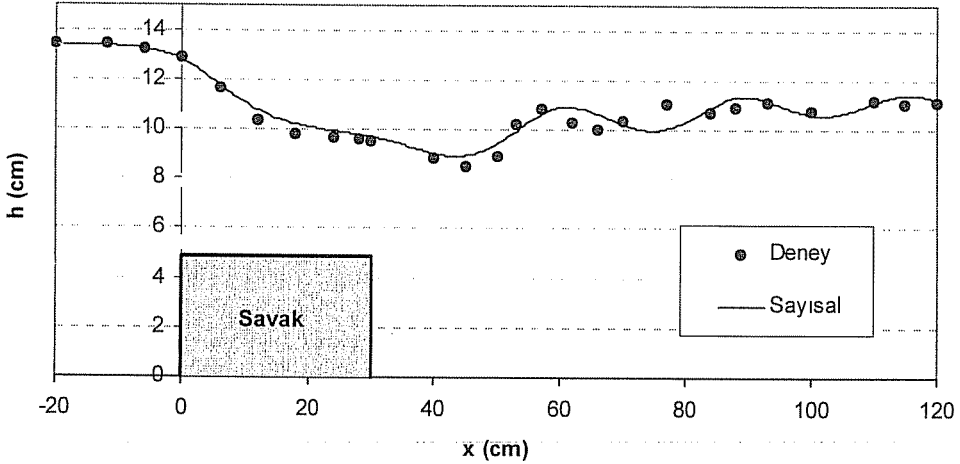
Dalgali hidrolik sıçramanın oluşumuna savak üzerindeki hız profili, savak geometrisi, savağın batıklık derecesi gibi çeşitli parametreler etki etmektedir. Bunların, mansapta meydana gelen dalgalanmalara ait dalga boyu, dalga genliği, dalga şekli, dalga sayısı gibi hidrolik özellikleri etkilediği bilinmektedir. Yapılan çalışmada, sadece batıklık derecesinin etkisi incelenmiştir. Batıklık derecesi (S), savağın mansap su derinliğinin mamba su derinliğine oranı (h_2/h_1) olarak tanımlanmaktadır. Savak arkasındaki dalgalanmalar belirli bir batıklık derecesi aralığında meydana gelmektedir. Sayısal çalışmada, aynı mamba derinliğine ($h_1=13.45\text{cm}$) sahip deneysel veriler kullanılmış ve kuyruk suyu derinliği artırılarak batıklık derecesi değiştirilmiştir.

Şekil 2'de $S=0.79$ batıklık derecesi için geniş başlıklı dikdörtgen savak mansabında meydana gelen hidrolik sıçramaya ait sayısal çözüm ile elde edilen su yüzü profillerinin deney sonuçları ile karşılaştırılması verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi deney sonuçları ile sayısal sonuçlar arasında oldukça iyi bir uyum bulunmaktadır. Sıçrama türü, klasik hidrolik sıçramaya benzemektedir. Buna karşın, sayısal çözümde su yüzü profili kararlı olmamakta ve zamana bağlı olarak değişmektedir. Çözüm sırasında savak mansabındaki su yüzeyi öncelikle dalgali bir görünüm almakta, zaman ilerledikçe dalgalar dikleşerek mamba yönünde kırılmakta ve klasik hidrolik sıçramaya geçilmektedir. Daha sonra tekrar su yüzeyi dalgali bir görünüm almakta ve bu durum çözüme devam edildiği sürece periyodik olarak tekrarlanmaktadır. Bu kararsızlık durumu deneysel çalışmalarda da gözlenmiştir (3,10). Sonuç olarak bu batıklık derecesinin klasik hidrolik sıçrama ile dalgali hidrolik sıçrama arasında kritik olan geçiş anını temsil ettiği söylenebilir.

Şekil 3'de $S=0.83$ batıklık derecesi için savak mansabında dalgali hidrolik sıçramanın meydana geldiği sayısal ve deneysel sonuçlardan görülmektedir. Grafiğe bakıldığında, sayısal çözüm ile elde edilen su yüzü profillerinin genel olarak deney sonuçları ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, dalgalanmalara ait hesaplanan dalga genlikleri deney sonuçlarına yakın çıkarken, dalga uzunluklarının sayısal çözümde daha uzun olduğu göze çarpmaktadır.



Şekil 2. $S=0.79$ batıklık oranı için sayısal ve deneysel su yüzü profilleri



Şekil 3. $S=0.83$ batıklık oranı için sayısal ve deneysel su yüzü profilleri

3.2. Farklı Batıklık Dereceleri için Sayısal Uygulama

Yapılan çalışmada, ikinci bir uygulama olarak farklı batıklık dereceleri için geniş başlıklı dikdörtgen savak arkasındaki dalgalanmaların davranışı sayısal olarak ele alınmıştır. Bu amaçla savak membasındaki su yüksekliği sabit alınmış ve kuyruk suyu derinliği artırılarak farklı batıklık dereceleri elde edilmiştir. Sırasıyla $S=0.75$, 0.80 , 0.85 , 0.90 ve 0.95 olmak üzere beş farklı batıklık derecesi kullanılmıştır. Bu da seçilen kuyruk suyu derinlikleri arasında 0.7 cm'lik bir artış olduğu anlamına gelmektedir. Membadaki sabit su derinliği $h_1=14$ cm olarak alınmıştır. Savak yüksekliği 5 cm ve savak uzunluğu 30 cm olarak belirlenmiştir. Savak yükü fazla alınarak cidar etkisi

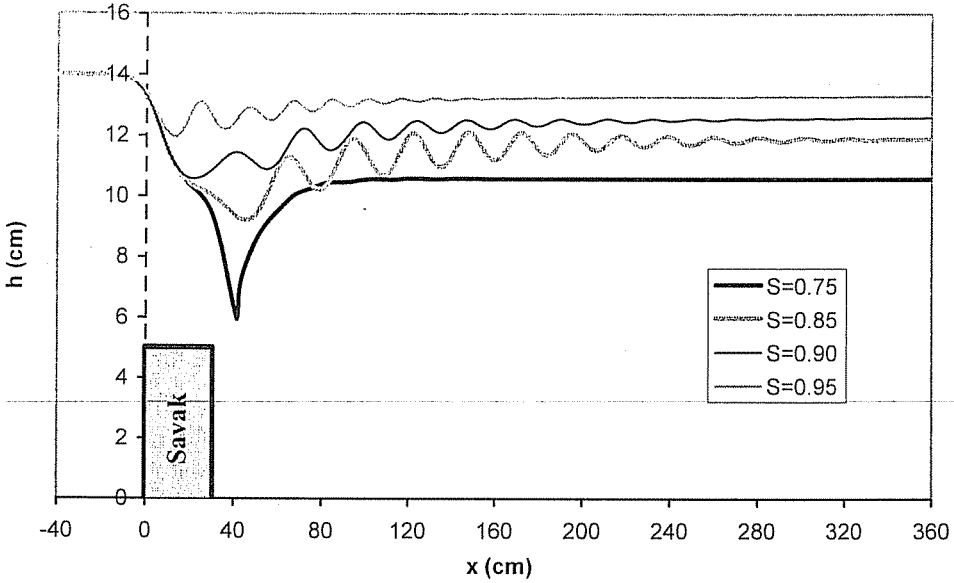
dolayısıyla savak üzerindeki hız dağılımının etkisi azaltılmaya, batıklık derecesinin etkisi ön plana çıkarılmaya çalışılmıştır.

Sayısal model oluşturulurken 20 cm yüksekliğinde ve 400 cm uzunluğunda bir hesaplama bölgesi kullanılmıştır. Dalgalanmaların uzun mesafeye kadar yayılacağı düşünüldüğünden çözüm bölgesi içerisinde savağın mansabında kalan kısım membasına göre çok daha uzun tutulmuştur (savak uzunluğunun 12 katı). Çözüm bölgesi genişlik ve yüksekliği maksimum 0.5 cm olan ağ aralıklarına bölünmüştür. Memba ve mansap sınırlarında başlangıçtaki akım derinlikleri bilindiğinden, bu noktadaki sınır şartları akım derinlikleri dikkate alınarak basınç olarak seçilmiştir. Kanal tabanındaki sınır şartı duvar olarak alınmış, üst sınır şartı program içerisinde “simetri” seçilerek serbest su yüzeyinde atmosfer basıncının etkili olması sağlanmıştır. Cidar yüzeylerinde kaymama sınır şartı kullanılmış ve türbülans modeli olarak k-ε seçilmiştir. Başlangıç şartı olarak savağın memba, mansap ve üst kısmında üç farklı akışkan hacmi tanımlanarak kısa sürede çözüme ulaşılması amaçlanmıştır. Hesaplamalara akım kararlı hale ulaşıncaya kadar devam edilmiştir.

Farklı batıklık dereceleri için savak arkasında meydana gelen hidrolik sıçramalara ait, sayısal çözümle elde edilen su yüzü profilleri Şekil 4’de, bir arada görülmektedir. $S=0.75$ batıklık derecesi için sıçrama sonrasında su yüzü profilinin yatay olduğu göze çarpmaktadır. Buradan savak arkasında klasik hidrolik sıçrama meydana geldiği anlaşılmaktadır. Su yüzü profili kararlıdır ve sıçrama mesafesi oldukça kısırdır. Su yüzü profilinin minimum noktası yaklaşık 6 cm yüksekliğine kadar düşmektedir. $S=0.80$ batıklık derecesi için su yüzü profili grafikte gösterilmemiştir. Bunun nedeni, çözüm sırasında su yüzü profilinin kararlı olmayıp periyodik aralıklarla dalgalı ve klasik hidrolik sıçramanın meydana gelmesidir. Bu durum çözüm sonra erdirilmediği sürece sonsuza kadar devam etmektedir. Su yüzü profilinde meydana gelen bu kararsızlık, $S=0.80$ batıklık derecesi civarında klasik hidrolik sıçramadan dalgalı hidrolik sıçramaya bir geçiş olduğunu gösterir ve dolayısıyla bu batıklık derecesi, sıçrama türünün değiştiği kritik bir nokta olarak kabul edilebilir. $S=0.85$ batıklık derecesinde, dalgalı hidrolik sıçrama oluşmuştur. Dalgalanmalar, gittikçe azalan genliğe ve dalga uzunluklarına sahip çok sayıda dalgadan oluşmaktadır. Dalgalanmanın eşik mansabında yayıldığı mesafe oldukça uzun olup 360 cm ye kadar ulaşmaktadır. $S=0.90$ batıklık derecesi için dalgalanmalara ait genlik, dalga boyları ve dalgalanmanın eşik mansabında yayıldığı mesafenin azaldığı göze çarpmaktadır. $S=0.95$ derinlik oranı için ise dalga genlikleri ile dalga boylarının iyice azaldığı ve dalgalanmanın yayılma mesafesinin 145 cm ye kadar gerilediği görülmektedir.

Sonuç olarak, dalgalı hidrolik sıçrama belirli bir batıklık derecesi aralığında meydana gelmektedir. Kuyruk suyu derinliğinin artmasıyla diğer bir bakış açısı ile batıklık derecesinin artışı ile kritik hidrolik sıçramadan dalgalı hidrolik sıçramaya geçilmektedir.. Dalgalı hidrolik sıçrama meydana gelmesi durumunda, mansap doğrultusunda gittikçe azalan genliğe ve dalga uzunluklarına sahip dalgalanmalar oluşmaktadır. Dalgalanmaların genlik, uzunluk gibi hidrolik özellikleri ve dalgalanmaların eşik mansabında yayılma mesafesi batıklık derecesinin artmasıyla azalmaktadır. Batıklık derecesinin daha da artmasıyla dalgalanmalar ortadan kalkmakta ve tam batmış akım durumu söz konusu olmaktadır. Ayrıca batıklık derecesinin artışı ile

dalgalanmaların başladığı nokta memba yönüne kaymakta ve dalgalanmalar savak üzerinde de görülmeye başlamaktadır.



Şekil 4. Farklı batıklık dereceleri için hidrolik sıçramalara ait su yüzü profilleri

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, hidrolik sıçramanın özel bir durumu olan dalgalı hidrolik sıçrama konusu ele alınmış ve düzenli bir akımın geniş başlıklı dikdörtgen savak üzerinden geçerken oluşturduğu dalgalanmalara ait su yüzü profilleri farklı batıklık dereceleri için sayısal olarak incelenmiştir. Aynı savak yükü ve farklı kuyruk suyu derinliklerindeki sayısal sonuçlardan elde edilen dalgalanmalara ait su yüzü profillerinin deney sonuçları ile oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Daha önceki sayısal çalışmaların aksine, akımın hidrostatik olmayan basınç dağılımı dikkate alan RANS denklemleri kullanılarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımlarının dalgalı hidrolik sıçramanın modellenmesinde etkili bir biçimde kullanılabileceği gösterilmiştir.

Savak arkasındaki dalgalanmaların belirli bir batıklık derecesi aralığında meydana geldiği sayısal olarak gözlenmiştir. Çalışmada, $S=0.80$ batıklık derecesinin kritik olduğu ve bu batıklık derecesi civarında, klasik hidrolik sıçramadan dalgalı hidrolik sıçramaya geçiş olduğu görülmüştür. Batıklık derecesi değeri arttıkça dalgalanmalara ait genlik, dalga uzunluğu gibi hidrolik özellikler azalmakta ve bir süre sonra dalgalanmalar ortadan kalkmaktadır. Ayrıca batıklık derecesinin artmasıyla dalgalı hidrolik sıçramanın mansapta yayılma mesafesi kısalmakta, buna karşın dalgalanmaların başlama noktası savak membasına doğru kaymakta ve savak üzerinde de dalgalanmalar göze çarpmaktadır.

Konu ile ilgili birçok belirsizlik bulunmasından dolayı, deneylerin yorumlanması ve sayısal modellerin değerlendirilebilmesi için dalgalı hidrolik sıçramaya ait diğer

parametrelerin de belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmada, sadece batıklık derecesinin etkisine bakılmıştır. Bununla birlikte; hız dağılımı, engel geometrisi gibi etkilerin dikkate alınması ve problemin 3-boyutlu olarak incelenmesi konunun daha iyi anlaşılabilmesine katkıda bulunacaktır.

5. KAYNAKLAR

1. Yüksel, Y., "Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik", Arıkan Yayınları, İstanbul, 2005.
2. Chow, V.T., "Open Channel Hydraulics", New York, USA: McGraw-Hill International, 1973.
3. Wols, B.A., "Undular Hydraulic Jumps", Master's Thesis, TUDelf, 2005.
4. Chanson, H., "Flow Characteristics of Undular Hydraulic Jumps. Comparison with Near-Critical Flows." Report CH45/95, Dept. of Civil Engineering, University of Queensland, Australia, 1995.
5. Montes, J.S., ve Chanson, H., "Characteristics of Undular Hydraulic Jumps: Experiments and Analysis." *Journal of Hyd. Engrg.*, 124(2): 192-205, 1998.
6. Ohtsu, I., Yasuda, Y. ve Gotoh, H. "Hydraulic Condition for Undular Jump Formations", *Journal of Hydraulic Research*, 39(2):203-209, 2001.
7. Ohtsu, I., Yasuda, Y. ve Gotoh, H. "Flow Conditions of Undular Hydraulic Jumps in Horizontal Rectangular Channels" *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(12): 948-955, 2003.
8. Hirt, C.W. ve Nichols, B.D., *Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries. J. Comput. Phys.*, 39, pp. 201-225, 1981.
9. FLOW SCIENCE Inc, "Flow-3D User's Manuals", Santa Fe, N.M., 2007.
10. Bukreev, V.I., "Undular Jump in Open Channel Flow Over a Sill" *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 42(4): 596-602, 2001.

DEĞİŞİK YÜKSEKLİKTEKİ PLAKALARIN SİLİNDİR ARKASINDAKİ AKIŞ YAPISINA ETKİSİ

Hüseyin AKILLI, Bengi GÖZMEN ve Beşir ŞAHİN
Ç.Ü., Makine Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Bu çalışmada, sığ suda silindir ölü akış bölgesinde oluşan daimi olmayan Karman girdap yapısı, silindir arkasına değişik uzunluk, yükseklik ve pozisyonlarda yerleştirilen plakalar yardımıyla kontrol altına alınmaya çalışılmıştır. Deneyler, su derinliğinin 25mm yüksekliğinde gerçekleştirilmiş olup deneylerde kullanılan silindirin çapı (G) 50mm'dir. Kalınlığı 4mm olan akrilik malzemeden imal edilmiş olan plakaların boyları (L) 25 ile 100mm arasında 25mm'lik artımlarla değiştirilmiştir. Yükseklikleri ise (h) 6.25mm, 12.5mm ve 18.75mm'dir. Silindir ve plaka arasındaki mesafe (G) ise 0 ile 100mm arasında 12.5mm artımlarla değiştirilmiştir. Deneyler su hızının 130mm/s (silindir çapına bağlı Reynolds sayısı, $Re=6300$) olduğu durum için Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği kullanılarak yapılmıştır. Ortalama hız vektörleri, girdap değerleri, akım çizgisi ve türbülans istatistikleri 300 anlık hız alanından elde edilmiştir. Plaka yüksekliği arttıkça akış yapısı daha etkin bir şekilde kontrol altına alınmaktadır. Ayrıca, plaka ile silindir arasındaki mesafenin girdap oluşumunda önemli bir parametre olduğu da belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Girdap kontrolü, plaka, sığ su, PIV

THE EFFECT OF VARIOUS-HEIGHT PLATES ON FLOW CHARACTERISTICS BEHIND A CYLINDER

ABSTRACT : In this study, the effect of splitter plates having various height and lengths on the control of vortex shedding behind a circular cylinder placed in shallow water layer was investigated experimentally using Particle Image Velocimetry Technique (PIV). The cylinder having outer diameter of 50mm was used for all experiments. The plate thickness was chosen constant as 4mm. On the other hand, the length of the plate was ranged from 25mm to 100mm with 25mm increments. The heights of plate were 6.25mm, 12.5mm and 18.75mm. The gap between the base of cylinder and the leading edge of the splitter plate was ranged from 0 to 100mm with 12.5mm increments. All experiments were carried out in shallow water having 25mm height. Particle Image Velocimetry (PIV) technique was used to measure instantaneous velocity vector field in the wake region at Reynolds number based on cylinder diameter $Re=6300$. Time-averaged velocity vector field, corresponding vorticity contours, streamline topology and turbulent statistics were obtained by 300 instantaneous images. Increasing splitter plate height controls the vortex shedding better. Moreover, the distance between the base of the cylinder and the leading edge of the splitter plate affects the control of vortex formation.

Key Words: Vortex control, splitter plate, shallow water, PIV.

1. GİRİŞ

Birçok bilim ve mühendislik uygulamalarında, sığ su akışına ve sığ su içerisine yerleştirilen cisimler etrafındaki akış yapısına sıkça rastlanmaktadır. Sığ su kavramı; akışın derinliğinin, akışın genişliğine oranla çok küçük olması durumunu ifade etmektedir. Adalar etrafındaki akışlar, dağlar etrafındaki akışlar, dere ve nehirler üzerindeki köprülerin ayakları etrafındaki akışlar, derinliğin az olduğu limanlarda gemiler etrafındaki akışlar sığ su uygulamalarına örnektir. Sığ suda akış tabanının, tabanda oluşan sürtünmelerin ve akışın serbest yüzeyinin akış üzerinde, derin akışlara nazaran çok daha fazla etkisi vardır. Değişik geometri cismiler arkasında oluşan üç boyutlu girdaplar ve akışın tabanı ile serbest yüzey arasında çok az mesafe bulunması, akışı çok karmaşık hale getirmektedir. Bu üç boyutlu girdaplar ve karmaşık akış tabanda erozyonlara, yığılmalara ve tabandaki parçacıkların ve kirliliğin taşınmasına neden olmaktadır. Sığ suların neden olduğu bütün bu problemleri önlemek ve olumsuz etkilerini azaltmak için akış yapısının çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Literatürde sığ sularda değişik geometri cismiler arkasındaki akışın yapısı ile ilgili çok fazla deneysel veya teorik çalışmaya rastlanılmamıştır. Chen ve Jirka yaptıkları çalışmada, akışa çapı suyun derinliğinden daha fazla olan bir silindir yerleştirerek bu silindir etrafındaki akış yapısını deneysel olarak incelemişlerdir (1). Çalışmalarında, silindirin hemen arkasındaki bir noktadan akışa boya ilave etmek suretiyle ölü akış bölgesinin yapısını görsel olarak incelemişlerdir. Chen ve Jirka deneysel çalışmaları sonucunda sığ su akışının derin su akışına nazaran farklı fiziksel davranışlar gösterdiğini tespit etmişler ve sığ suda silindir etrafındaki akışta ölü akış bölgesindeki akışın üç farklı davranış sergilediğini belirtmişlerdir (1). Bu davranışlar; kararlı ölü akış bölgesi, kararsız ölü akış bölgesi ve Karman caddesidir. Bu akış modellerini kritik kararlılık parametresi adı verilen $S=C_f D/h_w$ ile tanımlamışlardır. Burada C_f , taban sürtünme katsayısını, D , silindir çapını ve h_w su derinliğini göstermektedir. Kararlılık parametresinin 0.2'den küçük olduğu durumlarda Karman caddesi, 0.2 ile 0.5 aralığında kararsız ölü akış bölgesi ve 0.5'ten büyük olduğu durumlarda kararlı ölü akış bölgesi oluşmaktadır. Lloyd ve Stansby çok küçük eğim ile konik şekilli ada modelleri arkasındaki ölü akış bölgesinin karakteristiklerini belirlemek için deneysel ve nümerik çalışmalar yapmışlardır (2).

Literatürde, derin su içerisine yerleştirilen silindir arkasında oluşan daimi olmayan akış yapısını kontrol etmek için yapılan bir çok çalışmaya rastlanmasına rağmen sığ suda silindir arkasında oluşan girdap yapısının kontrolü için yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır (3-7). Akıllı ve Rockwell yapmış oldukları deneysel çalışmada parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniğini kullanarak sığ suda silindir arkasında oluşan daimi olmayan akış yapısını incelemişlerdir (8). Lazer ışık huzmesini deney düzeneğinin tabanına paralel olacak şekilde ayarlayarak, taban ile serbest akış yüzeyi arasındaki üç bölgede ölü akış bölgesinin yapısını anlık hızları, ölçmek suretiyle belirlemişlerdir. Ölçülen anlık hızlardan anlık ve ortalama akım çizgileri ve girdap değerlerini de hesaplayarak akış hakkında detaylı bilgi elde etmişlerdir. Ölçüm yapılan üç değişik bölgede akışın farklı karaktere sahip olduğunu özellikle tabana çok yakın bölgede yapılan ölçümlerde taban etkisinin çok fazla olduğunu ve Reynolds gerilmelerinin tabanda sönümlendiğini gözlemlemişlerdir. Bu bölge için elde etmiş oldukları sonuçlar literatürde mevcut olan teorik sonuçlarla uyum içerisinde çıkmıştır. Sonuç olarak, taban ve serbest yüzeyin etkisinden dolayı akışın derin sudan farklı olarak üç boyutlu yapıya

sahip olduğunu bulmuşlardır. Kahraman ve diğ. yapmış oldukları deneysel çalışmada sığ su içerisine yerleştirilen silindir arkasına küçük engeller koyarak akışı kontrol etmeye çalışmışlardır (9). Akıllı ve diğ. silindir arkasına değişik kalınlıkta plakalar yerleştirilerek yapmış oldukları çalışmada, plakaların $G/D=2$ 'ye kadar akış kontrolü sağladıklarını ve plaka kalınlığının akış kontrolünde bir etkisi olmadığını gözlemlemişlerdir (10).

Bu çalışmada, parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği kullanılarak sığ suda silindir arkasına çeşitli mesafelerde ve değişik yükseklik ve uzunlukta plakalar yerleştirilmek suretiyle, plakaların girdap oluşumuna ve akış yapısına etkisi deneysel olarak araştırılmıştır.

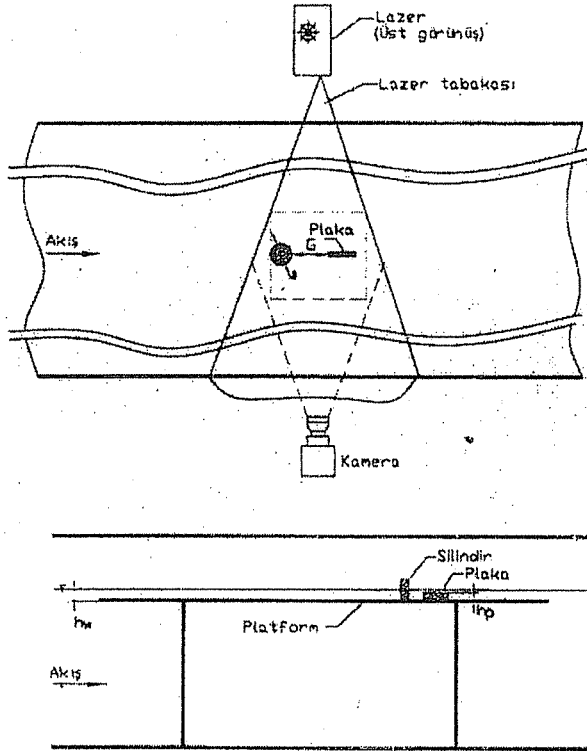
2. DENEY DÜZENENİ

Bu çalışmaya ait deneyler, Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında bulunan 8000mm uzunluğunda, 1000mm genişliğinde ve 750mm derinliğindeki akrilik su kanalında yapılmıştır. Bu kanal sistemi, iki adet depo (giriş ve çıkış hazneleri), akrilik kanal, giriş deposu ile kanalı birbirine bağlayan daralma bölgesi ve kanala arzu edilen akış hızını sağlamak üzere hız kontrol ünitesi yardımıyla devri kontrol edilebilen bir pompadan oluşmaktadır. Deneylerde akrilik malzemeden yapılmış 50mm çapında bir silindir kullanılmıştır. Plakalar yine akrilik malzemeden yapılmış olup kalınlıkları 4 mm ve boyları ise 25 ile 100mm arasında 25mm'lik artımlarla değişmektedir. Plaka yüksekliğinin akış üzerine etkisini incelemek amacıyla üç değişik plaka yüksekliğinde ($h_p=6.25, 12.5$ ve 18.75 mm) deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, plakalar silindir arkasına 0 ile 100mm mesafelerde 25mm'lik artımlarla yerleştirilerek silindir ve plaka arasındaki mesafenin akışa etkisi araştırılmıştır. Deneyler boyunca su derinliği (h_w) 25 mm'de sabit tutulmuş ve deneyler silindir çapına bağlı olarak Reynolds sayısı 6300 değerinde yapılmıştır.

Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Cihazı, Laser Doppler Anemometrisinde (LDA) olduğu gibi akış içerisinde akışkanla aynı hızda hareket eden mikron düzeyinde küçük parçacıkların hızlarını ölçmek suretiyle akış yapısı hakkında bilgi vermektedir. LDA'da laser ışınları tek bir noktaya yoğunlaşarak sadece bir noktadaki hızı ölçerken PIV ölçüm tekniği ile belirli bir düzlemsel alan lazer ışınlarıyla aydınlatılarak aynı anda birçok noktada hız ölçümleri yapılabilmektedir. Akışkanlar mekaniğinde son zamanlarda kullanılmaya başlanan PIV ölçme tekniği bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte daimi olmayan akışın yapısı hakkında çok detaylı bilgiler vermeye başlamıştır. Örneğin, bir otomobilin etrafında oluşan ayrılmış akış bölgesinin yapısını belirlemek için aynı anda birçok noktada anlık hızlar PIV ölçme tekniği ile rahatlıkla ölçülebilmektedir.

Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniği ile hız ölçümü yapabilmek için akış (su) içerisine $10\mu\text{m}$ çapında, yoğunluğu akışkanın yoğunluğuna yakın parlak gümüş kaplı metal veya plastik parçacıklar serpiştirilmiştir. Çift darbeli 120mJ gücündeki lazer ünitesi (Nd:YAG Lazer) tarafından üretilen lazer ışını optik aletler desteğiyle 1.5mm kalınlığında lazer hüzmesi haline getirilmiş ve lazer hüzmesiyle aydınlatılan akış alanında hareket eden parçacıkların iki adet fotoğrafı arka arkaya $\Delta t=1500\mu\text{s}$ aralıklarla 1 kbyte x 1 kbyte çözünürlüğe sahip dijital kamera ile çekilmiş ve bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Lazer kaynağı darbeli tip olduğu için lazer ile kameranın eş zamanlı olarak çalışması gerekmektedir. Yani, lazer kaynağından çıkan lazer hüzmesi ölçüm yapılan

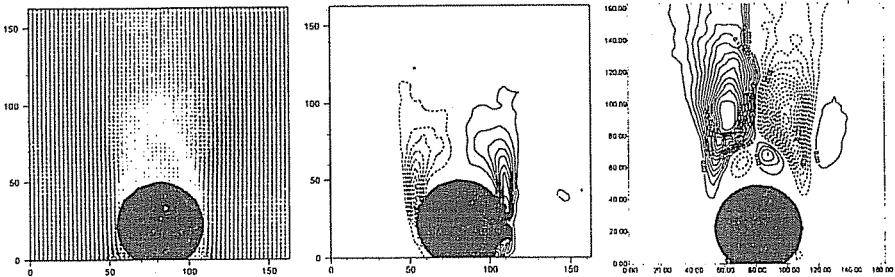
bölgeyi aydınlattığı anda dijital kamera aydınlatılmış olan bu bölgenin fotoğrafını çekmektedir. Lazer kaynağı ile dijital kamera arasındaki zamanlamayı ayarlayan alet 'şenkronizer' olarak adlandırılmakta ve bilgisayar tarafından kontrol edilmektedir. Bilgisayara aktarılan bu resimler 32x32 pixel ebatlarındaki ağ olarak adlandırılan küçük bölgelere ayrılmış ve her bir bölge içerisinde yaklaşık olarak 20-25 adet gümüş kaplı parçacık belirlenmiştir. 'Fast Fourier' dönüşümü kullanılarak her bir ağ bölgesindeki parçacıkların çekilen iki resim arasındaki yer değiştirmeleri bulunmuştur. Her iki resim arasındaki Δt zaman aralığı ve parçacıkların aldıkları mesafe bilindiğinden göz önüne alınan ağ bölgelerindeki hız vektörleri hesaplanmıştır. Vektör sayısını arttırmak ve Nyquist kriterini sağlamak için anlık hız vektörü hesaplamalarında ağ bölgeleri %50 kaydırılarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu yöntem ile akış alanında saniyede 15 adet hız alanı alınmış olup tek bir deney seti için toplam 300 adet anlık hız vektörleri hesaplanmıştır. Akış alanındaki anlık hız vektörlerinin belirlenmesi ile anlık ve ortalama girdap ve akım çizgisi gibi akışın yapısı hakkında bilgi veren parametreler ile Reynolds gerilmesi gibi türbülans istatistiklerinin hesaplanması mümkün olmuştur. Deneyler boyunca lazer kaynağı tabandan 12.5 mm yükseklikteki bir mesafeyi aydınlatarak, ölçümler yapılmıştır.



Şekil 1. Deney düzeneğinin görünüşü ve notasyon.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

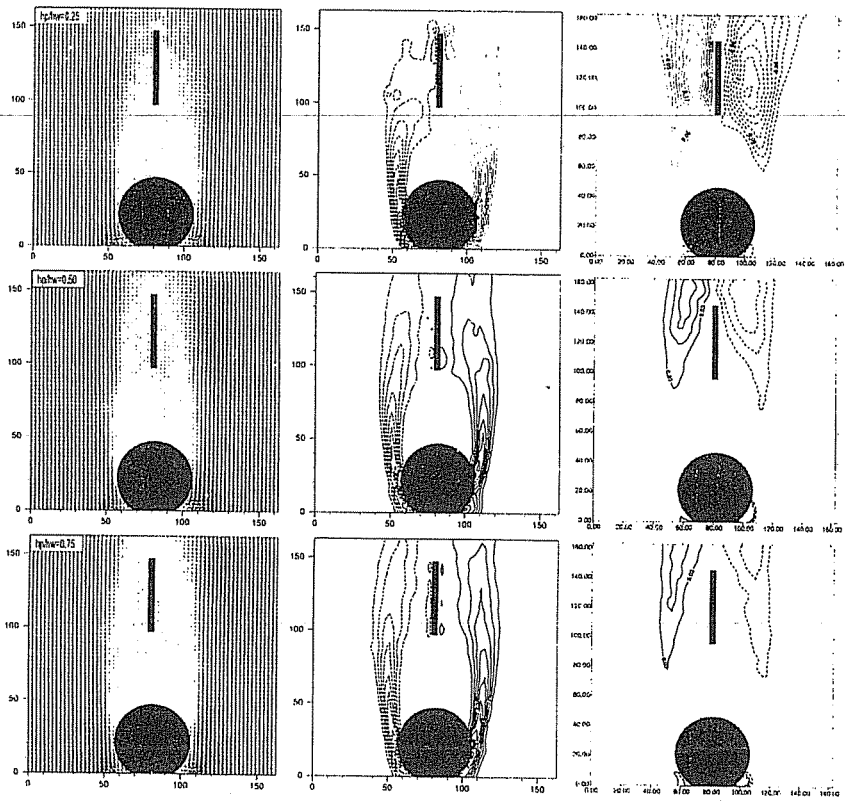
Şekil 2’de silindir arkasına plaka yerleştirilmediği durumda elde edilen ortalama akış karakteristikleri gösterilmektedir. Burada soldaki şekil ortalama hız vektörlerini, ortadaki şekil ortalama girdap konturlarını ve sağdaki şekil ise Reynolds gerilmesi konturlarını göstermektedir. Her ne kadar silindir arkasında oluşan zamana bağlı olmayan akış simetrik olmayan bir yapı arz ediyorsa da ortalama akış karakteristikleri simetrik olmaktadır. Akış yönü aşağıdan yukarıya doğrudur. Ortalama hız vektörleri, silindir arkasındaki ölü akış bölgesinin uzunluğunun yaklaşık olarak bir silindir çapı kadar olduğunu göstermektedir. Bu değer literatürdeki çalışmalarla uyum içerisindedir. Ölü akış bölgesi içerisinde serbest akışın tersi yönde hızlar oluşmakta ve bu bölge içerisinde birbirine ters yönde dönen iki adet alt akış bölgesi bulunmaktadır. Ayrıca, silindir arkasında plaka bulunmaması durumu için anlık hızların frekansına hızlı dönüşüm yöntemiyle (Fast Fourier) bakıldığında daimi olmayan girdap oluşumunun 0.53 Hz’de oluştuğu belirlenmiştir. Ortalama girdap konturlarının gösterildiği şekilde kesik çizgi ile belirtilen girdaplar negatif girdapları (saat yönünde hareket eden girdaplar) ve düz çizgi ile belirtilen girdaplar ise pozitif girdapları (saat yönünün tersi istikamette hareket eden girdaplar) temsil etmektedir. Silindirin ölü akış bölgesi ile serbest akış bölgesi arasında kalan dar geçiş bölgesi kayma tabakası olarak adlandırılmakta olup bu bölge içerisindeki ani hız değişiminden dolayı burada yüksek yoğunluğa sahip pozitif ve negatif girdaplar oluşmaktadır. Ayrıca silindirin her iki yönündeki girdapların silindir arkasında birbirlerine doğru yönlendiği açıkça görülmektedir. En son sütunda gösterilen Reynolds gerilmeleri serbest akış hızının karesi ile boyutsuzlaştırılmış olup akışın zamana bağımlılığının bir göstergesidir. Reynolds gerilmelerinin en büyük değeri yaklaşık olarak ölü akış bölgesinin bittiği noktaya denk gelmektedir. Ölü akış bölgesinin içerisinde silindire çok yakın bölgelere dışarıdan (potansiyel akış bölgesi) momentum taşınmadığı için bu bölgede hız değişimi çok fazla olmamakta buna bağlı olarak ta silindir yakın bölgesinde Reynolds gerilmeleri son derece küçük değerler almaktadır. Silindirden uzaklaştıkça Reynolds gerilmelerinin değeri ölü akış bölgesinin sona erdiği noktaya kadar artmakta bu noktadan sonra ise yavaşça azalmaktadır.



Şekil 2. Silindir arkasındaki akış karakteristikleri.

Şekil 3, 50 mm ($L/D=1$) boyundaki üç değişik yüksekliğe sahip (6.25, 12.5 ve 18.75 mm) plakaların silindirden 50 mm ($G/D=1$) uzaklığa yerleştirildiği durumda akış

karakteristiklerine etkisini göstermektedir. İlk satırda belirtilen plaka yüksekliğinin 6.25 mm ($h_p/h_w=0.25$) olduğu durumda elde edilen ortalama hız vektörleri ve girdap konturlarından silindir arkasındaki ölü akış bölgesinin plakasız duruma göre akış istikametinde uzamış olduğu görülmektedir. Maksimum girdap şiddeti ise plakasız duruma göre yaklaşık olarak değişmemektedir. Ayrıca pozitif ve negatif girdap konturları plaka bulunmadığı duruma benzer olarak birbirlerine doğru yönlendikleri de görülmektedir. Reynolds gerilmelerinin şiddetinde ise plakasız duruma oranla bir miktar azalma olmaktadır. Ayrıca maksimum Reynolds gerilmesinin oluştuğu nokta da silindirden uzaklaşmıştır. Yüksekliği 12.5 mm ($h_p/h_w=0.5$) olan plakanın akışa etkisine bakıldığında ise, ölü akış bölgesinin akış istikametinde biraz daha uzamış olduğu anlaşılmakta ve plaka tamamen ölü akış bölgesi içerisinde kalmaktadır. Dolayısıyla,



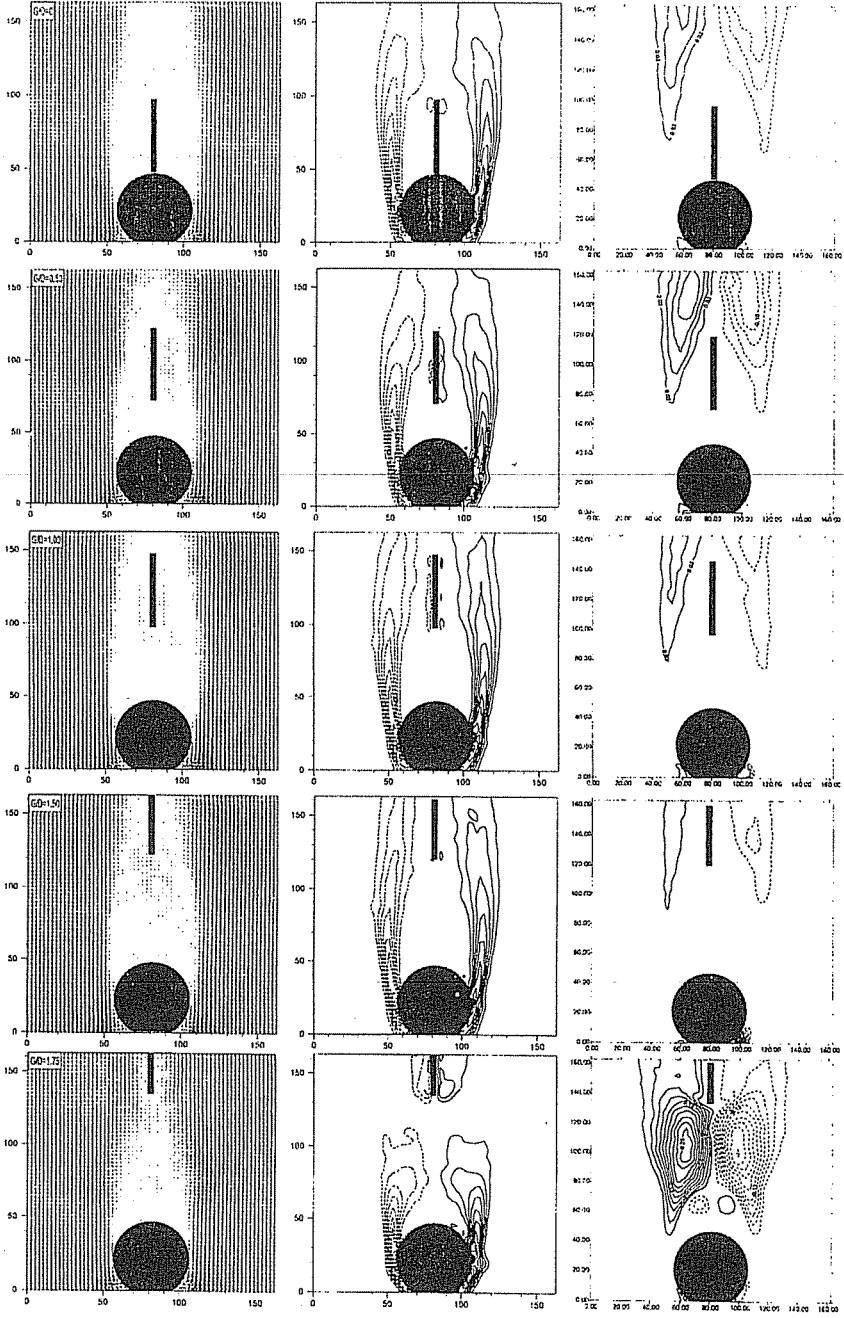
Şekil 3. Plaka yüksekliğinin silindir arkasındaki akış karakteristiklerine etkisi.

girdap konturları da akış doğrultusunda daha da uzamaktadır. Silindir arkasındaki ölü akış bölgesinin akış yönünde uzamasının nedeni plakaların silindir etrafında oluşan pozitif ve negatif girdapların birbirleri ile etkileşimlerini önlemelerinden kaynaklanmaktadır. Pozitif ve negatif girdapların birbirleri ile etkileşimlerinin azaltılması veya önlenmesi ölü akış bölgesinin içerisine potansiyel akış bölgesinden

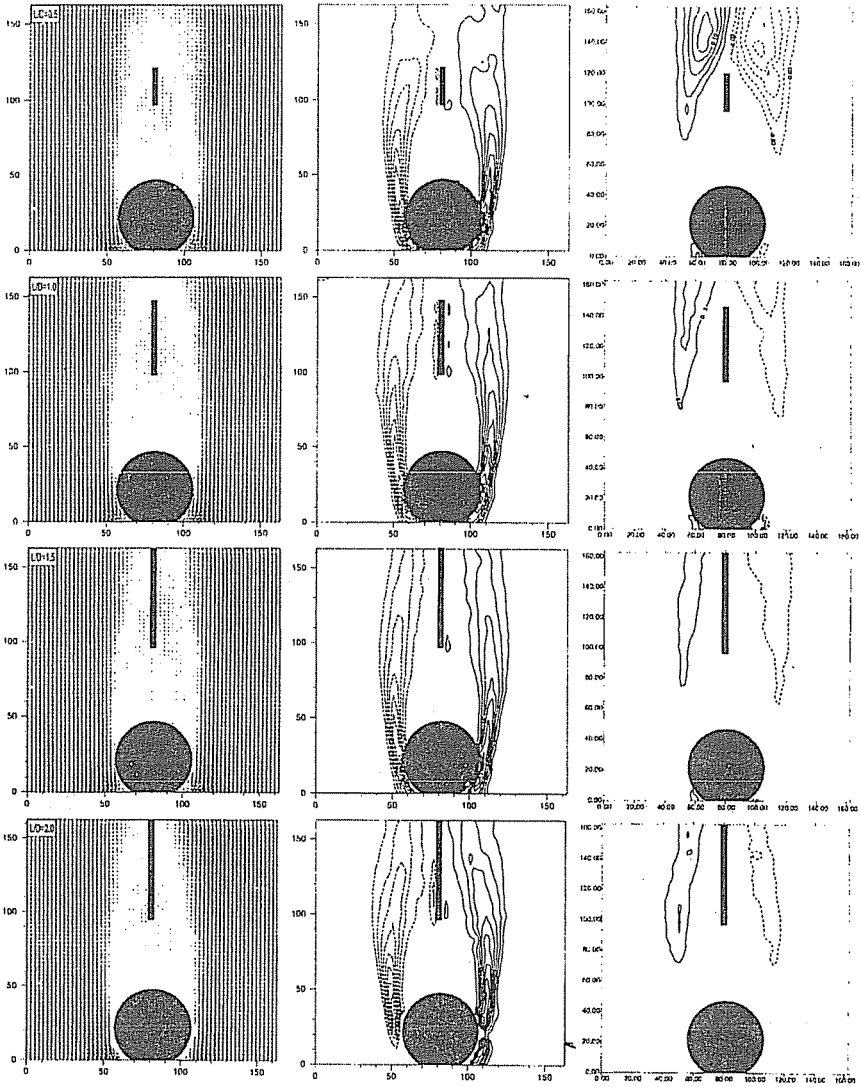
akışkan taşınımını da azaltmaktadır. Böylece, ölü akış bölgesindeki Reynolds gerilmeleri azalmaktadır. Plaka yüksekliğinin 12.5mm olması durumunda plakanın akış kontrolü üzerindeki etkisi plaka yüksekliğinin 6.25mm olması durumuna göre daha fazladır. Örneğin, Reynolds gerilmesinin maksimum değeri plaka yüksekliğinin 6.25mm olduğu durumda 0.2 iken, plaka yüksekliğinin 12.5mm olması durumunda bu değer 0.075 değerine düşmektedir. Ayrıca, maksimum Reynolds gerilmesi silindirden daha uzak mesafelerde oluşmuştur. Plaka yüksekliğinin 18.75mm ($h_p/h_w=0.75$) olduğu durumda ise ölü akış bölgesi serbest akış istikametinde daha da uzamış ve nispeten akışa dik yönde genişlemiştir. Benzer olarak girdap konturları da paralelliklerini koruyarak daha da uzamışlardır. Plaka ise tamamen ölü akış bölgesi içerisinde kalmıştır. Ayrıca, ölü akış bölgesinin içerisine momentum transferi gerçekleştirilemediğinden plaka ile silindir arasındaki bölgede herhangi bir girdap oluşumu meydana gelmemektedir. Ayrıca, maksimum Reynolds gerilmesi ise 0.05 mertebesine düşmüştür. Şekil 2 sadece plaka ile silindir arasındaki açıklık oranının $G/D=1$ olduğu durum için verilmiş olmasına rağmen benzer akış özellikleri açıklık oranının $G/D=1.75$ değerine kadar olan diğer açıklık oranları için de elde edilmiştir.

Şekil 4'te plaka yüksekliğinin 18.75mm ($h_p/h_w=0.75$) değerinde farklı açıklık oranlarında elde edilen akış karakteristikleri verilmiştir. Şekildeki ilk satır plakanın silindire yapışık olduğu durumu göstermektedir. Plaka tamamen ölü akış bölgesinin içerisinde kalmış olup, ortalama girdap konturları plaka bulunmadığı duruma göre akış istikametinde uzamıştır. Akış alanındaki maksimum Reynolds gerilmesi ise 0.075 mertebelerine düşmüştür. Benzer akış özellikleri diğer açıklık oranları için de geçerlidir. En son sütundaki Reynolds gerilmelerini gösteren şekillere genel olarak bakıldığında Reynolds gerilmelerindeki en fazla düşüşün açıklık oranının $G/D=1.5$ değerinde olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla plaka bu yükseklikteki plaka ile optimum kontrolün bu açıklık oranında meydana geldiği rahatlıkla söylenebilmektedir. Açıklık oranı $G/D=1.75$ 'e artırıldığında ise plakanın akışı kontrol etmediği akış alanında plaka bulunmadığı duruma benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Ölü akış bölgesi kısalmakta, girdap dağılımı akış yönünde uzamayıp birbirlerine yönlenip kısa mesafede şiddetini kaybetmekte ve son olarak akışta oluşan yüksek çalkantılar sonucu Reynolds gerilmeleri ani olarak artmakta ve plaka bulunmadığı duruma benzer konturlar elde edilmektedir. Ayrıca bu açıklık oranında plakaya çarpan akış plaka etrafında küçük şiddette girdaplar oluşmasına neden olmaktadır.

Şekil 5'de açıklık oranı $G/D=1$ ve plaka yüksekliği 18.75 mm olması durumunda plaka uzunluğunun akış yapısına etkisi gösterilmektedir. Şekil 5'te 25 mm, 50 mm, 75 mm ve 100 mm ($L/D=0.5, 1, 1.5$ ve 2) uzunluğundaki plakalara ait hız vektörleri, girdap konturları ve Reynolds gerilmeleri bulunmaktadır. İlk sütun plaka uzunluğunun $L/D=0.5$ değeri için akış yapısını göstermektedir. Plaka uzunluğunun bu değerinde dahi akış yapısının değiştiği görülmektedir. Ancak akış yapısının kontrolü diğer plaka uzunluklarına göre daha az etkilidir. Maksimum Reynolds gerilmesi 0.125 değerine düşmektedir. Plaka uzunluğu arttıkça akış kontrolünün de arttığı görülmektedir. Plaka uzunluğu $L/D=1$ 'e çıkartıldığında maksimum Reynolds gerilmesi 0.05 değerine düşmektedir. Plaka uzunluğunun daha fazla artırılması ile akış karakteristiklerinin çok fazla değişmediği Şekil 5'ten anlaşılmaktadır.



Şekil 4. Silindir ile plaka arasındaki mesafenin akış karakteristiklerine etkisi.



Şekil 5. Plaka uzunluğunun akış karakteristiklerine etkisi.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, değişik yüksekliklere ve uzunluklara sahip plakaların sıg suda silindir arkasına çeşitli mesafelerde tabana yerleştirilerek akış yapısına etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Plaka yüksekliği arttıkça plakaların akışı daha iyi kontrol ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, plaka ile silindir arasındaki mesafenin 1.75D (87.5mm) olması durumunda plakalar akış yapısını etkilememekte ve silindir arkasında plaka bulunmadığı duruma benzer akış karakteristikleri elde edilmektedir. Plakaların

silindirden 1.5D (75mm) uzağa konması durumunda optimum akış kontrolü sağlanmıştır. Plaka uzunluğunun 1D (50mm) değerine kadar plaka uzunluğunun artması ile akışın daha iyi kontrol edildiği belirlenmiştir. Bu değerden sonra plaka uzunluğunun artmasının akış karakteristikleri açısından fazla bir değişikliğe neden olmadığı da belirlenmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 105M267 nolu proje kapsamında ve Çukurova Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından MMF2004BAP12 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Chen,D. and Jirka,H., "Experimental study of plane turbulent wakes in a shallow water layer", *Fluid Dynamics Research*, 16, 11-41, (1995).
2. Lloyd,P.M. and Stansby,P.K., "Shallow-water flow around model conical island of small side slope", *I: Surface-piercing-Journal of Hydraulic-Engineering*, 123, 1057-1067, (1997).
3. Ozono,S., "Vortex suppression of the cylinder wake by deflectors", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol.91, pp.91-99, 2003.
4. Hangan,H. and Kim,J., "Aerodynamic slot-control for 2D square prisms", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol.91, pp.1847-1857, 2003.
5. Lee,S.J., Lee,S.I. and Park,C.W., "Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of a small control rod", *Fluid Dynamics Research*, vol. 34, pp.233-250, 2004.
6. Hwang,J.Y., Yang,K.S. and Sun,S.H., "Reduction of flow-induced forces on circular cylinder using a detached splitter plate", *Physics of Fluids*, Vol.15, No.8, pp.2433-2436, 2003.
7. Schumm,M., Berger,E. and Monkewitz,P.A., "Self-excited oscillations in the wake of two dimensional bluff bodies and their control", *Journal of Fluid Mechanics*, Vol.271, pp.17-32, 1994.
8. Akilli,H. and Rockwell,D., "Vortex formation from a cylinder in shallow water", *Physics of Fluids*, Vol. 14, pp. 2957-2967, 2002.
9. Kahraman,A., Şahin,B. and Rockwell,D., "Control of vortex formation from a vertical cylinder in shallow water: Effect of localized roughness elements", *Experiments in Fluids*, 33, 54-65, (2002).
10. Akilli,H., Şahin,B. and Tümen,N.F., "Suppression of vortex shedding of circular cylinder in shallow water by a splitter plate", *Flow measurement and Instrumentation*, Vol.16, pp.211-219, 2005.

**DEĞİŞKEN KESİTLİ ELASTİK ÇUBUKLARIN DİNAMİK YÜKLER
ALTINDAKİ DAVRANIŞININ LAPLACE TRANSFORM
METODU İLE ANALİZİ**

Kerim Can ÇELEBİ
TEMSA A.Ş., Adana/Türkiye

Naki TÜTÜNCÜ ve İbrahim KELEŞ
Ç.Ü., Makine Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Sürekli sistem olarak modellenen eksenel yüklenmiş değişken kesitli bir çubuğun elastik davranış problemi analiz edilmiştir. Malzeme özellikleri olarak çelik özellikleri seçilmiştir. Analizde Laplace dönüşüm metodu kullanılmış ve zaman uzayındaki çözüm nümerik Laplace ters dönüşüm yöntemi kullanılarak bulunmuştur. Sonuçlar, her bir alan tipi ve yükleme tipi için oluşturulan grafiklerle sunulmuştur.

**ANALYSIS OF BEHAVIOUR OF AN ELASTIC BAR WITH VARYING
CROSS-SECTION UNDER DYNAMIC LOADS WITH
LAPLACE TRANSFORM METHOD**

ABSTRACT : The axial vibration problem formulation and solution of a bar of varying cross-section modeled as a continuous system were analyzed. The material properties are those of structural steel. Solutions are obtained using Laplace transform method. The solution in the time domain was obtained by an appropriate numerical inverse Laplace transformation method. The results are presented in the form of graphs for each area and load type.

1. GİRİŞ

Dinamik yük altındaki malzemelerin davranışlarının analizi, makine mühendisliği alanında çok önemli bir yer tutmaktadır. Makine parçalarının dinamik yüklerle mukavemeti ve yapıların deprem gibi dinamik yükleri taşıyabilme kapasitesi ancak bu tür analizler sonucu tayin edilebilir.

Geometri ve malzeme özelliği karmaşık bir hal aldığında sayısal metotlara müracaat gerekmektedir. Yarı analitik bir çalışma örneği, dinamik yükler altında üniform kesitli bir elastik çubuğun davranışını inceleyen yüksek lisans çalışmasında görülebilir [1]. Beskos ve Narayan, kirişlerden oluşmuş yapıların fleksural zorlanmış titreşimlerinde dinamik rijitlik etki katsayılarının önemini ve kullanımını araştırmışlardır [2]. Çözüm metodu olarak düz Fourier dönüşümü ve Cooley-Tukey algoritmasına dayanan bir nümerik ters dönüşüm kullanmışlardır. Dubner ve Abate'nin metodunun devamı olan Laplace transformun nümerik olarak ters dönüşümü için tam bir metot Durbin tarafından oluşturulmuştur [3]. Abrate, bazı üniform olmayan çubuk ve kirişlere ait hareket denklemlerinin üniform bir kiriş ve çubuğun hareket denklemlerine dönüştürülebileceğini göstermiştir [4]. Li ve arkadaşları, dağılmış kütle ve rijitlikle değişen çubukların aksenal serbest titreşimlerinin diferansiyel denklemlerinin doğruluğunu ortaya koymuşlardır [5]. Kumar ve Sujith, kesiti üniform olmayan çubukların aksenal titreşimi için uygun dönüşümler kullanarak tam serbest titreşim için analitik çözümler geliştirmişlerdir [6]. Bu çalışmada, değişken geometriye sahip bir çubuğa, uç noktadan uygulanan Adım tipi ve Yarım sinüs dalgası şeklindeki dinamik yükler uygulanarak analiz yapılmıştır ve analizde Laplace Transform yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen çözümlerden zaman uzayındaki çözüme geçmek için Durbin ters dönüşüm yöntemi kullanılmıştır. Kesit alanının şeklini belirleyen parametrelerle (a,b) göre sonuçlar grafikler halinde verilmiştir.

2. LAPLACE TRANSFORM METODU İLE DİNAMİK ANALİZ

Laplace transformunu kullanarak zaman değişkeninden kurtulup, olayı idare eden kısmi diferansiyel denklemi adi diferansiyel denkleme indirgeyerek çözümü kolaylaştırabiliriz. Bu yaklaşımda kritik adım ters dönüşüm kullanarak zaman uzayında gerçek çözüme ulaşabilmektir. Ters dönüşüm için de hızlı ve doğru sonuç verdiği literatürde kanıtlanmış olan bir metot kullanılacaktır.

Herhangi bir $x(t)$ fonksiyonunun $X(s) = L\{x(t)\}$ şeklinde gösterilen Laplace transformu

$$X(s) = L\{x(t)\} = \int_0^{\infty} e^{-st} x(t) dt$$

olarak tarif edilir. Burada "s", genel olarak, kompleks bir sayıdır. Transformasyon, neticede "s" cinsinden bir sonuç üretecektir.

"L" uzunluğunda $x=0$ ucunda ankastre olan çubuk başlangıçta hareketsizdir. $P(t)$ kuvveti serbest uçta aksenal yönde uygulanmaktadır. Aksenal dinamik davranışı idare eden diferansiyel denklem

$$(\partial/\partial x)[E \cdot A(x) \cdot \partial u/\partial x] = \rho \cdot A(x) \cdot \partial^2 u/\partial t^2 \quad (1)$$

şeklinde verilir. Sabit elastik modül E ve $Y(x,t)$ şeklinde gösterilen aksel deplasman cinsinden denklem (1)

$$\frac{\partial^2 Y(x,t)}{\partial x^2} + \frac{1}{A(x)} \frac{\partial A(x)}{\partial x} \frac{\partial Y(x,t)}{\partial x} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 Y(x,t)}{\partial t^2} \quad 0 < x < L, t > 0 \quad (2)$$

olarak yazılabilir. Burada $c^2 = E/\rho$ ve değişken alanlar

$A(x) = A_0(1+ax)^2$, $A(x) = A_0 \sin^2[ax+b]$, $A(x) = A_0 e^{-ax}$ fonksiyonları ile gösterilecektir. Yükleme tipleri ;Adım tipi yükleme için: $P(t)=P_0$, yarım sinüs dalgası şeklinde yükleme için: $P(t)=P_0 \sin[zt]$ olarak alınacaktır.

3.1. $A(x) = A_0(1+ax)^2$ İçin Deplasman İfadesi

Olayı idare eden diferansiyel denklem, sınır şartları ile birlikte

$$\frac{\partial^2 Y(x,t)}{\partial x^2} + \frac{1}{A(x)} \frac{\partial A(x)}{\partial x} \frac{\partial Y(x,t)}{\partial x} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 Y(x,t)}{\partial t^2}$$

$$Y(x,0) = 0, \frac{\partial Y(x,0)}{\partial t} = 0, Y(0,t) = 0, \frac{\partial Y(L,t)}{\partial x} = \frac{F_0}{E}$$

şeklinde olup, burada E Young modülü ve $F_0 = P(t)/A(x)$ dir.

Laplace transformu alındığında - $y(x,s) = L\{Y(x,t)\}$ -

$$y''(x,s) + \frac{2a}{(1+ax)} y'(x,s) - \frac{s^2}{c^2} y(x,s) = 0 \quad (3-a)$$

$$y(0,s) = 0, \frac{\partial y(L,s)}{\partial x} = L\left\{\frac{P(t)}{EA(x)}\right\} = \frac{1}{EA(x)} L\{P(t)\} \quad (3-b)$$

olur. Diferansiyel denklem (3-a) ,

$$y(x,s) = \frac{w(x,s)}{(1+ax)} \quad (4)$$

değişken dönüşümü ile daha basit bir forma dönüştürülebilir:

$$w''(x,s) - \frac{s^2}{c^2} w(x,s) = 0 \quad (5)$$

Bu denklemin çözümü

$$w(x, s) = c_1 \text{Sink} x + c_2 \text{Cosk} x \quad (6)$$

şeklinde olup

$$k^2 = -s^2 / c^2 \quad (7)$$

tanımını ile deplasman ifadesi,

$$y(x, s) = \frac{1}{(1 + ax)} (c_1 \text{Sink} x + c_2 \text{Cosk} x) \quad (8)$$

olur. Ankastre uçtaki sıfır deplasman şartı ile $c_2 = 0$ olur ve kalan kısım

$$y(x, s) = c_1 \frac{\text{Sink} x}{(1 + ax)} \quad (9)$$

şeklinde dir. Diğer uçtaki sınır şartının uygulanması ile

$$\frac{\partial y(L, s)}{\partial x} = c_1 \left[\frac{k(1 + aL) \text{Cos}[kL] - a \text{Sin}[kL]}{(1 + aL)^2} \right] = \frac{1}{EA(x)} L\{P(t)\} \quad (10)$$

elde edilir. Değişik yük fonksiyonları için “ c_1 ” bulunur ve (9) numaralı ifade de yerine konularak Laplace uzayında tamamıyla tespit edilen deplasman, ters dönüşüm ile gerçek zaman uzayında bulunmuş olur.

3.2. $A(x) = A_0 \text{Sin}^2[ax + b]$ İçin Deplasman İfadesi

Diferansiyel denklem ve sınır şartları Laplace uzayında

$$y''(x, s) + 2a \text{Cot}[ax + b] y'(x, s) - \frac{s^2}{c^2} y(x, s) = 0 \quad (11-a)$$

$$y(0, s) = 0, \quad \frac{\partial y(L, s)}{\partial x} = L \left\{ \frac{P(t)}{EA(x)} \right\} = \frac{1}{EA(x)} L\{P(t)\} \quad (11-b)$$

formunu alır.

$$y(x, s) = \frac{w(x, s)}{\text{Sin}[ax + b]} \quad (12)$$

değişken dönüşümü ile (11-a) denklemini

$$w''(x, s) + \left(a^2 - \frac{s^2}{c^2}\right) w(x, s) = 0 \quad (13)$$

olur ve çözümü

$$w''(x, s) = c_1 \text{Sink } x + c_2 \text{Cosk } x \quad (14)$$

şeklindedir. Burada,

$$k = a^2 - \frac{s^2}{c^2} \quad (15)$$

olarak tanımlanmıştır. Denklem (12) de yerine konularak

$$y(x, s) = \frac{1}{\text{Sin}[ax + b]} (c_1 \text{Sink } x + c_2 \text{Cosk } x) \quad (16)$$

elde edilir. İlk sınır şartından $c_2 = 0$ elde edilir ve

$$y(x, s) = c_1 \frac{\text{Sink } x}{\text{Sin}[ax + b]} \quad (17)$$

ifadesine ikinci sınır şartı uygulandığında

$$\frac{\partial y(L, s)}{\partial x} = c_1 \left[\frac{k \text{Cos}[kL] \text{Sin}[aL + b] - a \text{Sin}[kL] \text{Cos}[aL + b]}{\text{Sin}^2[aL + b]} \right] = \frac{1}{EA(x)} L\{P(t)\} \quad (18)$$

Değişik yük fonksiyonları için “ c_1 ” bulunur ve (17) numaralı ifade de yerine konularak Laplace uzayında tamamıyla tespit edilen deplasman, ters dönüşüm ile gerçek zaman uzayında bulunmuş olur.

3.3. $A(x) = A_0 e^{-a\frac{x}{L}}$ İçin Deplasman İfadesi

Diferansiyel denklem ve sınır şartları Laplace uzayında

$$y''(x, s) + \frac{a}{L} y'(x, s) - \frac{s^2}{c^2} y(x, s) = 0 \quad (19-a)$$

$$y(0, s) = 0, \quad \frac{\partial y(L, s)}{\partial x} = L \left\{ \frac{P(t)}{E A(x)} \right\} = \frac{1}{E A(x)} L\{P(t)\} \quad (19-b)$$

formunu alır. Burada açıkça görülen odur ki

$$\frac{a^2}{L^2} + \left(\frac{2s}{c}\right)^2 \leq 0 \quad (20)$$

için sadece trivial (sıfır) çözüm vardır. O halde anlamlı bir çözüm için

$$\frac{a^2}{L^2} + \left(\frac{2s}{c}\right)^2 > 0 \quad (21)$$

olmalıdır be bu durumda genel çözüm

$$y(x, s) = c_1 e^{\lambda x} + c_2 e^{-\lambda x} \quad (22)$$

şeklindeir. Burada $\lambda_{1,2} = \frac{a \pm L\sqrt{\Delta}}{2L}$ ve $\Delta = \left(-\frac{a}{L}\right)^2 + \left(\frac{2s}{c}\right)^2$ olarak tarif edilmiştir.

Birinci sınır şartından $c_2 = -c_1$ elde edilir ve çözüm

$$y(x, s) = c_1 e^{\frac{a}{2L}x} \left[e^{\frac{\sqrt{\Delta}}{2}x} - e^{-\frac{\sqrt{\Delta}}{2}x} \right] \quad (23)$$

olur. Hiperbolik fonksiyonlar cinsinden yazılırsa

$$y(x, s) = c_3 e^{\frac{a}{2L}x} \text{Sinh}\left[\frac{\sqrt{\Delta}}{2}x\right] \quad (24)$$

olur. İkinci sınır şartından ise

$$\frac{\partial y(L, s)}{\partial x} = c_3 \frac{e^{a/2}}{2L} \left[L\sqrt{\Delta} \text{Cosh}\left[\frac{\sqrt{\Delta}}{2}L\right] + a \text{Sinh}\left[\frac{\sqrt{\Delta}}{2}L\right] \right] = \frac{1}{E A(x)} L\{P(t)\} \quad (25)$$

Değişik yük fonksiyonları için “ c_3 ” bulunur ve (24) numaralı ifade de yerine konularak Laplace uzayında tamamıyla tespit edilen deplasman, ters dönüşüm ile gerçek zaman uzayında bulunmuş olur.

4. NÜMERİK TERS LAPLACE DÖNÜŞÜM METODU

Fiziksel problemlerin analizinde, Laplace uzayında elde edilen çözümlerden zaman uzayındaki çözümlere geçmek için iyi bir nümerik ters Laplace dönüşüm yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır. Çeşitli Laplace ters dönüşüm metodları bu amaç için geliştirilmiştir. Üç önemli metod aşağıda verilmiştir:

Maximum Degree of Precision (MDOP) Yöntemi

Dubner ve Abate Ters Dönüşüm Yöntemi

Durbin'in Ters Dönüşüm Yöntemi

Bu yöntemler içerisinde, modifiye edilmiş Durbin'in ters dönüşüm yöntemi ile elde edilen sonuçların kesin değerlerle örtüştüğü gözükmemektedir [8]. Hazırlanan bilgisayar programlarında, Durbin'in modifiye edilmiş ters dönüşüm yöntemi kullanılmıştır.

Durbin'in Ters Dönüşüm Yöntemi:

Bu yöntem, sonlu Fourier-Kosinüs dönüşümüne dayalı Dubner ve Abate metodunun geliştirilmiş halidir. Durbin'in nümerik ters Laplace dönüşüm yöntemi aşağıda özetlenmiştir [7].

$$f(t_j) \cong \frac{2e^{aj\Delta t}}{T} \left[-\frac{1}{2} \operatorname{Re} \left\{ \bar{F}(a) \right\} + \operatorname{Re} \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} (A(k) + iB(k)) e^{(i\frac{2\pi}{N})jk} \right\} \right] \quad (26)$$

$$A(k) = \sum_{l=0}^{L-1} \operatorname{Re} \left\{ \bar{F}(a + i(k + lN)) \frac{2\pi}{T} \right\}$$

$$B(k) = \sum_{l=0}^{L-1} \operatorname{Im} \left\{ \bar{F}(a + i(k + lN)) \frac{2\pi}{T} \right\}$$

Burada "i" kompleks sayı olup, $s_k = a + i\frac{2\pi k}{T}$ k nıncı Laplace dönüşüm parametresini göstermektedir. T, çözüm aralığı olmak üzere, N adet eşit zaman aralığı, $t_j = j\Delta t = jT/N$, ($j = 0, 1, 2, \dots, N-1$) için f(t) hesaplanmaktadır. İlgili kaynakta, $5 \leq aT \leq 10$ aralığı için iyi sonuçlar elde edildiği belirtilmektedir. Bu çalışmada çözülen sayısal örneklerde $aT = 6$ seçilmiştir.. (26) ifadesi [12] de önerildiği şekilde aşağıdaki gibi modifiye edilmektedir.

$$f(t_j) = \frac{2e^{aj\Delta t}}{T} \left[-\frac{1}{2} \operatorname{Re} \left\{ \bar{F}(a) \right\} + \operatorname{Re} \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} [(A(k) + iB(k)) L_k] e^{(i\frac{2\pi}{N})jk} \right\} \right] \quad (27)$$

Laplace uzayında hesaplanan ayrık değerlerin herbir terimi Lanczos (L_k) faktörü ile çarpılarak modifiye edilmektedir. Bu faktör,

$$L_k \Rightarrow \begin{cases} L_0 = 0 & \text{for } k = 0 \\ L_k = \frac{\text{Sin} \frac{k \pi}{N}}{\frac{k \pi}{N}} & \text{for } k > 0 \end{cases} \quad (28)$$

alınmaktadır.

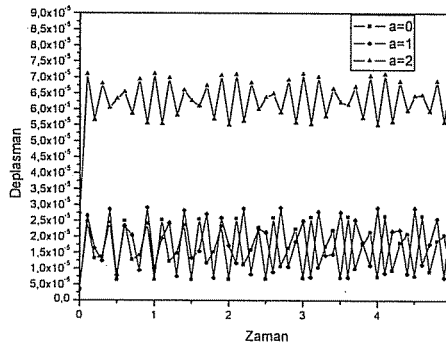
5. NUMERİK UYGULAMALAR

Bu bölümde, verilen malzeme özellikleri için yükün uygulandığı serbest uçtaki deplasmanlar, Laplace transform metodu kullanılarak hesaplanmıştır.

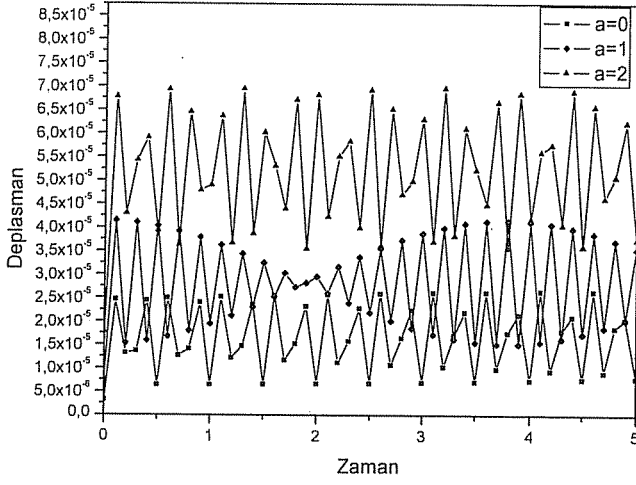
Bu çalışmada iki tip geometrik özellik kullanıldı: 1) $L=1m$, $A=0.03m^2$, $a=1$, $b=1$, 2) $L=1m$, $A=0.03m^2$, $a=2$, $b=1$ (a ve b parametreleri kesit alanının şeklini belirler). Malzeme özellikleri ise çelik çubuk için $E=20.3.10^5 N/m^2$, $\rho=7860 kg/m^3$ seçilmiştir. Bütün uygulamalarda dinamik yükün şiddeti $P_0=1N$ olacak şekilde alındı. Ayrıca $a=0$ alındığında çubuk üniform kesitli elastik bir çubuğu oluşturmaktadır.

Elde edilen serbest uçtaki deplasman sonuçlarını veren Laplace Ters Dönüşüm ifadeleri / Laplace ifadeleri kullanıldı. Bu ifadeler de Yarım sinus dalgası tipi yükleme için de z sabiti $\pi/25.6$ 'ya eşittir. Şekiller (1-6) kesit alan şeklini belirleyen parametrelere göre çeşitli değerleri için çubuğun uç noktasının uygulanan dinamik yükler altındaki deplasmanları göstermektedir.

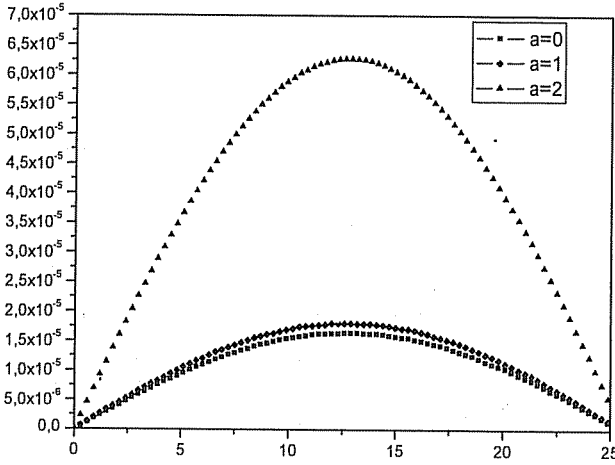
Adım tipi ve yarım sinus dalgası şeklindeki yükleme tipi için sinüzoidal ve üstel değişken kesite sahip çubuklarda kesit alan şeklini belirleyen parametrelerin artmasıyla deplasman değerleri artmaktadır (Şekil 1-4).



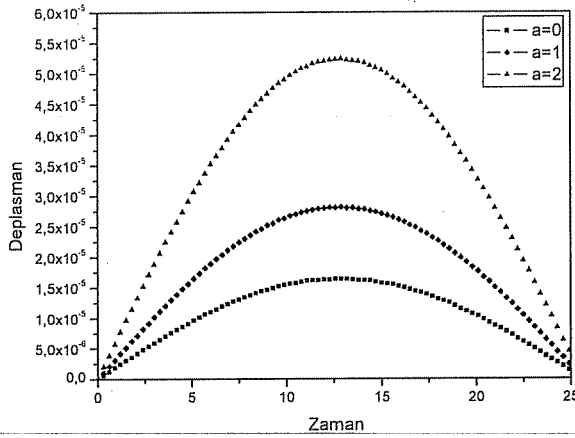
Şekil 1. Sinüzoidal değişken kesite sahip çubuğun Adım tip yükleme altındaki deplasmanı



Şekil 2. Üstel değişken kesite sahip çubuğun Adım tip yükleme altındaki deplasmanı

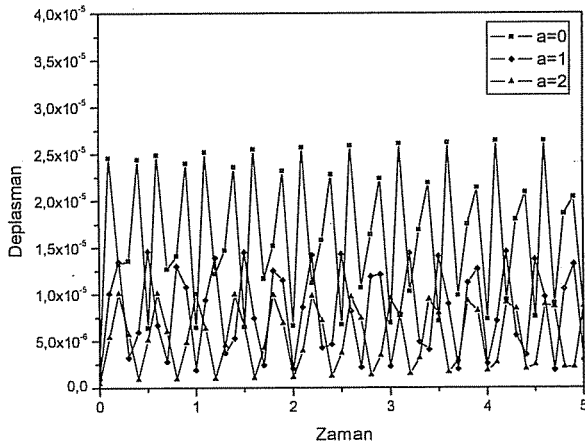


Şekil 3. Sinüzoidal değişken kesite sahip çubuğun Yarım sinüs dalgası tip yükleme altındaki deplasmanı

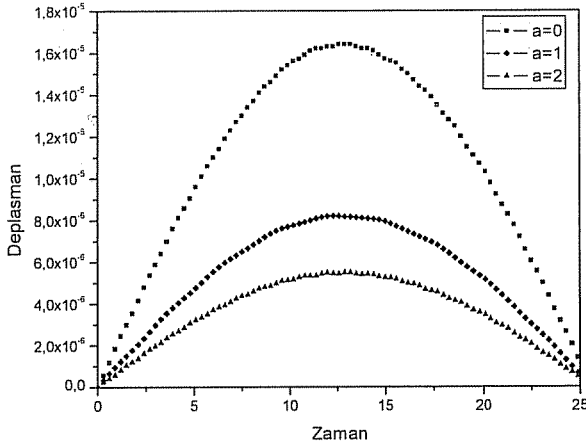


Şekil 4. Üstel değişken kesite sahip çubuğun Yarım sinüs dalgası tip yüklemeye altındaki deplasmanı

Polinom değişken kesite sahip çubukta ise tam ters bir davranış meydana gelmiştir (Şekil 5-6). Kesit alan şeklini belirleyen parametrelerinin artmasıyla deplasman miktarı azalmaktadır.



Şekil 5. Polinom değişken kesite sahip çubuğun Adım tip yüklemeye altındaki deplasmanı



Şekil 6. Polinom değişken kesite sahip çubuğun Yarım sinüs dalgası tip yükleme altındaki deplasmanı

6. SONUÇLAR

Laplace transform yöntemini kullanarak değişken kesite ait bir çubuğun uç noktasının uygulanan dinamik yükler altında analizi yapılarak uç noktasının deplasmanı hesaplanmıştır. Malzeme olarak değişken kesite sahip çelik seçilmiştir. Çözümlerde zaman uzayındaki çözüme geçmek için Durbin'in ters dönüşüm yöntemi kullanılmıştır. Kesit parametrelerinin artırılmasıyla Adım ve yarı sinüs dalgası şeklindeki yükleme tipinde üstel ve sinüzoidal kesitler için benzer, polinom kesitlerde ise tam ters bir davranış sergilediği gözlenmiştir.

7. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, MMF2004BAP2 numaralı Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi tarafından desteklenmiştir.

8. KAYNAKLAR

1. Çelebi, K., "Analysis of On-Dimensional Response of an Elastic Body Under Dynamic Loads", Cukurova University Institute of Natural and Applied Science, MSc Thesis, 2004.

2. Beskos, D.E. and Narayanan, G.V., "Dynamic Response of Frameworks by Numerical Laplace Transform", Computer Methods In Applied Mechanics and Engineering, 37: 289-307, 1983.

3. Durbin, F., "Numerical Inversion of Laplace Transforms: An Efficient Improvement to Dubner and Abate's Method", Commissariat a l'Energie Atomique Centre U-Service Electronique, 17: 371-376. 1974.

4. Abrate, S., "Vibration of Non-Uniform Rods and Beams", *Journal of Sound and Vibration*, 185(4): 703-716, 1995.
5. Li, Q.S., Li, G.Q. and Liu, D.K., "Exact Solutions for Longitudinal Vibration of Rods Coupled by Translational Springs", *International Journal of Mechanical Sciences*, 42: 1135-1152, 1999.
6. Kumar, B.M. and Sujith, R.I., "Exact Solutions for the Longitudinal Vibration of Non-Uniform Rods", *Journal of Sound and Vibration*, 207(5), 721-729, 1997.
7. Narayanan, G.V., "Use of Dynamic Influence Coefficients in Forced Vibration Problems with the Aid of Fast Fourier Transform", *Computers and Structures*, 9, 145-150, 1977.
8. Temel, B., *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana, 219 s., 1995.*

ÜNİFORM VE ÜNİFORM OLMAYAN ÇUBUKLARIN MOD-SÜPERPOZİSYON METODUYLA SERBEST TİTREŞİM VE DİNAMİK ANALİZİ

Kerim Can ÇELEBİ
TEMSA A.Ş., Adana/Türkiye

Naki TÜTÜNCÜ ve İbrahim KELEŞ
Ç.Ü., Makine Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : *Bu çalışmada eksenel yüklenmiş değişken kesitli çelik bir çubuğun çeşitli dinamik yükler altındaki serbest titreşim ve dinamik analizi incelenmiştir. Serbest titreşim için frekans denklemleri kapalı formda elde edilmiştir. Dinamik analizde ise lineer artan ve lineer azalan yükleme tipi kullanılarak Mod-süperpozisyon metodu ile çözümler sağlanmıştır. Malzeme özellikleri olarak değişken kesitli çelik çubuk özellikleri kabul edilmiştir. Sonuçlar, her bir alan tipi ve yükleme tipi için oluşturulan grafiklerle sunulmuştur..*

FREE VIBRATION AND DYNAMIC ANALYSIS OF UNIFORM AND NON-UNIFORM RODS USING MODE-SUPERPOSITION METHOD

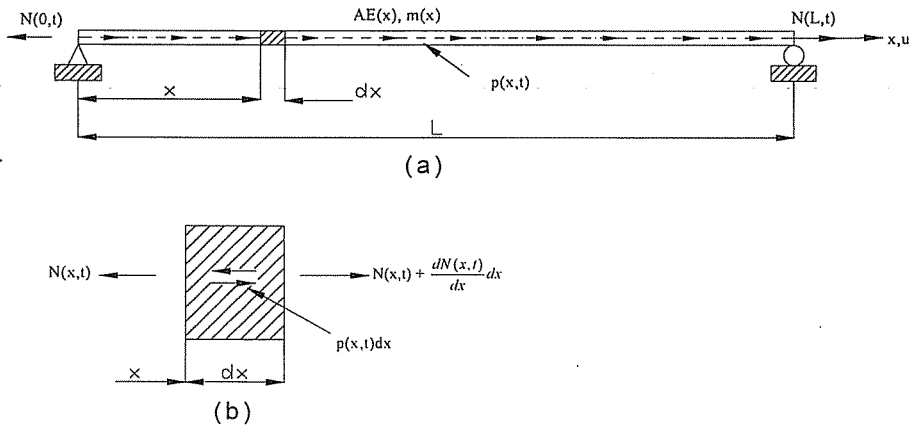
ABSTRACT : *In this study, free vibration and dynamic analyses of an axially-loaded steel rod with varying cross-section under the various dynamic loads are performed. The natural frequency equations for free vibration are obtained explicitly and the results are given in tabular form. Solutions are obtained for the linearly increasing and linearly decreasing load types using the mode-superposition method for dynamic analysis.. The results are presented in the form of graphs for each area and load type.*

1. GİRİŞ

Dinamik yük/darbe altındaki malzemelerin davranışlarının analizi, makine mühendisliği alanında çok önemli bir yer tutmaktadır. Geçmişte çubukların serbest titreşimi birkaç makalede çalışılmıştır. Çeşitli komplike etkileri tarafından araştırılmıştır [1-4]. Onların yayınlarında üniform ve üniform olmayan kesitli çubukları için uygun dönüşümler kullanılarak çözümler elde edilmiştir. Yarı analitik bir çalışma örneği, dinamik yükler altında üniform kesitli bir elastik çubuğun davranışını inceleyen yüksek lisans çalışmasında görülebilir [5]. Beskos ve Narayan, kırışlerden oluşmuş yapıların fleksural zorlanmış titreşimlerinde dinamik rijitlik etki katsayılarının önemini ve kullanımını araştırmışlardır [6]. Çözüm metodu olarak düz Fourier dönüşüm ve Cooley-Tukey algoritmasına dayanarak bir nümerik ters dönüşüm kullanmışlardır. Narayan, deprem eksitasyonları, rüzgar kuvvetleri ve dinamik şoklar için kompleks üç boyutlu kafeslerin dinamik etkisini Laplace transform metodunu kullanarak genel bir metod geliştirmişlerdir [7]. Dubner ve Abate'nin metodunun devamı olan Laplace transformun nümerik olarak ters dönüşümü için tam bir metod Durbin tarafından oluşturulmuştur [8]. Abrate, bazı üniform olmayan çubuk ve kırışlere ait hareket denklemlerinin üniform bir kırış ve çubuğun hareket denklemlerine dönüştürülebileceğini göstermiştir [9]. Kumar ve Sujith, kesiti üniform olmayan çubukların aksel titreşimi için uygun dönüşümler kullanarak analitik çözümler geliştirmişlerdir [10]. Bu çalışmada, değişken geometriye sahip bir çubuğa, uç noktadan uygulanan lineer artan ve lineer azalan dinamik yükler uygulanarak analiz yapılmıştır ve analizde Mod-süperpozisyon yöntemi kullanılmıştır. Malzeme olarak değişken kesite sahip çelik seçilmiştir. Doğal frekanslar ve dinamik cevabı güzel seçilmiş çeşitli kesit alanını şekli belirleyen parametreler için sunulmuş ve kesit alanının şekli belirleyen parametrelere (a,b) göre sonuçlar grafikler halinde verilmiştir.

2. SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ

Eksenel dinamik yük altında, kesit alanı aksel koordinata göre değişen bir çubuğun (Şekil 1.) davranışı aşağıdaki diferansiyel denklem ile verilir:



Şekil 1. Aksel Dinamik Yük Uygulanacak Elastik Çubuk ve Çubuk Elemanı

$$(\partial / \partial x)[E \cdot A(x) \cdot \partial u / \partial x] = \rho \cdot A(x) \cdot \partial^2 u / \partial t^2 \quad (1)$$

Bu kısmi diferansiyel denklem değişkenlerin ayrılması metodu ile deplasman $u(x,t) = U(x) \cdot e^{i\omega t}$ şeklinde kabul edilerek çözülebilir. Denklem (1)'de yerine konularak $U(x)$ cinsinden aşağıdaki adi diferansiyel denklem elde edilir:

$$d^2U / dx^2 + (1/A)(dA/dx)(dU/dx) + \rho(\omega^2 / E)U = 0 \quad (2)$$

bu denklem ayrıca

$$\frac{d^2U}{dx^2} + \frac{1}{A} A' \frac{dU}{dx} + \frac{\omega^2}{c^2} U = 0 \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir; burada $c^2 = E / \rho$ olup, "c" deplasman yayılma hızıdır.

Denklem (3), kesit alanı A'nın formuna bağlı olarak, değişken katsayılı bir denklem olduğundan genel çözümü yoktur. Özel bazı A(x) formları için çözülebilir. Bu çalışmada $A(x) = A_0(1 + a \cdot x)^2$, $A(x) = A_0 \sin^2[ax + b]$ ve $A(x) = A_0 e^{-a \frac{x}{L}}$, şeklinde değişen kesit alanları alınarak, uygun transformasyonlarla, kapalı formda kesin çözümler elde edilecektir. Bu çözümler referans [10] de verilmiştir.

2.1. Kesit Alanının $A(x) = A_0(1 + ax)^2$ Şeklinde Değişmesi

Bu kısımda dinamik yük altında çubuğun aksenal titreşim davranışı,

$$A(x) = A_0(1 + a \cdot x)^2 \quad (4)$$

şeklinde değişen kesit alanı için elde edilecektir. Bu kabul ile birlikte,

$$U = \frac{V(x)}{(1 + ax)} \quad (5)$$

değişken dönüşümü yapılarak denklem (3) V cinsinden

$$V''(x) + \frac{\omega^2}{c^2} V(x) = 0 \quad (6)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemin çözümü

$$V(x) = a \cdot \cos kx + b \cdot \sin kx \quad (7)$$

olup, k parametresi

$$k^2 = w^2 / c^2 \quad (8)$$

şeklinde tanımlanmıştır. (5) deki transformasyon hatırlanarak $U(x)$ aşağıdaki gibi elde edilir:

$$U(x) = \frac{1}{(1+ax)} \cdot [c_1 \cdot \text{Cos}kx + c_2 \cdot \text{Sin}kx] \quad (9)$$

Çubuğun uçları sabit-serbest ise sınır şartları $u(0,t) = 0$ and $(\partial u / \partial x)[L,t] = 0$ şeklindedir ve bu şartların uygulanması ile

$$k = \frac{a}{(1+aL)} \cdot \text{Tan}[kL] \quad (10)$$

sonucu elde edilir. Denklem (10)'u sağlayan k değerlerine k_j denirse, c sabit olduğundan, tabii frekanslar w_j denklem (8) den aşağıdaki gibi bulunur:

$$w_j = c \cdot k_j \quad (11)$$

Çizelge1. $a = 0, 1, 2$ ve birim uzunluktaki L için tabii frekansları vermektedir.

Çizelge1. Değişken kesit alanı $A(x) = A_0(1 + a \cdot x)^2$ için tabii frekanslar

Mod	a=0	a=1	a=2
1	25.24369485	18.73138116	15.54682732
2	75.73140597	73.99297407	73.40215086
3	126.2189564	125.1888727	124.843192
4	176.7069889	175.973249	175.7279779
5	227.1947	226.624592	226.4343309
6	277.6824112	277.2160555	277.0606197
7	328.1701223	327.775458	327.6440318
8	378.6562263	378.3156561	378.2018112
9	429.1439374	428.8434314	428.7430217
10	479.6316486	479.3627697	479.2729345

2.2. Kesit Alanının $A(x) = A_0 \text{Sin}^2(ax + b)$ Şeklinde Değişmesi

Kesit alanı

$$A(x) = A_0 \text{Sin}^2[ax + b] \quad (12)$$

şeklinde değişirse,

$$U = \frac{Y(x)}{\text{Sin}[ax + b]} \quad (13)$$

şeklinde bir değişken dönüşümü ile denklem (3) aşağıdaki formda ifade edilebilir:

$$Y''[x] + [a^2 + \frac{w^2}{c^2}] \cdot Y[x] = 0 \quad (14)$$

Bu denklemin çözümü

$$Y[x] = c_1 \cdot \text{Sink}x + c_2 \cdot \text{Cosk}x \quad (15)$$

şeklinde olup k 'nin tanımı aşağıda verilmiştir:

$$k^2 = \frac{w^2}{c^2} + a^2 \quad (16)$$

Deplasman ifadesi

$$U(x) = \frac{1}{\text{Sin}[ax + b]} (c_1 \cdot \text{Sink}x + c_2 \cdot \text{Cosk}x) \quad (17)$$

olur ve $u(0,t) = 0$ ile $(\partial u / \partial x)[L,t] = 0$ sınır şartlarının uygulanması ile

$$k = \text{Tan}[kL] \cdot \frac{a}{\text{Tan}[aL + b]} \quad (18)$$

eşitliği elde edilir. Bu denklemi sağlayan k değerleri bulunarak denklem (16)

$$w_j^2 = c^2 (k_j^2 - a^2) \quad (19)$$

şeklinde yazılabilir. Çizelge-2, $a = 0, 1, 2$ ve birim uzunluktaki L için tabii frekansları vermektedir.

Çizelge 2. Değişken kesit alanı $A(x) = A_0 \sin^2[ax + b]$ için tabii frekanslar

Mod	a=0	a=1	a=2
1	25.24369485	24.38954975	44.35128774
2	75.73140597	75.56670302	93.21649199
3	126.2189564	126.1278114	141.5001849
4	176.7069889	176.6427781	189.9907403
5	227.1947	227.145988	238.7975655
6	277.6824112	277.6419578	287.8987379
7	328.1701223	328.1351965	337.2498654
8	378.6562263	378.6287022	386.7982046
9	429.1439374	429.1195318	436.5074994
10	479.6316486	479.6099656	486.3392759

2.3. Kesit Alanının $A(x) = A_0 \cdot e^{-\frac{a}{L}x}$ Şeklinde Değişmesi

Kesit alanının

$$A(x) = A_0 \cdot e^{-\frac{a}{L}x} \quad (20)$$

şeklinde değişmesi ile denklem (3)

$$\frac{d^2U}{dx^2} - \frac{a}{L} \cdot \frac{dU}{dx} + \mu^2 U = 0 \quad (21)$$

şeklini alır. Burada $\mu^2 = (w/c)^2$ ile tanımlanmıştır.

$$\frac{a^2}{L^2} - 4\mu^2 \geq 0 \quad (22)$$

ise çözüm sıfır olup

$$\frac{a^2}{L^2} - 4\mu^2 < 0 \quad (23)$$

halinde genel çözüm $U(x)$

$$U(x) = e^{\frac{a}{2L}x} (A_1 \cos \frac{k}{L}x + A_2 \sin \frac{k}{L}x) \quad (24)$$

olarak bulunur. Burada

$$k^2 = \frac{L^2}{4} (4\mu^2 - \frac{a^2}{L^2}) \quad (25)$$

olarak tanımlanmıştır. Ankastre-serbest sınır şartları olan $u(0,t) = 0$ ve $(\partial u / \partial x)[L,t] = 0$ uygulandığında elde edilen

$$\text{Cot}k = -\frac{a}{2k} \quad (26)$$

ilişkisinden bulunacak k_j değerleri için denklem (25) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$k_j^2 = \frac{L^2}{4} (4\frac{w_j^2}{c^2} - \frac{a^2}{L^2}) \quad (27)$$

Çizelge 3., $a = 0, 1, 2$ ve birim uzunluktaki L için tabii frekansları vermektedir.

Çizelge 3. Değişken kesit alanı $A(x) = A_0 \cdot e^{-\frac{a \cdot x}{L}}$ için tabii frekanslar

Mod	a=0	a=1	a=2
1	25.24369485	30.5896796	36.34916363
2	75.73140597	77.80993308	80.57711431
3	126.2189564	127.4860185	129.2259916
4	176.7069889	177.6152381	178.8751285
5	227.1947	227.9020875	228.8877394
6	277.6824112	278.2612899	279.0711945
7	328.1701223	328.6604893	329.3466966
8	378.6562263	379.0820968	379.6778903
9	429.1439374	429.5196278	430.0453658
10	479.6316486	479.9689025	480.438875

3. MOD-SÜPERPOZİSYON ANALİZİ

Önceki bölümde çubuğun serbest titreşim “mod” ları (şekilleri) ve tabii frekansları, ankastre-serbest uç sınır şartları ve farklı değişken kesitler için hesaplanmıştı. Bu bölümde ise serbest titreşim parametreleri kullanılarak mod-süperpozisyon analizi ile serbest uçta uygulanan dinamik yük altında değişken kesitli çubuğun davranışı incelenecektir.

Mod-süperpozisyon analizinde üç ana adım vardır:

1. Mod’ların ve Frekansların Bulunması:

Önceki bölümde bu veriler bulunmuştur.

2. Genel Kütle ve Yüklerin Bulunması:

$$M_n = \int_0^L \phi_n^2(x) \cdot m(x) \cdot dx$$

$$P_n(t) = \int_0^L \phi_n(x) \cdot P(x,t) \cdot dx$$

3. Normal-Koordinat Hesaplanması:

Duhamel integralini kullanarak tek serbestlik dereceli çubuğun dinamik yük P(t) altındaki davranışının incelenmesi

$$Y_n(t) = \frac{1}{M_n \cdot \omega_n} \int_0^t P_n(\tau) \cdot \text{Sin}[\omega_n(t - \tau)] d\tau$$

Deplasmanın hesaplanması ise aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$u(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \phi_n(x) \cdot Y_n(t)$$

Analizde aşağıdaki dinamik yükleme tipleri kullanılacaktır:

Lineer artan tip yükleme, $P(t) = 2 P_0 \frac{t}{t_d}$

Lineer azalan tip yükleme, $P(t) = P_0 \left(1 - \frac{2t}{t_d} \right)$

Elde edilen deplasman ifadelerinde herhangi bir noktadaki deplasman, o noktanın koordinatını kullanarak bulunabilir.

Çizelge 4. Değişken kesit alanı $A(x) = A_0(1 + a \cdot x)^2$ olan Lineer artan tip yükleme için Mod-süperpozisyon analiz ifadeleri

Alan Formu:	$A = A_0(1 + a x)^2$
ω_n	$c k_n$
$U_n(x)$	$\frac{\text{Sin}[k_n x]}{(1 + a x)}$
M_n	$\frac{\rho_0 A_0}{4 k_n} (2 k_n L - \text{Sin}[2 k_n L])$
$P_n(t)$	$2 P_0 \frac{t}{t_d} \frac{\text{Sin}[k_n L]}{(1 + a L)}$
$Y_n(t)$	$\frac{2 P_0}{M_n t_d} \frac{\text{Sin}[k_n L]}{(1 + a L)} \frac{(w_n t - \text{Sin}[w_n t])}{w_n^3}$
$u(L,t)$	$\frac{2 P_0}{(1 + a L)^2} \sum_{n=1}^m \frac{\text{Sin}^2[k_n L]}{M_n} \frac{(w_n t - \text{Sin}[w_n t])}{w_n^3 t_d}$

Çizelge 5. Değişken kesit alanı $A(x) = A_0 \text{Sin}^2[ax + b]$ olan Lineer artan tip yükleme için Mod-süperpozisyon analiz ifadeleri

Alan Formu:	$A = A_0 \text{Sin}^2[ax + b]$
w_n	$c \sqrt{k_n^2 - a^2}$
$U_n(x)$	$\frac{\text{Sin}[k_n x]}{\text{Sin}[ax + b]}$
M_n	$\frac{\rho_0 A_0}{4 k_n} (2k_n L - \text{Sin}[2k_n L])$
$P_n(t)$	$2P_0 \frac{t}{t_d} \frac{\text{Sin}[k_n L]}{\text{Sin}[aL + b]}$
$Y_n(t)$	$\frac{2 P_0}{M_n t_d} \frac{\text{Sin}[k_n L]}{\text{Sin}[aL + b]} \frac{(w_n t - \text{Sin}[w_n t])}{w_n^3}$
$u(L, t)$	$\frac{2 P_0}{\text{Sin}^2[aL + b]} \sum_{n=1}^m \frac{\text{Sin}^2[k_n L]}{M_n} \frac{(w_n t - \text{Sin}[w_n t])}{w_n^3 t_d}$

Çizelge 6. Değişken kesit alanı $A(x) = A_0 \cdot e^{-a \frac{x}{L}}$ olan Lineer artan tip yükleme için Mod-süperpozisyon analiz ifadeleri

Alan Formu:	$A(x) = A_0 \cdot e^{-a \frac{x}{L}}$
w_n	$w_n = \frac{1}{L} \sqrt{c^2 \left[k_n^2 + \left(\frac{a}{2} \right)^2 \right]}$
$U_n(x)$	$e^{\frac{a}{2L} x} \text{Sin} \left[\frac{k_n}{L} x \right]$
M_n	$\frac{\rho_0 A_0 L}{4 k_n} (2k_n - \text{Sin}[2k_n])$
$P_n(t)$	$2P_0 \frac{t}{t_d} e^{a/2} \text{Sin}[k_n]$
$Y_n(t)$	$\frac{2 P_0}{M_n t_d} \text{Sin}[k_n] e^{a/2} \frac{(w_n t - \text{Sin}[w_n t])}{w_n^3}$
$u(L, t)$	$2P_0 e^a \sum_{n=1}^m \frac{\text{Sin}^2[k_n]}{M_n} \frac{(w_n t - \text{Sin}[w_n t])}{w_n^3 t_d}$

Çizelge 7. Değişken kesit alanı $A(x) = A_0(1 + a \cdot x)^2$ olan Lineer azalan tip yükleme için Mod-süperpozisyon analiz ifadeleri

Alan Formu:	$A = A_0(1 + a \cdot x)^2$
W_n	$c k_n$
$U_n(x)$	$\frac{\text{Sin}[k_n x]}{(1 + a x)}$
M_n	$\frac{\rho_0 A_0}{4 k_n} (2 k_n L - \text{Sin}[2 k_n L])$
$P_n(t)$	$P_0 \left(1 - \frac{2t}{t_d} \right) \frac{\text{Sin}[k_n L]}{(1 + a L)}$
$Y_n(t)$	$\frac{P_0 \text{Sin}[k_n L]}{M_n (1 + a L)} \frac{(w_n(t_d - 2t) - t_d w_n \text{Cos}[w_n t] + 2 \text{Sin}[w_n t])}{w_n^3 t_d}$
$u(L, t)$	$\frac{P_0}{(1 + a L)^2} \sum_{n=1}^m \frac{\text{Sin}^2[k_n L]}{M_n} \frac{(w_n(t_d - 2t) - t_d w_n \text{Cos}[w_n t] + 2 \text{Sin}[w_n t])}{w_n^3 t_d}$

Çizelge 8. Değişken kesit alanı $A(x) = A_0 \text{Sin}^2[ax + b]$ olan Lineer azalan tip yükleme için Mod-süperpozisyon analiz ifadeleri

Alan Formu:	$A = A_0 \text{Sin}^2[ax + b]$
W_n	$c \sqrt{k_n^2 - a^2}$
$U_n(x)$	$\frac{\text{Sin}[k_n x]}{\text{Sin}[ax + b]}$
M_n	$\frac{\rho_0 A_0}{4 k_n} (2 k_n L - \text{Sin}[2 k_n L])$
$P_n(t)$	$P_0 \left(1 - \frac{2t}{t_d} \right) \frac{\text{Sin}[k_n L]}{\text{Sin}[aL + b]}$
$Y_n(t)$	$\frac{P_0 \text{Sin}[k_n L]}{M_n \text{Sin}[aL + b]} \frac{(w_n(t_d - 2t) - t_d w_n \text{Cos}[w_n t] + 2 \text{Sin}[w_n t])}{w_n^3 t_d}$
$u(L, t)$	$\frac{P_0}{\text{Sin}^2[aL + b]} \sum_{n=1}^m \frac{\text{Sin}^2[k_n L]}{M_n} \frac{(w_n(t_d - 2t) - t_d w_n \text{Cos}[w_n t] + 2 \text{Sin}[w_n t])}{w_n^3 t_d}$

Çizelge 9. Değişken kesit alanı $A(x) = A_0 \cdot e^{-\frac{x}{L}}$ olan Lineer azalan tip yükleme için Mod-süperpozisyon analiz ifadeleri

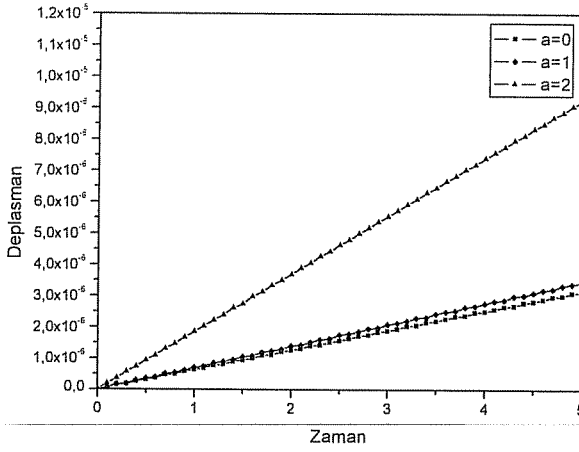
Alan Formu:	$A(x) = A_0 \cdot e^{-\frac{x}{L}}$
w_n	$w_n = \frac{1}{L} \sqrt{c^2 \left[k_n^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 \right]}$
$U_n(x)$	$e^{\frac{a}{2L}x} \text{Sin} \left[\frac{k_n}{L}x \right]$
M_n	$\frac{P_0 A_0 L}{4 k_n} (2 k_n - \text{Sin}[2 k_n])$
$P_n(t)$	$P_0 \left(1 - \frac{2t}{t_d} \right) e^{a/2} \text{Sin}[k_n]$
$Y_n(t)$	$\frac{P_0}{M_n} \text{Sin}[k_n] e^{a/2} \frac{(w_n(t_d - 2t) - t_d w_n \text{Cos}[w_n t] + 2 \text{Sin}[w_n t])}{w_n^3 t_d}$
$u(L, t)$	$P_0 e^a \sum_{n=1}^m \frac{\text{Sin}^2[k_n]}{M_n} \frac{(w_n(t_d - 2t) - t_d w_n \text{Cos}[w_n t] + 2 \text{Sin}[w_n t])}{w_n^3 t_d}$

5. NUMERİK UYGULAMALAR

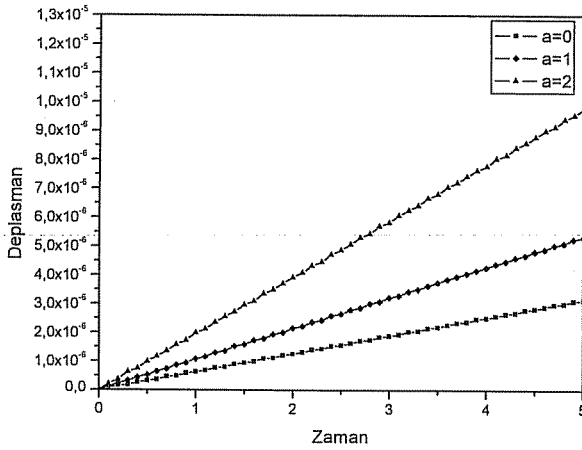
Bu bölümde, verilen malzeme özellikleri için yükün uygulandığı serbest uçtaki deplasmanlar, önceki bölümlerde bahsi geçen metod ile hesaplanmıştır. Bu çalışmada iki tip geometrik özellik kullanıldı: 1) $L=1m$, $A=0.03m^2$, $a=1$, $b=1$, 2) $L=1m$, $A=0.03m^2$, $a=2$, $b=1$ (a ve b parametreleri kesit alanının şeklini belirler). Çelik çubuk malzeme özellikleri ise $E=20.3 \cdot 10^5 N/m^2$, $\rho=7860 kg/m^3$ olarak seçildi. Bütün uygulamalarda dinamik yükün büyüklüğü $P_0=1N$ olacak şekilde alındı. Ayrıca $a=0$ alındığında çubuk üniform kesitli elastik bir çubuğa dönüşmektedir.

Sonuçlar, her bir alan tipi ve yükleme tipi için mod-süperpozisyon analizi kullanılarak hesaplandı ve oluşturulan grafiklerle sunuldu. Bulunan doğal frekans değerleri, mod-süperpozisyon analizinde kullanılarak serbest uçtaki deplasman ifadeleri bulunmuştur. Bu ifadeler de, Lineer artan ve Lineer olarak azalan yükleme tipleri için t_d sabiti 51.2'ye eşittir.

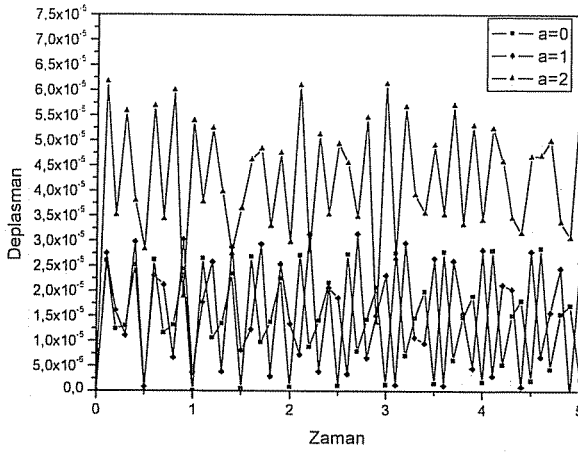
Lineer artan ve lineer azalan yükleme tipi için sinüzoidal ve üstel değişken kesite sahip çubuklarda kesit alan şeklini belirleyen parametrelerin artmasıyla deplasman değerleri artmaktadır (Şekil 2-5).



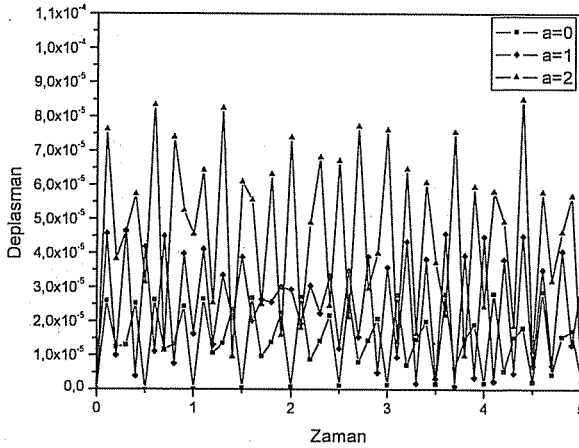
Şekil 2. Sinüzoidal değişken kesite sahip çubuğun Lineer artan tip yÛkleme altındaki deplasmanı



Şekil 3. Üstel değişken kesite sahip çubuğun Lineer artan tip yÛkleme altındaki deplasmanı

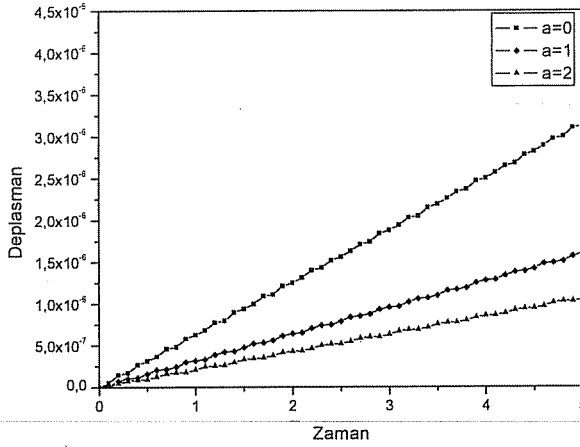


Şekil 4. Sinüzoidal değişken kesite sahip çubuğun Lineer azalan tip yüklemeye altındaki deplasmanı

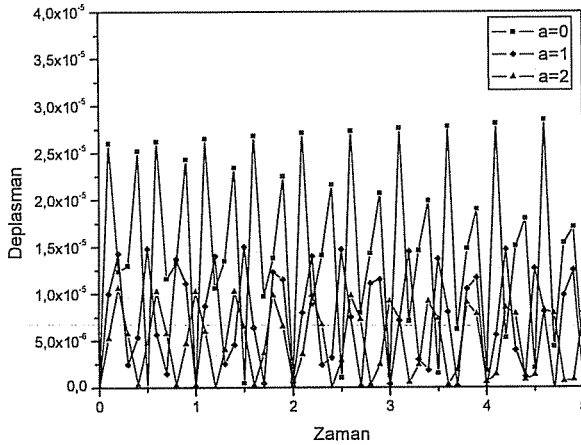


Şekil 5. Üstel değişken kesite sahip çubuğun Lineer azalan tip yüklemeye altındaki deplasmanı

Polinom değişken kesite sahip çubukta ise tam ters bir davranış meydana gelmiştir (Şekil 6-7). Kesit alan şeklini belirleyen parametrelerinin artmasıyla deplasman miktarı azalmaktadır.



Şekil 6. Polinom değişken kesite sahip çubuğun Lineer artan tip yükleme altındaki deplasmanı



Şekil 7. Polinom değişken kesite sahip çubuğun Lineer azalan tip yükleme altındaki deplasmanı

6. SONUÇLAR

Serbest titreşim parametreleri kullanılarak mod-süperpozisyon analizi ile değişken kesitli çubuğun çeşitli dinamik yükler altındaki davranışı incelendi. Malzeme olarak değişken kesite sahip çelik seçilmiştir. Serbest titreşim analizde değişken kesit alanı $A(x) = A_0(1 + a \cdot x)^2$ şeklinde değişen çubukta kesit parametresi (a) arttıkça tabii frekans

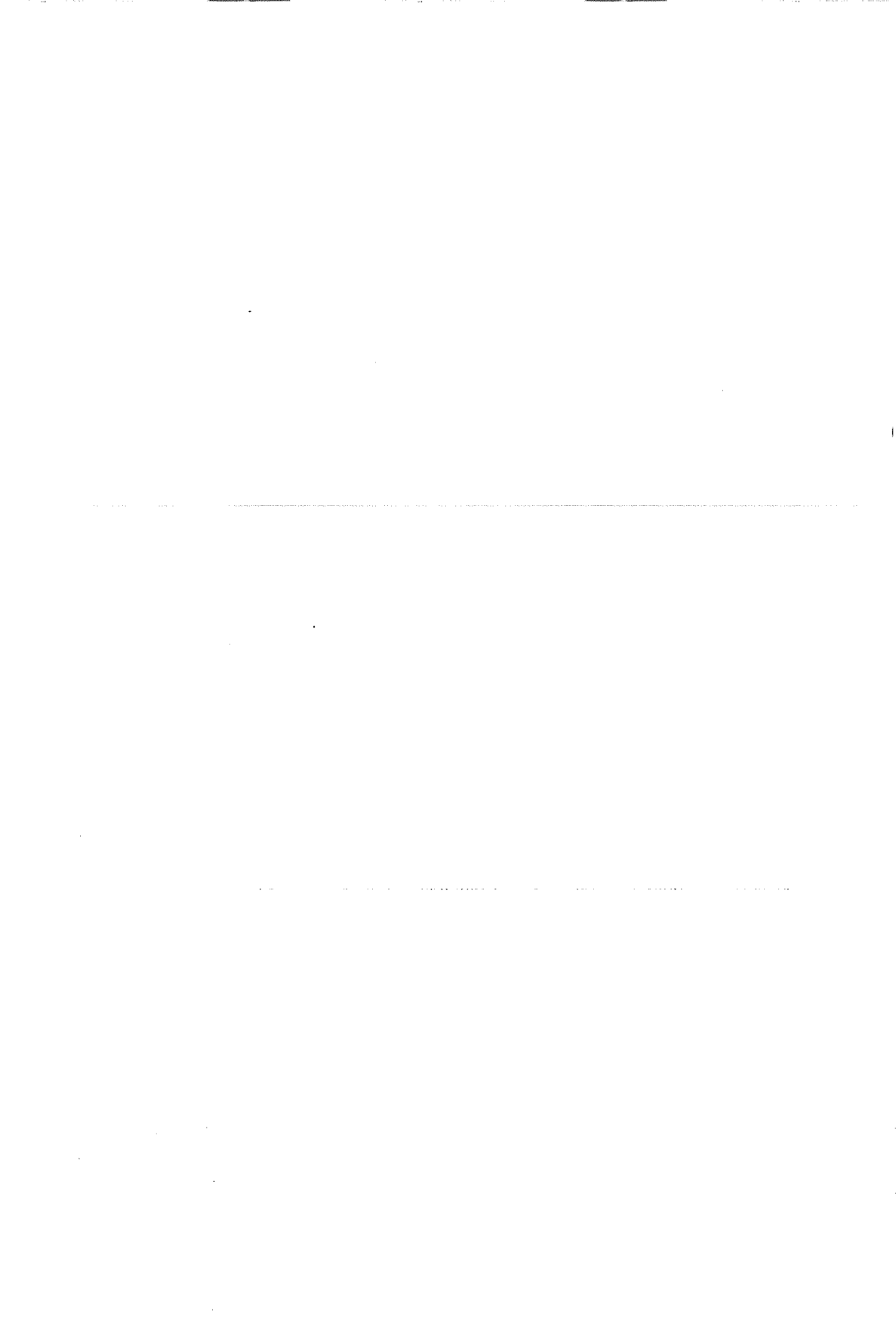
değerleri azalmakta, değişken kesit alanı $A(x) = A_0 \cdot e^{-\frac{ax}{L}}$ şeklinde değişen çubukta kesit parametresi (a) artıkcça tabii frekans değerleri artmakta ve değişken kesit alanı $A(x) = A_0 \sin^2[ax + b]$ olarak alındığında $a=0$ 'dan $a=1$ 'e yükseldiğinde tabii frekans değerleri azalırken $a=1$ 'den $a=2$ 'ye yükseldiğinde tabii frekans değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca $L=1m$, $A=1m^2$, $a=0$, $b=1$, $E=1N/m^2$, $\rho=1kg/m^3$, $P_0=1N$ olarak alınıp analiz gerçekleştirildiğinde literatürdeki [10] üniform kesitli elastik bir çubuğun sonuçları ile uyumludur. Dinamik analizde kesit parametrelerinin artırılmasıyla lineer artan ve iner azalan yükleme tipinde üstel ve sinüzoidal kesitler için benzer, polinom kesitlerde ise tam ters bir davranış sergilediği gözlenmiştir.

7. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, MMF2004BAP2 numaralı Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi tarafından desteklenmiştir.

8. KAYNAKLAR

1. Gürgöze, M and İnceoğlu, S. "On the Vibrations of an Axially Vibrating Elastic Rod with Distributed Mass Added in Span", *Journal of Sound and Vibration* 230(1): 187-194, 2000.
2. Li, Q.S., "Exact Solution for Longitudinal Vibration of Multi-Step Bars with Varying Cross-Section", *Journal of Vibration and Acoustics* 122: 183-187, 2000.
3. Li, Q.S., "Exact Solutions for Free Longitudinal Vibrations of Non-Uniform Rods", *Journal of Sound and Vibration* 234(1): 1-19, 2000.
4. Li, Q.S., Wu, J.R. and Xu, J.Y., "Longitudinal Vibration of Multi-Step Non-Uniform Structures with Lumped Mass and Spring Supports", *Applied Acoustics*, 63: 333-350, 2002.
5. Çelebi, K., "Analysis of On-Dimensional Response of an Elastic Body Under Dynamic Loads", *Çukurova University Institute of Natural and Applied Science, MSc Thesis, 2004*
6. Beskos, D.E. and Narayanan, G.V., "Dynamic Response of Frameworks by Numerical Laplace Transform", *Computer Methods In Applied Mechanics and Engineering*, 37: 289-307, 1983.
7. Narayanan, G.V., "Use of Dynamic Influence Coefficients in Forced Vibration Problems with the Aid of Fast Fourier Transform", *Computers and Structures*, 9: 145-150. 1977.
8. Durbin, F., "Numerical Inversion of Laplace Transforms: An Efficient Improvement to Dubner and Abate's Method", *Commissariat a l'Energie Atomique Centre U-Service Electronique*, 17: 371-376. 1974.
9. Abrate, S., "Vibration of Non-Uniform Rods and Beams", *Journal of Sound and Vibration*, 185(4): 703-716, 1995.
10. Kumar, B.M. and Sujuth, R.I., "Exact Solutions for the Longitudinal Vibration of Non-Uniform Rods", *Journal of Sound and Vibration*, 207(5), 721-729, 1997.



BUZ OLUŞUMUNA SİLİNDİR POZİSYONUNUN ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Nesrin SÖNMEZ, Ertan BUYRUK

C.Ü., Makine Mühendisliği Bölümü, Sivas/Türkiye

Ahmet FERTELLİ

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

ÖZET : *Bu çalışmada, içerisinde su bulunan dikdörtgenel bir soğu depolama tankına farklı pozisyonlarda yerleştirilen silindirin buz oluşumuna etkileri incelenmiştir. Bu amaçla FLUENT paket programı yardımıyla akış alanının sayısal çözümü zamana bağlı şekilde elde edilerek, sıcaklık değişimi ve buz oluşumu görselleştirilmiştir. Tank içerisindeki su sıcaklığı 273 K, 277 K ve silindir yüzey sıcaklığı 263 K kabul edilerek, tüm modeller için buz alanın silindir kesit alanına oranı ve sıcaklık dağılımları elde edilmiştir.*

Anahtar Kelimeler: *Enerji depolama, faz değişimi, katılaşma.*

NUMERICAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE POSITION OF THE CYLINDER ON ICE FORMATION

ABSTRACT : *In the present study, it is aimed to compare the effect of position of cylinder placed in a rectangular ice storage tank filled with water. For this aim Fluent package program was used to solve the flow domain numerically and temperature distribution and ice formation depending on time were illustrated. Water temperature in the tank and cylinder surface temperature were assumed as 273 K, 277 K and 263 K respectively and ratio of ice area to cross sectional area of cylinder and temperature distribution were determined for all geometries.*

Keywords: *Energy storage, phase change, solidification.*

1. GİRİŞ

Günümüzde, alternatif enerji kaynaklarının araştırılmasının yanı sıra enerjinin daha verimli kullanılması önemli bir hale gelmiştir. Bunun sonucu olarak iklimlendirme uygulamalarında kullanılan soğu depolamalı sistemlerin önemi artmıştır. Soğu depolamalı sistemler su, buz ve faz değiştiren ötektik tuzlar olmak üzere üç farklı depolama ortamı kullanırlar [1]. Buz depolamalı sistemler suyun donma ve erime gizli ısısından faydalandıklarından küçük sıcaklık aralıklarında küçük hacimlerde büyük miktarda enerji depolayabilirler.

Buz depolamalı sistemlerde, su-buz arasındaki faz değişimi ve depolama tankı içerisindeki serpantinler üzerindeki buz oluşumu sistem tasarımının en önemli parametrelerini oluşturmaktadır. Suyun faz değişimi ve silindir üzerinde buz oluşum karakteristiklerini incelemek için çeşitli sayısal ve deneysel araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalardan bazıları şunlardır: Tek ve iki silindri düzenlemelerde değişik sıcaklıklar için buz oluşumunun zamana bağlı değişimini inceleyen iki çalışma vardır [2,3]. Ayrıca 4, 6 ve 8 silindri düzenlemeler için sıcaklık dağılımı, buz oluşumu ve ısı akısının sayısal ve zamana bağlı olarak değişimi incelenmiştir [4]. Tank içerisinde silindirin farklı konumlandırılması ve farklı su sıcaklıklarının etkileri deneysel olarak araştırılmıştır [5].

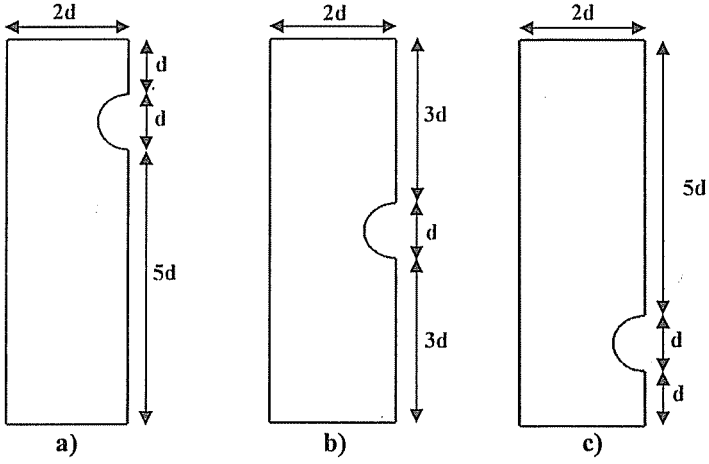
Bu çalışmada, faz değişim malzemesi olarak su kullanılan dikdörtgen şeklindeki bir tank içerisine farklı konumlarda yerleştirilen silindirin buz oluşumuna olan etkileri incelenmiştir. Sabit hacim içerisinde tankın alt, orta ve üst bölgesine yerleştirilen silindirin etrafındaki katılaşmayı çözmek için FLUENT programı kullanılmıştır. Öncelikle, depo ortasına yerleştirilmiş model için çözümler yapılmış, elde edilen sonuçlar literatürdeki deneysel çalışmanın sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Daha sonra, yüksekliği 7d ve genişliği 4d olan dikdörtgensel bir soğu depolama tankının alt, orta ve üst bölgelerine tek silindir yerleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

2. MODEL VE SAYISAL YÖNTEM

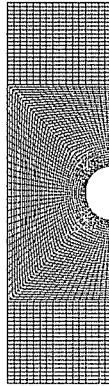
Çalışmada kullanılan farklı silindir yerleşimleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Tank yüksekliği 7d, tank genişliği 4d olarak belirlenmiştir. Bu değerler literatürdeki değerlere benzerlik teşkil etmesi amacıyla seçilmiştir. Tank içerisine tek silindir üç konumda yerleştirilmiş olup, çapı 0,0254 m'dir. Analizlerde depo içerisindeki başlangıç su sıcaklığı 273 K, 277 K ve silindir yüzey sıcaklığı sabit ve 263 K olarak alınmıştır. Akış alanı simetrik olduğundan modelleme işlemi tankın yarısı için yapılmıştır. Bu işlem, çözüm zamanını kısaltmasını ve iyi uyumlulukta çözümler elde edilmesini kolaylaştırmaktadır. Yukarıda belirlenen modellere uygunluğu, kolay oluşturulabilmesi ve çözülebilmesi gibi avantajlarından dolayı ağ elemanı olarak dörtgensel eleman kullanılmıştır. 20000 – 25000 arasında elemandan oluşan ağ yapısının yeterli olacağı farklı eleman sayılarına (10000,15000) sahip çözümlerle karşılaştırılarak tespit edilmiştir. Ağ yapısı oluşturulurken değişimin hızlı olması beklenen ve asıl inceleme alanı olan silindir yakınındaki bölgelerde daha sık bir ağ yapısı oluşturularak çözümün hassasiyeti artırılmıştır. Kullanılan ağ yapısı oluşturulan modellerden biri için Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu çalışmada, çözümlerinin kolaylaştırılması amacıyla aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- i) Akış iki boyutlu, laminer ve sıkıştırılmazdır.

- ii) Tank içerisinde faz değişim malzemesi (FDM) olarak kullanılan su, Newtonsal bir akışkandır.
- iii) Isı iletim katsayısı k ve özgül ısı c , katı ve sıvılar için ayrı ayrı sabit değerler olarak alınmıştır ($k_s \neq k_k$, $c_s \neq c_k$)
- iv) Tank cidarları yalıtılmıştır.
- v) $t=0$ anında su (FDM) durağandır.
- vi) Silindir yüzeylerinde kaymama ($u=0$, $v=0$) prensibine dayalı duvar sınır koşulu ve buna ek olarak, $h=h_d=c_k T_d$ geçerlidir.



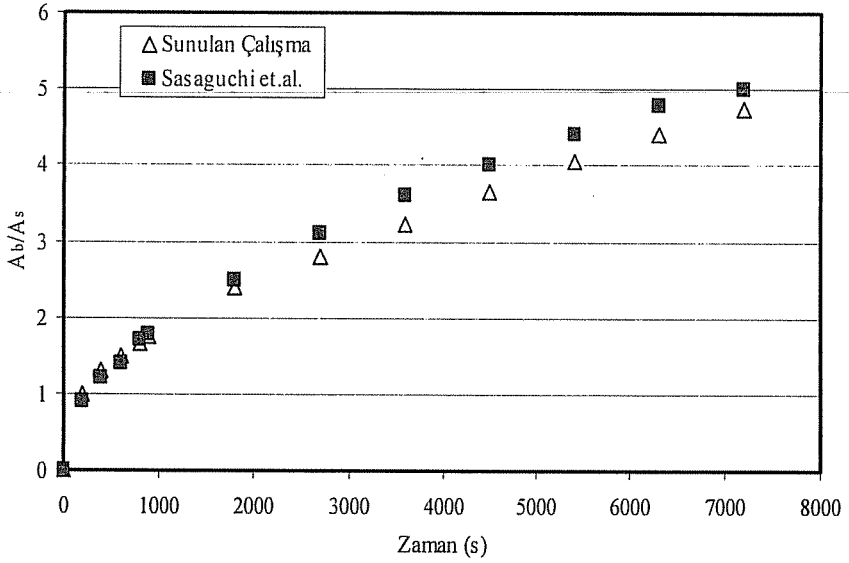
Şekil 1. Silindir modelleri; a)Üst; b)Orta; c)Alt



Şekil 2. Model için oluşturulan ağ yapısı

3. SAYISAL SONUÇLAR

Yapılan analizlerde tüm modeller için A_b/A_s oranları (Buz alanı / Silindir kesit alanı) ve sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. Kullanılan sayısal yöntem ile elde edilen sonuçların doğruluğunu belirleyebilmek için, daha önce yapılmış bir çalışmadan [2] elde edilen deneysel sonuçlarla karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 3’de görüldüğü gibi deneysel sonuçlarla sayısal çözümler karşılaştırıldığında, buz oluşumunun ilk zamanlarında katılma oranlarının tamamen aynı, ilerleyen katılma zamanları için ise oldukça yakın ve paralel olduğu görülmüştür. Böylece, kullanılan sayısal yöntemin doğru olduğu sonucuna varılabileceği düşünülmektedir.

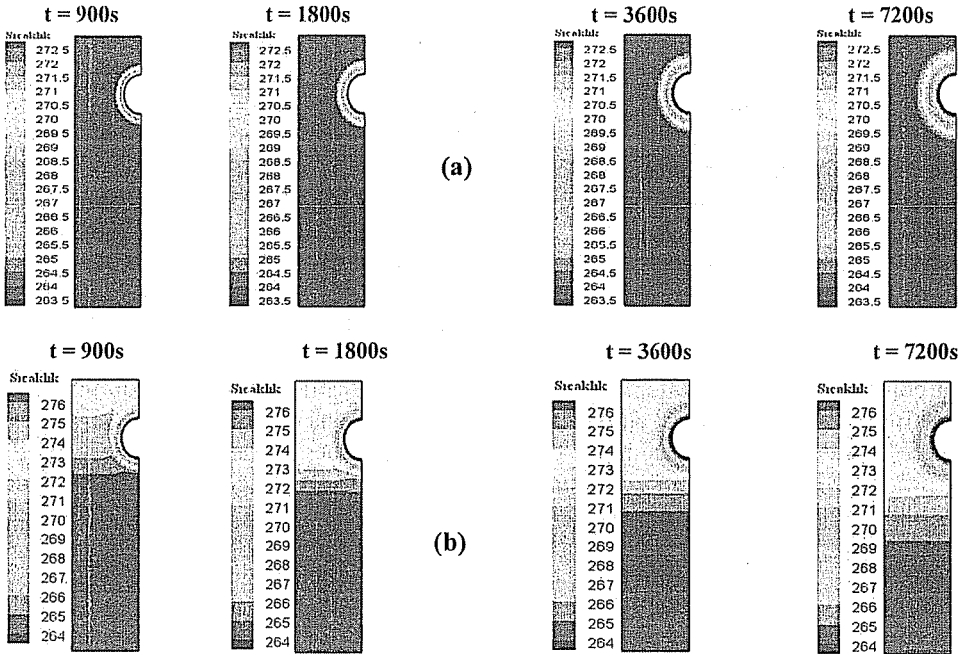


Şekil 3. Tek silindir etrafındaki buz oluşumunun karşılaştırılması.

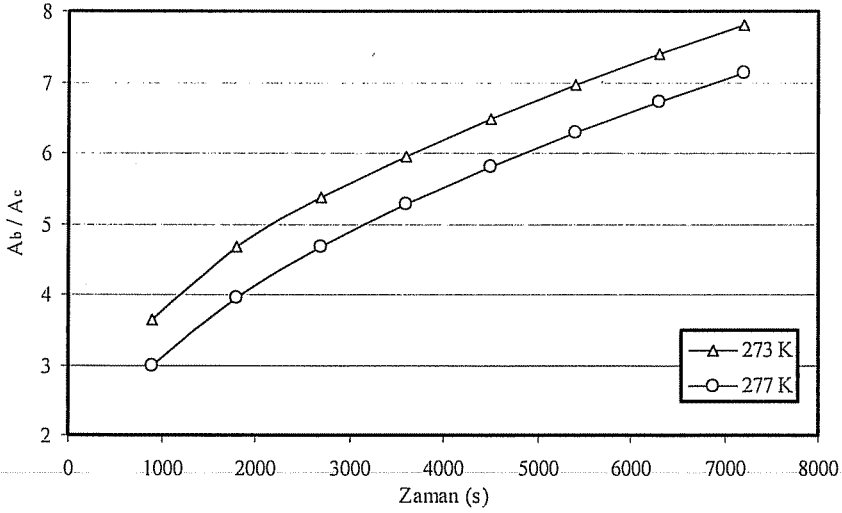
Şekil 4’de silindirin depo içerisinde üst noktaya yerleştirilmesi ve depo içerisindeki su sıcaklığının 273 K ve 277 K olması durumunda elde edilen sıcaklık dağılımları gösterilmiştir. Şekil 4a’da tüm farklı zaman dilimleri için sıcaklık dağılımları incelendiğinde, soğuk silindir etrafında zamanla artan buz oluşumundan dolayı belirgin bir sıcaklık dağılımı oluşmuştur. Tankın diğer tüm noktalarında su, faz değişim sıcaklığında olduğundan dolayı herhangi bir doğal konveksiyon hareketi gözlenmemektedir. Yoğunluğunun maksimum olduğu 277 K sıcaklıkta olan su için elde edilen sıcaklık dağılımları incelendiğinde (Şekil 4b), sıcak su 263 K yüzey sıcaklığı olan soğuk silindir etrafında soğumaya başlamakta ve soğuk yüzey ile sıcak su arasında

oluşan ısı transferinden dolayı su hareketlenmektedir. İlk 900 saniye sonunda soğuk silindirin olduğu tankın üst bölgesinde, soğuk suyun yukarı yönlü akış hareketinden dolayı 273 K'de suyun bulunduğu, tankın orta ve alt bölgesinde ise sıcak suyun toplandığı görülmektedir. Çünkü silindir yüzeyi ile tankın üst bölgesinde bulunan su arasındaki sıcaklık farkı çok hızlı azalmaktadır. 1800. saniyede doğal konveksiyonun etkisinden dolayı oluşan akış hareketinin tamamen sonlandığı, silindir altında ve üstünde sıcaklık katmanlaşmasının olduğu görülmektedir.

Şekil 5'de ise su sıcaklığının 273 K ve 277 K olması durumları için katılma oranlarının (A_b/A_s) zamanla değişimi gösterilmiştir. Her iki su sıcaklığı için 900. saniyede belirli bir buz kalınlığı oluşmuş, katılma oranları zamanla artmıştır. Depo içi su sıcaklığının 277 K olması durumunda, silindir etrafında oluşan buz miktarının tüm zaman dilimleri için daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Silindirin tankın üst bölgesinde olması durumu için sıcaklık dağılımı
a) $T_i = 273$ K b) $T_i = 277$ K.

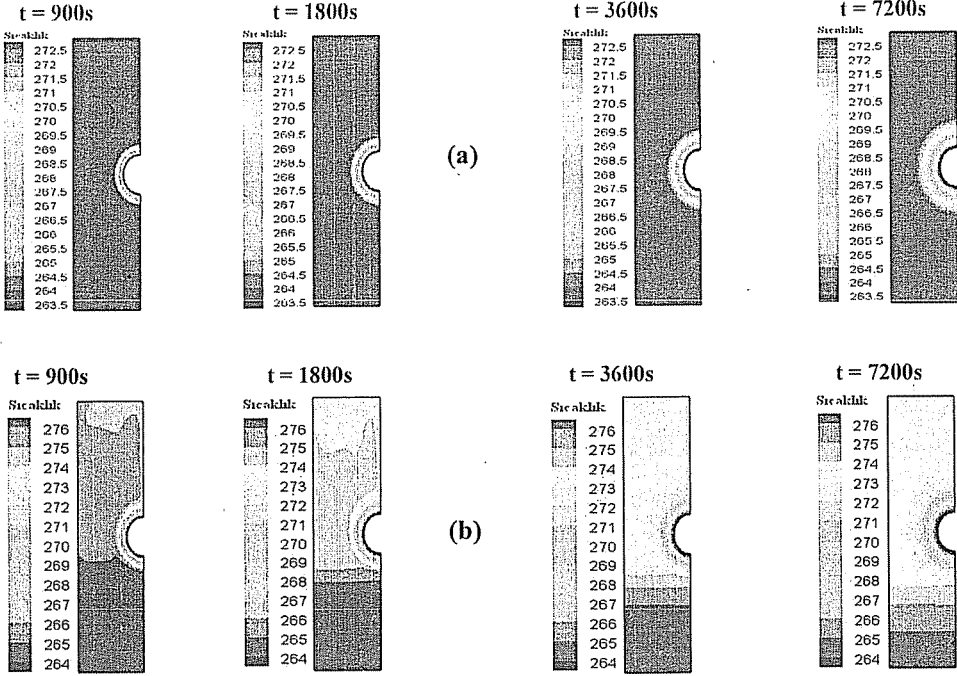


Şekil 5. Silindirin tankın üst bölgesinde olması durumunda farklı su sıcaklıklarının buz oluşumuna etkisi.

273 K ve 277 K su sıcaklığı için silindirin tankın ortasına yerleştirilmesi durumunda elde edilen sıcaklık dağılımları Şekil 6a-b'de gösterilmiştir. Silindirin tankın orta bölgesine yerleştirilmesi durumunda 273 K için elde edilen sıcaklık dağılımları, üst tarafa yerleştirilmesi durumu ile aynıdır. Tüm zaman dilimleri için tank içerisinde herhangi bir su katmanlaşması oluşmamıştır (Şekil 6a). Su sıcaklığı 277 K'e artırıldığında ise, silindirin orta konumunda olması durumu için sıcaklık dağılımları Şekil 6b'de gösterilmektedir. 273 K - 277 K sıcaklığı arasındaki suyun yoğunluğu, sıcaklığın artması ile artmaktadır. Silindir yüzeyine yakın bölgedeki soğuk su, soğuk silindir yüzeyi ile çevresindeki sıcak su arasındaki sıcaklık farkından dolayı tankın üst bölgesine doğru hareketlenmektedir. Suyun yukarı yönlü bu hareketi 1800. saniyede de devam etmektedir. Bu zaman diliminde tankın üst bölgesindeki su daha da soğumuş ve alt bölgesinde ise sıcak su toplanmaya devam etmektedir. İlerleyen zaman dilimlerinde artık sıcaklık katmanlaşması tank içerisinde oluşmuş ve akış hareketi sonlanmıştır.

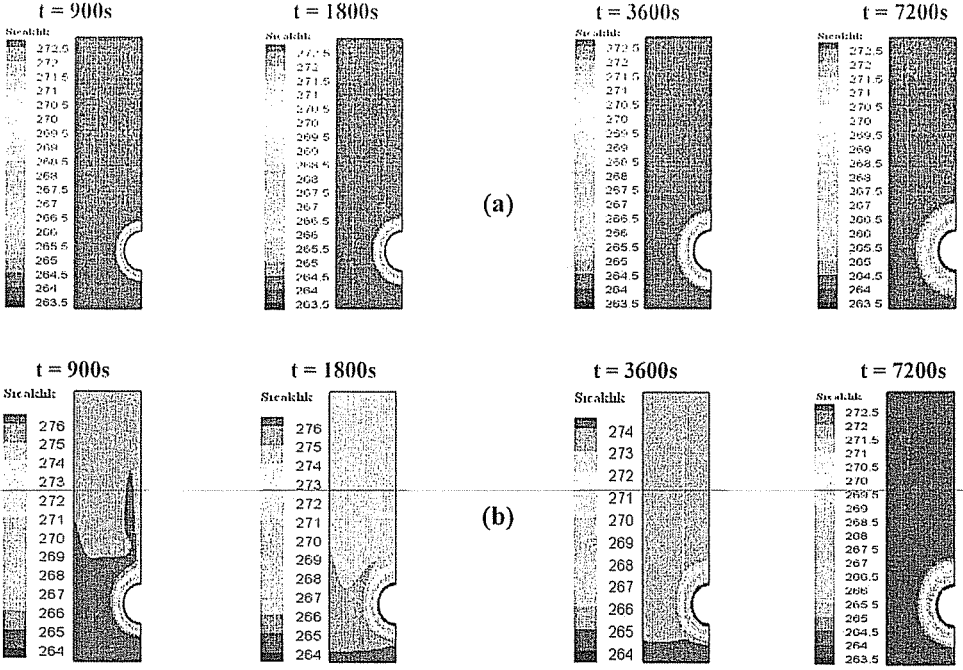
Şekil 7a'da silindirin tankın alt bölgesine yerleştirilmesi durumundaki, depo içi su sıcaklığının 273 K olması durumu için sıcaklık dağılımları gösterilmiştir. Burada sıcaklık dağılımlarının diğer iki silindir konumu ile aynı olduğu görülmektedir. Depo içerisindeki su sıcaklığı faz değişim sıcaklığında ise, silindir pozisyonunun tank içerisindeki sıcaklık dağılımına herhangi bir etkisi olmadığı görülmektedir. Su sıcaklığının 277 K olması durumu için sonuçlar incelendiğinde, soğuk silindir yüzeyinde soğuyan su yoğunluk etkisinden dolayı tankın üst tarafında doğru (merkez silindirdeki gibi) hareket ettiği görülmektedir (Şekil 7b). Tankın alt bölgesinde bulunan su katmanının soğuttuğu ve zaman ilerledikçe tankın alt bölgesinde sıcak olan çok az bir su katmanı görülmektedir. 1800. saniyede tankın üst tarafında 274 K civarında su bulunurken silindirin alt bölgesinde 277 K'de su bulunmaktadır. Son zaman diliminde

tank içerisindeki su sıcaklığının tamamı faz değişim sıcaklığına kadar azalmış ve hiçbir sıcaklık katmanlaşması görülmemektedir.

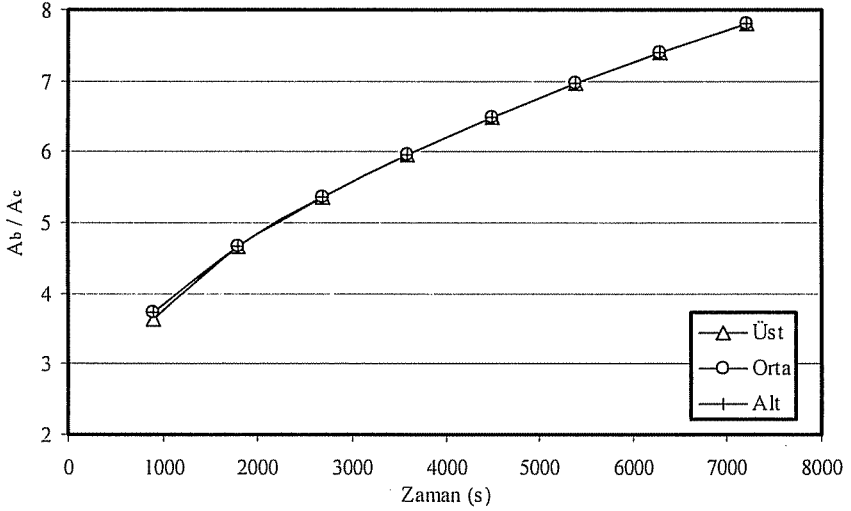


Şekil 6. Silindirin tankın orta bölgesinde yerleştirilmesi durumu için sıcaklık dağılımları
a) $T_1 = 273$ K, b) $T_1 = 277$ K

Şekil 8’de su sıcaklığının 273 K olması durumunda farklı silindir yerleşimleri için katılaşma oranlarının zamanla değişimi gösterilmiştir. Sıcaklık dağılımlarından da görüldüğü gibi üç farklı silindir pozisyonu için tank içerisinde hiçbir sıcaklık katmanlaşması meydana gelmemiştir. Bunun sonucu olarak tüm silindir pozisyonlarında katılaşma oranlarının tüm zamanlar için birbiri ile hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Depo içerisindeki su sıcaklığının faz değişim sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta olması, silindir pozisyonunu önemsiz kılmaktadır.

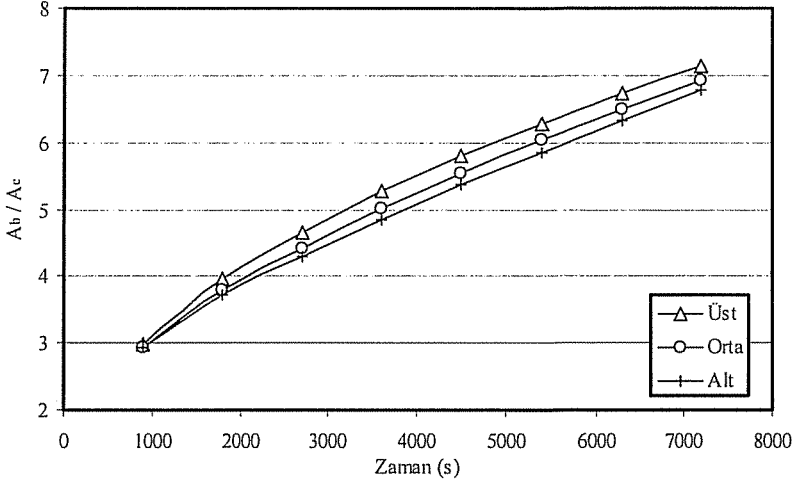


Şekil 7. Silindirin tankın alt bölgesine yerleştirilmesi durumu için sıcaklık dağılımları
 a) $T_i = 273 K$, b) $T_i = 277 K$



Şekil 8. Su sıcaklığının 273 K olması durumunda silindir konumunun buz oluşumuna etkisi.

Şekil 9'da su sıcaklığının 277 K olması durumunda farklı silindir yerleşimleri için katılaşma oranlarının zamanla değişimi gösterilmiştir. İlk 900. saniyede buz oluşumları tüm silindir pozisyonları için hemen hemen aynı iken, 1800. saniye sonunda aralarında belirgin bir fark oluşmakta ve diğer zaman dilimlerinde bu fark artmaktadır. Başlangıç zamanı dışında, silindirin tankın üst bölgesine yerleştirilmesi durumu için katılaşma oranının diğer silindir pozisyonlarına göre daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Su sıcaklığının 277 K olması durumunda silindir konumunun buz oluşumuna etkisi

4. SONUÇ

Bu çalışmada, içerisinde 273 K ve 277 K sıcaklıkta su bulunan dikdörtgenel bir soğu depolama tankına farklı pozisyonlarda yerleştirilen silindir için sıcaklık dağılımları ve katılaşma oranları elde edilmiştir. Sonuçlardan, su sıcaklığının 273 K olması durumu için silindir pozisyonunun buz oluşumuna bir etkisi olmadığı görülmektedir. Su sıcaklığının 277 K olması durumunda ise, silindirin tankın üst bölgesine yerleştirilmesi ile en fazla katılaşma oranlarının elde edildiği görülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Fertelli, A., Büyükalaca, O., "Soğu depolamalı iklimlendirme sistemleri", *Soğutma Dünyası*, Sayı: 24, Sayfa: 29-35, 2004.
2. Sasaguchi, K., Kusano, K., Viskanta, R., "A numerical analysis of solid-liquid phase change heat transfer around a single and two horizontal vertically spaced cylinders in a rectangular cavity", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 40, No. 6, pp. 1343-1354, 1997.
3. Lacroix, M., "Numerical simulation of melting and resolidification of a phase change material around two cylindrical heat exchangers", *Numerical Heat Transfer, Part A*, Vol. 24, pp. 143-160, 1993.
4. Shih, Y., Chou, H., "Numerical study of solidification around staggered cylinder in a fixed space", *Numerical Heat Transfer, Part A*, Vol. 48, pp. 239-260, 2005.

5. Sasaguchi, K., Kuwabara, K., Kusano, K., Kitagawa, H., "Transient cooling of water around a cylinder in a rectangular cavity a numerical analysis of the effect of the position of the cylinder", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol 41, (1998), pp. 3149–3156.

ETİL VE METİL ALKOLÜN BİR BENZİNLİ MOTORDA ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANIMININ MOTOR TİTREŞİMİNE OLAN ETKİSİNİN FREKANS ANALİZİ YÖNETİMİ İLE ARAŞTIRILMASI

Deniz ÜSTÜN ve Serhan YAMAÇLI

Me.Ü., Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Tarsus-Mersin / Türkiye

Ali KESKİN

Me.Ü., Makine Eğitimi Bölümü, Tarsus-Mersin / Türkiye

Mustafa ÖZCANLI

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

Özden BAŞTÜRK

Me.Ü., Temel Bilimler Bölümü Yenişehir-Mersin / Türkiye

ÖZET : Yapılan deneysel çalışmada, etil ve metil alkolün bir benzinli motor üzerindeki titreşime olan etkisi frekans analiz yöntemi (FFT) ile araştırılmıştır. Bu amaçla elektronik bir analiz sistemi tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu sistem de kullanılan sensörler ile motordan alınan mekanik titreşimler, elektriksel işaretlere dönüştürülmüş ve bilgisayar üzerinde hazırlanan programda incelenmiştir. Etil ve metil alkol ile yapılan testler sonucunda elde edilen ivme-zaman ve ivme-frekans (FFT) grafikleri benzin ile elde edilen grafiklerle karşılaştırılmıştır. Etil ve metil alkol ile ölçülen titreşim değerleri, benzine ait titreşim değerlerinden daha düşük çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Titreşim analizi, FFT, Benzin Motoru, Yakıtlar.

THE INVESTIGATION OF ENGINE VIBRATION OF USING ETHYL AND METHYL ALCOHOL AS AN ALTERNATIVE FUEL IN A GASOLINE ENGINE BY FREQUENCY ANALYSIS MANAGEMENT

ABSTRACT : In this experimental study, the vibration, caused from the gasoline engine operated using ethyl alcohol, methyl alcohol and gasoline, is analyzed utilizing the frequency analysis method (FFT). For this aim, an electronical analysis system is designed and implemented. The mechanical vibrations of the engine is firstly converted to electrical signals and then analyzed on the PC with the designed vibration analysis software. The results of the vibration analyses of both types of alcohols are compared to that of the gasoline using acceleration-time and acceleration-frequency manners. The vibration results of ethyl and methyl alcohol are determined less than to that of vibration results by gasoline tests.

Keywords: Vibration analysis, FFT, Gasoline Engine, Fuels.

* Bu çalışma Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na, BAP-TTEF (ÖB) 2005-1 kodlu "Yarıiletken İvmeölçer Kullanarak Titreşim Analizörü Gerçekleştirilmesi ve Takım Tezgahlarında Arıza Tanımadada Kullanılması" isimli proje çerçevesinde desteklenmektedir.

1. GİRİŞ

Son zamanlarda fosil kökenli enerji kaynaklarının fiyatlarında meydana gelen yüksek orandaki artışlar ve çevreye verdikleri zararlar nedeniyle alternatif enerji kaynakları alanındaki çalışmalar yoğunlaşmıştır (1). Bugün üzerinde çalışmalar yapılan alternatif enerji kaynaklardan önemli olanları hidrojen, biyodizel, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji ve alkollerdir (2). Bu enerji çeşitlerinden etil ve metil alkoller en fazla gündemde olanlardır. Etil alkol, içerisinde etil alkol bulunan, şeker, şekeri çevrilebilen selüloz veya nişasta gibi maddelerin fermantasyonu sonucu elde edilir. Metil alkol ise odun, kömür gibi maddelerin ısı altında damıtılmaları yolu ile, doğal gazla birtakım distilasyon işlemleri uygulanarak veya CO ve H₂'nin katalitik ortamda sentezleri sonucunda elde edilir (3).

Bu yakıtların fosil kökenli yakıtlara göre, oktan sayılarının daha yüksek olması, donma noktalarının düşük olması, moleküler yapılarında yüksek oranda oksijen ve düşük karbon içermeleri önemli avantajlarıdır. Bununla birlikte alkollerin su ile her oranda karışmaları ve ısı değerlerinin düşük olması en önemli dezavantajlarıdır (4). Alkoller ile yapılan çalışmalarda NO_x, CO ve HC emisyonlarında büyük oranlarda azalmalar sağlanmıştır (5,6).

Yapılan bu çalışmada, etil ve metil alkolün dört zamanlı bir benzinli motor üzerindeki titreşime olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, motor titreşimlerinin PC'ye aktarılarak analiz edilmesine yönelik elektronik bir titreşim analizi sistemi tasarlanmış ve üretilmiştir. Üretilen titreşim analizi sisteminde, ivme sensörü olarak, yüksek hassasiyetli Mikro Elektro Mekanik Sensör (Micro Electro Mechanical Sensor-MEMS) kullanılmıştır. Geliştirilen sistem ile PC ortamına aktarılan titreşim verisi üzerinde değişik matematiksel analizler yapılarak, dört silindirli, karbüratörlü, bir benzinli motorun rölanti halindeki devrinde %100 etil alkol, metil alkol ve benzinle çalıştırılması durumunda motor bloğu üzerinde oluşan titreşimler analiz edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Yüksek hassasiyetli ivme analizi sistemi tasarımı

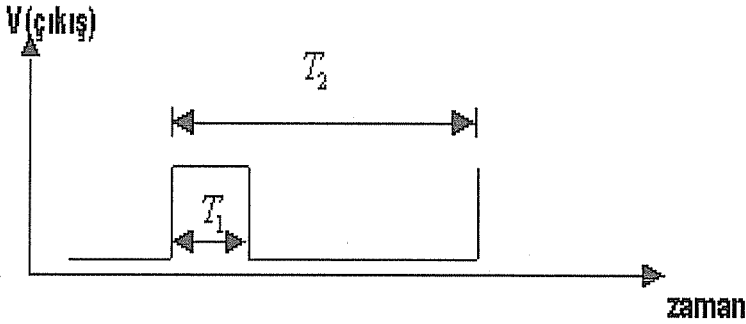
Motor titreşiminin PC ortamına aktarılması ve analiz edilmesi için, bu çalışma kapsamında, bir ivme analizi sistemi tasarlanmış ve üretilmiştir. Sistemin blok diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir. İvme ölçer kartında, Analog cihazın ADXL202 entegre devresi ve bu elemanın PC'ye veri göndermesi için gereken elektronik elemanlar kullanılmıştır. ADXL202 entegre devresi 130 nm kanal boylu proses kullanılarak üretilen ve $\pm 19.2\text{m/s}^2$ aralığındaki statik ve dinamik ivmeleri sayısal elektrik işaretlerine dönüştüren Mikro Elektro Mekanik Sistemli (MEMS) bir entegre devredir (7). ADXL202'nin çıkışı olan tipik bir darbe genişliği modülasyonlu (PWM) işaret Şekil 2'de gösterilmektedir. T₂, ADXL202'nin çıkış periyodunu göstermekte ve elemanın iki numaralı bacağına bizim tarafımızdan dışarıdan bağlı sabit bir direnç ile

$$T_2 = \frac{R_{SET}}{125M\Omega} \quad (1)$$

bağıntısına göre ayarlanabilmektedir. T_1 süresi ise, ADXL202'nin maruz kaldığı ivme ile doğru orantılı olarak değişen darbe süresini ifade etmektedir. ADXL202, 2 eksenli bir sensör olduğundan, x ve y eksenli iki farklı ivme aynı anda ölçülebilmektedir. x yönündeki ivme x_{out} ve y yönündeki ivme ise y_{out} çıkışlarından alınmaktadır.



Şekil 1. Tasarlanan ivme ölçer sisteminin blok diyagramı

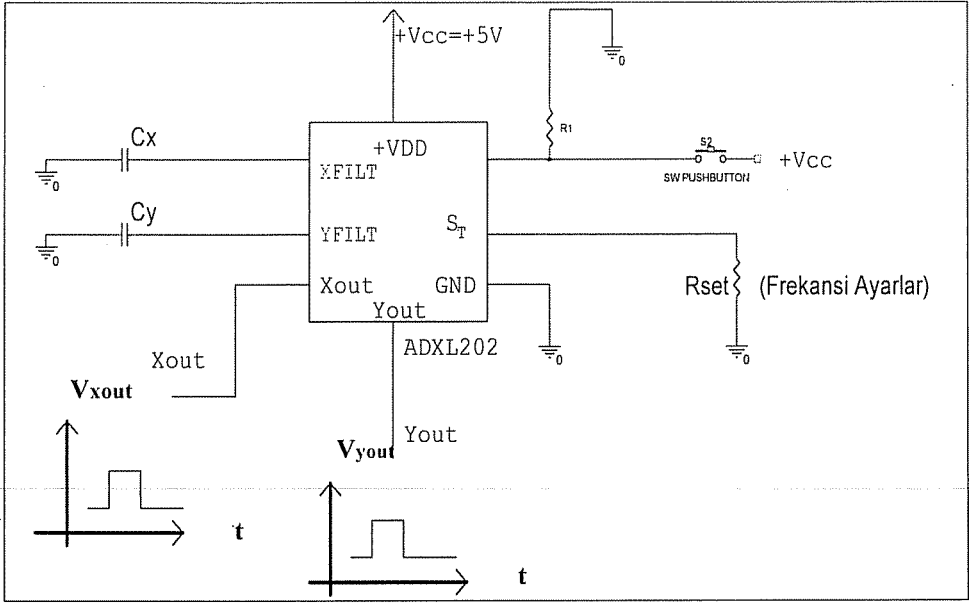


Şekil 2. Tipik ADXL202 çıkış işareti

İvme sensörünün bant genişliği de yine, sensörün uçlarına bağlanan pasif devre elemanlarıyla ayarlanabilmektedir. Şekil 3'de görüldüğü gibi, ADXL202'nin XFILT ve YFILT uçlarına bağlanan C_x ve C_y kondansatör değerlerine göre ivme ölçerin bant genişliği ,

$$f_{-3dB} = \frac{5\mu F}{C_{x,y}} \quad (2)$$

ifadesiyle belirlenmektedir.



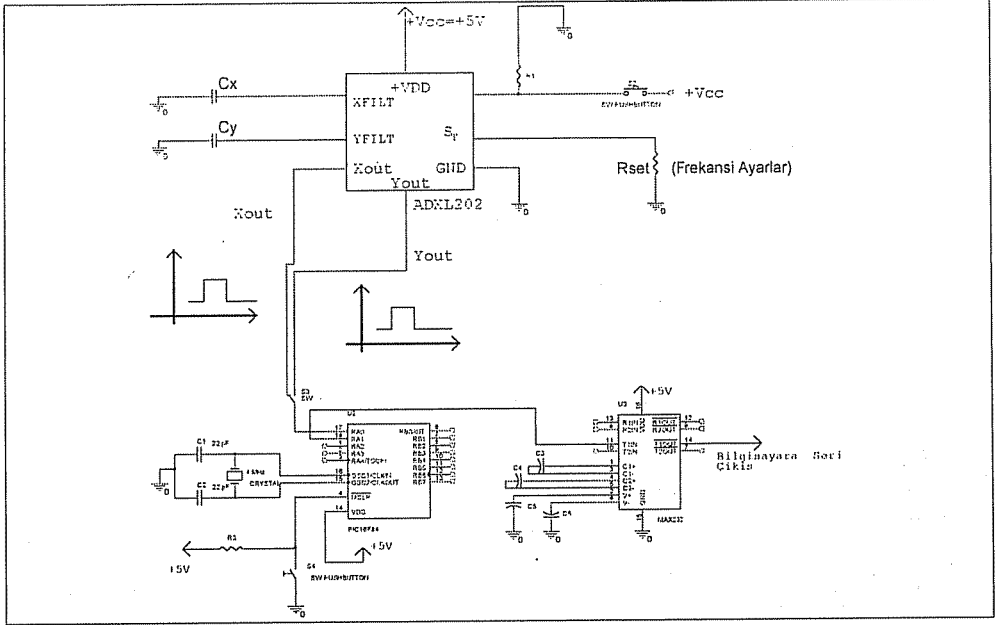
Şekil 3. İvme ölçerin kullanımı

Şekil 4’de, ivme sensörünün çıkışının, PC’ye aktarılması için tasarlanmış olan devrenin şeması görülmektedir. Devrede bir adet ADXL202 ivme ölçer entegresi, bir adet 16F84 PIC mikrokontrolör ve bir adet MAX232 seviye çevirici entegresi kullanılmıştır. Devrede düşük maliyet sağlamak için basit PIC mikrokontrolörü kullanılmıştır. Ancak daha hassas ölçümler yapmak için daha gelişmiş X86 türevi işlemciler de kullanılabilir. Mikrokontrolör, 4MHz saat frekansında çalıştırılmaktadır. C_1 ve C_2 kondansatörleri, saat frekansının kaymasını önlemektedir. ADXL202 ivmeölçerinden alınan PWM işaret, mikrokontrolör vasıtasıyla seri bilgiye dönüştürülerek RS-232 standardında PC’ye asenkron olarak gönderilmektedir. MAX232 kısmı ise sadece mikrokontrolör çıkışında bulunan TTL seviyelerinden, RS-232 seviyeleri arasında dönüşüm yapmaktadır.

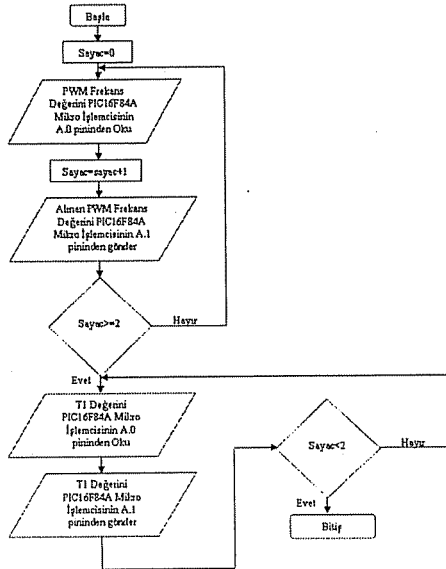
İvme ölçer ile PC arasındaki haberleşme, asenkron modda 19.200 kb/s, 8 veri biti, 0 eşlik biti ve 1 stop biti (8N1) olarak gerçekleştirilmektedir. Bu işlemlerin hepsi PIC mikro denetleyicisi tarafından yapılmaktadır. PIC mikro denetleyicisine yüklenen programın akış diyagramı Şekil 4’de görülmektedir.

PC’ye ivme ölçerden gelen bilgi, öncelikle veri tabanına (MS Access uygulaması) aktarmaktadır. Veri kaybının olmaması için, veri tabanı kullanımı tercih edilmiştir. Daha sonra, spektral analizi gerçekleştirecek olan uygulama yazılımlarınca bu ivme verisi veritabanından çekilmektedir (7-10).

ETİL VE METİL ALKOLÜN BİR BENZİNLİ MOTORDA ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANIMININ MOTOR TİTREŞİMİNE OLAN ETKİSİNİN FREKANS ANALİZİ YÖNETİMİ İLE ARAŞTIRILMASI



Şekil 4. Tasarlanan devrenin bir bütün olarak görünümü

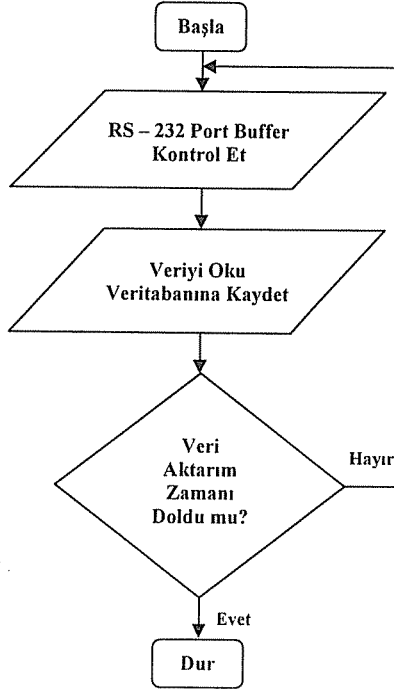


Şekil 5. Mikro kontrolöre yüklenen programın işaret-akış diyagramı



Şekil 6. Geliştirilen programa ait arayüz

Şekil 6'da arayüzü verilen Titreşim Algılama Programı, Visual Studio 6.0 platformunun üzerinde bulunan Visual Basic 6.0 program geliştirme arayüzü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen program, kullanılan MS Comm bileşeni sayesinde RS-232 haberleşme portu üzerinden ivmeölçer kartı ile haberleşmektedir. Veriler, Data bileşeni kullanılarak güvenli ve kayıpsız bir şekilde veri tabanı yönetim sistemindeki tablolara aktarılmaktadır. Şekil 7'de programa ait akış diyagramı verilmiştir (11-15).



Şekil 7. Titreşim algılama programı akış diyagramı

*ETİL VE METİL ALKOLÜN BİR BENZİNLİ MOTORDA ALTERNATİF YAKIT OLARAK
KULLANIMININ MOTOR TİTREŞİMİNE OLAN ETKİSİNİN
FREKANS ANALİZİ YÖNETİMİ İLE ARAŞTIRILMASI*

Veritabanına kaydedilmiş olan ivme verisi daha sonra, MATLAB ortamına aktarılmaktadır. MATLAB ortamında, ivme verisinin ivme-zaman ve ivme-frekans grafikleri çizilmektedir. Bu grafikler sayesinde, ivme sensörünün algıladığı ivme bilgisinin içerdiği frekans bileşenleri, dolayısıyla titreşimin ana bileşeninin hangi frekansta oluştuğu belirlenebilmektedir.

2.2. Deney Yakıtlarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Deneyde kullanılan benzin, etil ve metil alkollerin fiziksel ve kimyasal yakıt özellikleri Çizelge-1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Etil alkol, metil alkol ve benzinin fiziksel ve kimyasal özellikleri

	Etil Alkol	Metil Alkol	Benzin
Kimyasal Formülü	C ₂ H ₅ OH	C ₂ H ₅ OH	~ C ₈ H ₁₈
C/H Oranı	0,33	0,25	~ 0,553
Safılık (%)	0,99	0,99	-
Yoğunluk (gr/cm)	0.789	0,798	0,
Isıl değer (kJ/kg)	26 265	20 154	43 212
Oktan Sayısı	105	110	95
Kaynama Noktası (°C)	78,6	65,3	-
Donma Noktası (°C)	-97,6	-114,1	-55
Moleküler Ağırlık (°C)	46,07	32,04	~ 91,4

2.3. Motor Testi

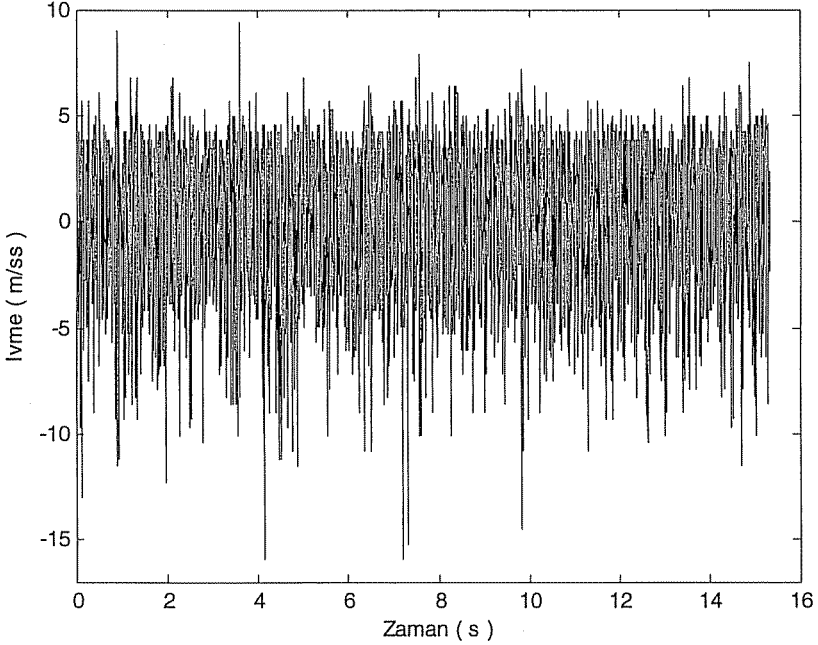
Titreşim testleri motorun normal çalışma sıcaklığına ulaşmasından sonra rölanti devirinde yüksüz çalışma koşullarında gerçekleştirilmiştir. Motorun titreşim değerleri motor bloğu üzerinde belirlenen bir noktadan alınmıştır. Testlerde deney motoru olarak teknik özellikleri Çizelge-2’de verilen Ford Sierra 2.0 GLE marka benzinli motor kullanılmıştır.

Çizelge 2. Ford Sierra 2.0 GLE teknik özellikleri

Model	Ford Sierra 2.0 GLE
Silindir Sayısı	4
Silindir çapı (mm)	90,80
Strok (mm)	76,95
Silindir Hacmi (cm³)	1993
Sıkıştırma Oranı	9:1
Maksimum Güç (kW)	78,3
Maksimum Tork (Nm)	157
Yakıt Sistemi	Karbüratör
Soğutma Şekli	Su

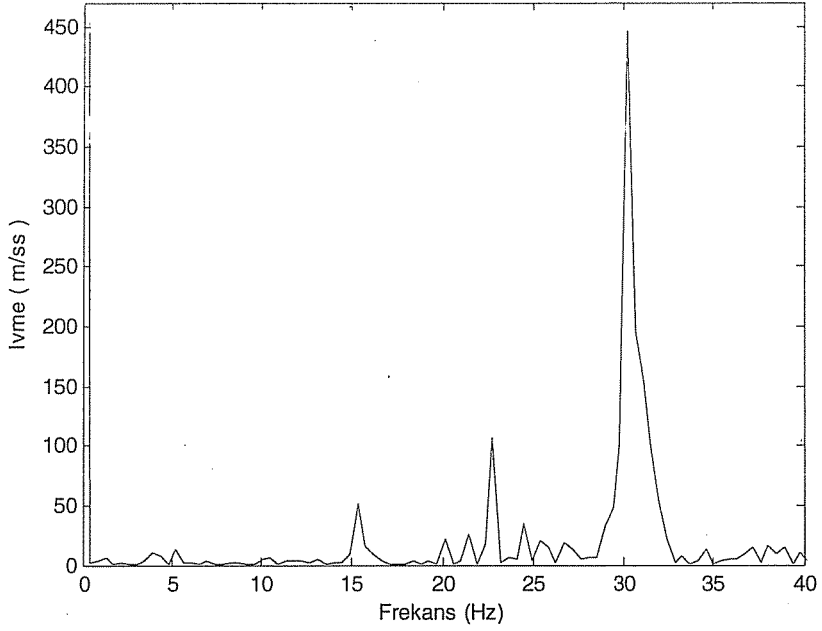
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İvme ölçer sistemi vasıtasıyla PC ortamına aktarılan ivme değerlerinin, zamana bağlı olarak değişimleri, benzin, metil alkol ve etil alkolle için sırasıyla Şekil 8, Şekil 10 ve Şekil 12'de gösterilmiştir. Ancak, söz konusu ivme-zaman grafiklerinden de görüldüğü gibi ivmenin içerisindeki harmoniklerin hangi frekanslarda baskın olduğu bu şekillerden tespit edilememektedir. Bu yüzden motorun benzin, metil alkol ve etil alkolle çalıştırılması sonucunda oluşan titreşimlerin hangi frekanslarda bileşenler içerdiğini belirleyebilmek için ivme verilerinin MATLAB ortamında 512 – noktalı Fourier dönüşümü (FFT'si) alınarak söz konusu yakıtları ivme-frekans değerleri elde edilmiştir (8-13). Elde edilen ivme – frekans değerleri benzin, etil alkol ve metil alkol için sırasıyla Şekil 9, Şekil 11 ve Şekil 13'te gösterilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi, benzinle yapılan testlerde ölçülen titreşim değerlerinin etil alkol ve metil alkol titreşim değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Benzin ile yapılan testlerde ölçülen maksimum titreşim değerine göre etil alkolün titreşim değeri %30.34, metil alkolün titreşim değerinin %29.21 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

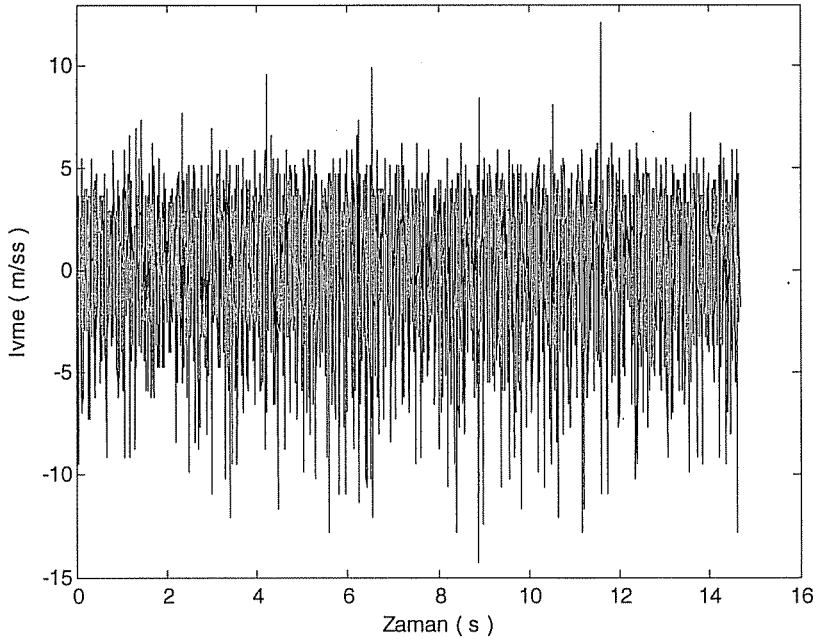


Şekil 8. Motorun benzinle çalıştırılması durumunda titreşimin zamanla değişimi

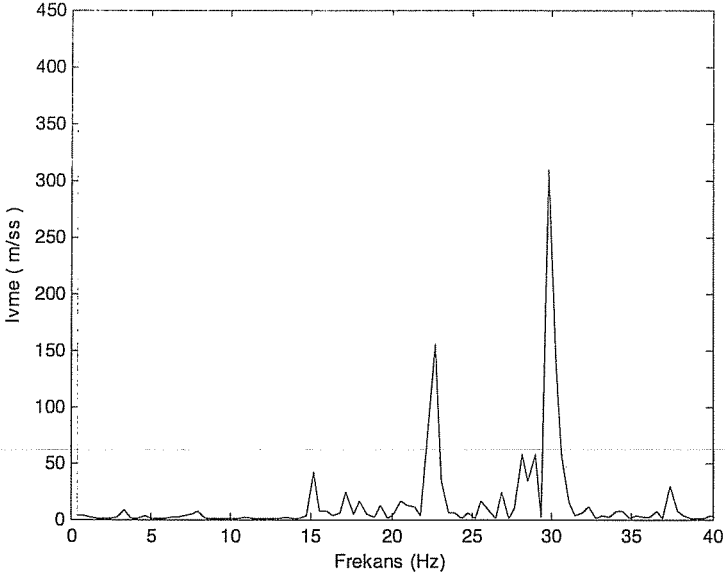
ETİL VE METİL ALKOLÜN BİR BENZİNLİ MOTORDA ALTERNATİF YAKIT OLARAK
KULLANIMININ MOTOR TİTREŞİMİNE OLAN ETKİSİNİN
FREKANS ANALİZİ YÖNETİMİ İLE ARAŞTIRILMASI



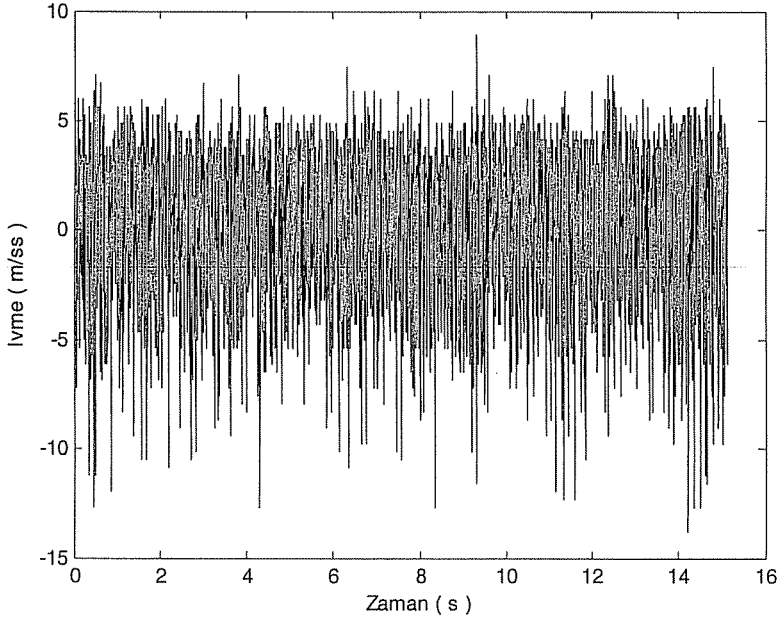
Şekil 9. Motorun benzinle çalıştırılması durumunda oluşan titreşim frekans bileşenleri



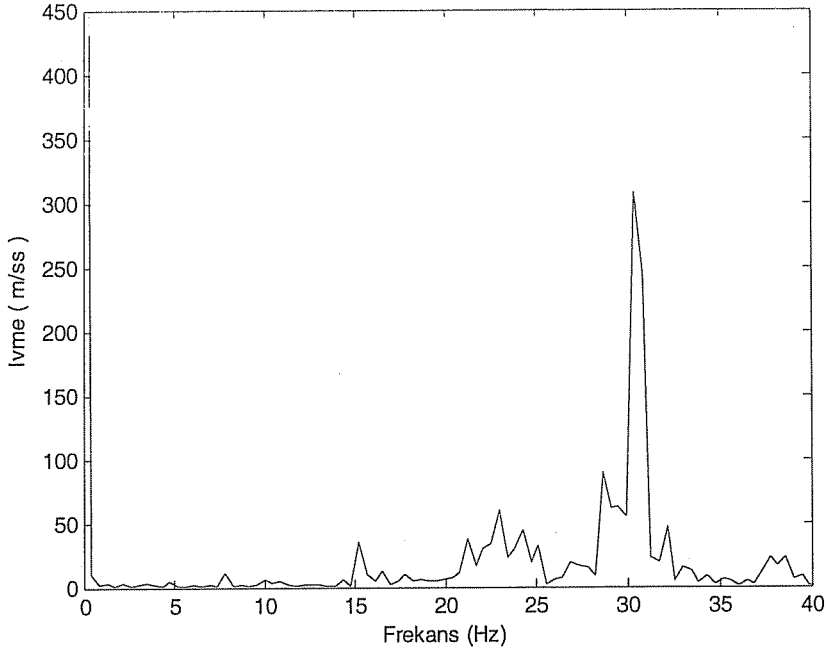
Şekil 10. Motorun etil alkolle çalıştırılması durumunda titreşimin zamanla değişimi



Şekil 11. Motorun etil alkolle çalıştırılması durumunda oluşan titreşim frekans bileşenleri



Şekil 12. Motorun metil alkolle çalıştırılması durumunda titreşimin zamanla değişimi



Şekil 13. Motorun metil alkolle çalıştırılması durumunda oluşan titreşim frekans bileşenleri

Titreşimin frekans bileşenleri açısından bakıldığında metil alkolle yapılan testlerde oluşan titreşim bileşenleri ağırlıklı olarak 30Hz civarında toplanmışken, etil alkol ve benzinle yapılan testlerde elde edilen titreşim frekanslarının 30Hz ile beraber 22.5Hz ve 15Hz’lerde yüksek genliklere ulaştığı görülmektedir. Ayrıca benzin ve etil alkolün titreşim frekans bileşenleri paralellik göstermiştir.

Metil ve etil alkol ölçülen titreşim değerlerinin benzin ile ölçülen değerlere göre daha düşük ölçülmesinde iki nedenin etkili olduğu düşünülmektedir. Bunlardan birincisi, metil ve etil alkolün benzine göre daha yüksek oktan sayılarına ve daha yüksek buharlaşma ısılarına sahip olmaları, bu yakıtların benzinli motorlarda yanma esnasında oluşan ve titreşimin en önemli nedenlerinden bir tanesi olan vuruntuya karşı dayanımlarını arttırmaktadır. İkincisi ise etil ve metil alkolün moleküler yapılarında yüksek oranda oksijen içermeleri motorda yanma prosesinin iyileşmesine ve dolayısıyla titreşimin azalmasına neden olmaktadır.

4. SONUÇLAR

Tasarlanan ivme analizi sistemi, motor titreşimlerini kararlı bir şekilde PC ortamına aktarmıştır. Etil alkol ve metil alkol ile ölçülen titreşim değerleri benzin ile elde edilen titreşim değerlerine göre önemli ölçüde azalmalar göstermiştir. Etil alkol ve metil alkolün ölçülen maksimum değerlerinde sırasıyla %30,34 ve %29,21 oranında azalmış

olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca frekans bileşenleri açısından değerlendirildiğinde benzin ile etil alkolün titreşim frekansları birbirine paralellik göstermiştir.

Düşük titreşim değerlerinin ölçülmesinde etil alkol ve metil alkolün üstün yakıt özellikleri ve moleküler yapılarında yüksek oranda oksijen bulunması etkili olmuştur.

6. REFERANSLAR

1. Altıparmak,D., Keskin,A., Koca,A., Gürü,M., "Alternative Fuel Properties of Tall Oil Fatty Acid Methyl Ester–Diesel Fuel Blends", *Bioresource Technology*, Vol. 95 No. 2 pp. 241-246, 2007.
2. Weiss,C., "Ethyl Alcohol as a Motor Fuel in Brazil a Case Study in Industrial Policy", Vol. 12 No.3 pp. 255-282, 1990.
3. Acaroğlu,A., "Alternatif Enerji Kaynakları", Atlas yayın dağıtım, İstanbul, 2003.
4. Yücesu,H.S., Topgül,T., Çınar,C., Okur,M., "Effect of Ethanol-Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in Different Compression Ratios", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 26 pp. 2272-2278, 2006.
5. Abdul-Resul,M., Al-Baghdadi,S., "A Study on The Hydrogen-Ethyl Alcohol Dual Fuel Spark Ignition Engine", Vol. 43 pp. 199-204, 2001.
6. Abdul-Resul,M., Al-Baghdadi,S., "Performance Study of a Four-Stroke Spark Ignition Engine Working With Both of Hydrogen and Ethyl Alcohol As Supplementary Fuel", Vol. 25 pp. 1005-1009, 2000.
7. ADXL202 Accelerometer Datasheet Rev_A, Analog Devices,2004.
8. Cohen,L., "Time Frequency Analysis", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1994.
9. Proakis,J., "A Course in Digital Signal Processing", Wiley, 1997.
10. Proakis,J., Manoloakis,D., "Digital Signal Processing: Principles, Algorithms and Applications (3rd Edition)", Prentics-Hall, 1995.
11. Weinberg,P., Groff J., "SQL", Alfa Yayınevi, 2004.
12. Uysal,M., "Microsoft Visual Basic 5.0 ile yazılım geliştirme", Beta Yayınları, 1997.
13. Çelikkol S, "Programlamaya Giriş Ve Algoritmalar",Dilara Yayınevi., 2003.
14. Kurnaz,S., "Veri Yapıları ve Algoritma Temelleri", Papatya, 2004.
15. Yanık,M., "Microsoft Visual Basic ile Veri Tabanı Programcılığı", Beta Yayınevi, 1998.

ADANA'DA, 1930'LARDAN GÜNÜMÜZE, SOSYAL, KÜLTÜREL VE EKONOMİK DEĞİŞİMLER BAĞLAMINDA KONUT MİMARİSİNİN GELİŞİMİ

Onur ERMAN, Figen KARAMAN ve Duygu SABAN

Ç.Ü., Mimarlık Bölümü, Adana/Türkiye

İpek DURUKAN

ME.Ü., Mimarlık Bölümü, Mersin/Türkiye

ÖZET : *Adana'nın kentsel dokusu, kentin zengin tarihini, kültürel çeşitliliğini, sıcak ve nemli iklimi ile yöresel özelliklerini yansıtan mimarlık ürünleriyle, kendine özgü bir yapı sergiler. Kentin fiziksel yapısında, Cumhuriyet Döneminde, özellikle 1930'lardan, 1980'lere kadar uzanan dönemde, kentin ilk imar planı doğrultusunda gelişen bölgelerinde inşa edilen ve büyük bölümünü konutların oluşturduğu nitelikli modern mimarlık ürünleri ayrı bir yer tutar. Bu yapılar genel anlamda genç Türkiye Cumhuriyetindeki yapılanma sürecinin ve 19. yüzyıl sonlarından 20. yüzyıl ortalarına kadar gerçekleşen ve büyük ölçüde tarımda makineleşme ve sanayileşme ile ortaya çıkan ekonomik değişimlerin sonuçlarının fiziksel çevreye yansımalarıdır. Ancak, 1980'lerden sonra, arazi değerlerinde yaşanan artış nedeniyle, bu nitelikli mimarlık ürünlerinin yerlerini, yüksek katlı yapılara bırakmaya başladığı görülmüştür. Bu çalışma ile özellikle nitelikleri hala okunabilen 1930-1980 dönemi Adana konut mimarisinin ve sonrasındaki değişimlerin irdelenmesi hedeflenmiştir.*

THE DEVELOPMENT OF RESIDENTIAL ARCHITECTURE IN ADANA IN RELATION TO SOCIAL, CULTURAL AND ECONOMICAL CHANGES, FROM THE 1930S UNTIL TODAY

ABSTRACT : *The city of Adana presents a unique urban fabric comprising architectural entities that reflect Adana's rich history, cultural diversity, hot and humid climate and local character. In particular, modern residential buildings erected between 1930s and 1980s in the newly developed parts of the city constitute an important place in the formation of the city's architectural character. These buildings are mainly the results of the developments, which followed the establishment of Turkish Republic and the economic prosperity that the city experienced in relation to agricultural mechanization and industrialization, between the end of the 19th century and mid 20th century. However these high quality architectural products started to be replaced with higher buildings due to land speculation which is experienced after the 1980s. With this study, it is aimed to define the architectural qualities in residential architecture in Adana in the 1930-1980s period, along with the changes that occurred subsequently.*

1. GİRİŞ

Seyhan Nehri üzerinde kurulmuş olan Adana, Anadolu Yarımadasını boydan boya geçerek Gülek Boğazı üzerinden Çukurova'ya inen önemli tarihsel yol üzerinde, çok eski çağlardan itibaren önemli bir konaklama yeri olmuştur. Kentin Osmanlıların egemenliği altında, Ramazanoğulları Beyliği yönetiminde yapılandığı 16. yüzyıl, fiziksel yapının biçimlenişinde ilk önemli evreyi oluşturur. Bu dönemde önemli bir yerleşim konumuna gelen kentte, ticari merkez de Ramazanoğulları'nın inşa ettirdiği ticari ve kamusal vakıf eserlerinin yarattığı etki ile gelişmiştir. Adana 17. ve 18. yüzyıllarda zayıflayan Osmanlı yönetimi ve yoğunlaşan aşiret ayaklanmaları sonucu bir gerileme yaşamıştır. Ancak 19. yüzyılda İngiltere'nin, Amerikan iç savaşından ötürü, Osmanlı topraklarında pamuk ekimine yönelmesi ve hükümetin pamuk ekimini özendirilmesi ile Çukurova bu alanda öne çıkmaya başlamış, Adana ve çevresinde pamuk ekimi artmıştır. Artan üretim sonucunda Adana'da 1864'te Fransızlar ve 1865'te de İngilizler tarafından ilk pamuk işleme fabrikaları açılmıştır. 1867'de il merkezi olduktan sonra yeniden yapılanmaya başlayan kentte, yüzyılın sonlarından itibaren tarımda makineleşme ve sanayileşmeye bağlı değişimlerle ekonomi canlanmıştır. Yüzyılın sonlarında artık tarımda makineleşme ve çağdaş yöntemlerin kullanımı anlamında Çukurova, İmparatorluğun önde gelen bölgelerinden olmuştur [1]. Adana-Mersin Demiryolunun, Berlin-Bağdat Demiryoluna eklenmesiyle doğuya doğru oluşturulan yeni demiryolu hattı da, kentin 20. yüzyılın başlarındaki gelişimine katkıda bulunmuştur.

Kentte batılı güçlerin gerçekleştirdiği altyapı, ulaşım ve sanayi yatırımları ile dışa bağımlı olarak kazanılan ekonomik gücün sonuçlarının fiziksel çevreye yansıdığı dönem, aynı zamanda genç Türkiye Cumhuriyeti'nin yapılanma süreci ile de örtüşmüştür. 1940'ların ortalarına kadar devam eden bu süreçte devletçi ekonomi hakim olmuş, dış güçlere tepki olarak öz kaynaklarımıza dayalı bir gelişme öngörülmüş ve yabancı şirketlerin elindeki imtiyazlar millileştirilmeye çalışılmıştır. Ancak II. Dünya Savaşının ardından yaşanan ekonomik durgunluk sürecinde devletçilik politikası zayıflamış ve özellikle 1946-1960 yılları arasında, sanayileşme tümü ile özel girişimcilere bırakılmıştır [2]. Bu dönemde Adana ekonomisinin tarıma dayalı yapısında yeni açılımlar ortaya çıkmış, tarımsal üretim ve ticarettten sağlanan sermayenin, özellikle kentin köklü aileleri eliyle sanayi yatırımlarına aktarılmasıyla Adana, Türkiye'nin ilk sanayileşen kentlerinden biri olmuştur. Bunun yanı sıra, yurt genelinde hızlı nüfus artışı, tarımda makineleşme ve karayollarının iyileştirilmesi gibi gelişmelerin eş zamanlı yaşanması, kırsal bölgelerde geçimini sağlayamayan nüfusun hareketliliğini artırarak göç olgusunu ortaya çıkarmış ve Adana benzeri büyük kentler yoğun biçimde göç almaya başlamıştır. Adana, daha çok güney doğudaki illerden göç almış ve 1935'te 76.473 olan kent nüfusu, 1960 yılında 231.548'e çıkmıştır. 1960 sonrasındaki planlı kalkınma sürecinde bölgede önemli sanayi, alt yapı ve hizmet yatırımlarının gerçekleştirilmesi [3] de kentteki nüfus artışını hızlandırmıştır. Sosyal yapının kozmopolitleşmeye başladığı bu yıllarda kentin ekonomisinde büyük ölçekli doküma fabrikaları ile aile şirketleri etkili olmuş, 1970'lerde ise sanayi üretimi çeşitlenmiş, anonim şirketler, holdingler ve bankalar hızla büyümüştür [4]. Genel anlamda 1930'lardan 1980'lere kadar olan dönemi kapsayan bu süreç, Adana kentinin kentsel ve mimari gelişiminde ikinci önemli evreyi oluşturur.

Adana, 1950'li yıllara kadar, Seyhan Nehri'nin batı yakasında, Hermann Jansen tarafından 1937'de hazırlanan ve 1940'ta revize edilen ilk imar planı çerçevesinde, yoğun bir yapıda büyümüştür. Bu plana uygun biçimde tarihi merkezin kuzeyinde imara açılan bölgelerde üst ekonomik sınıf tarafından tercih edilen konut alanları oluşmuş ve nitelikli modern mimarlık ürünleri ortaya çıkmıştır. Ancak 1950'lerden itibaren, göçle birlikte artan nüfusa paralel olarak, kent, plansız biçimde büyümeye başlamış ve merkezün güneyi ve batısı ile nehrin doğu yakasında yer alan verimli tarım arazileri yoğun biçimde yapılaşmıştır.

1980 sonrası dönemde ise Adana'nın gelişimi kuzeydeki tarıma elverişli olmayan, zemin emniyeti yüksek kıraç alanlara kaydırılmıştır. Tek merkezli olarak büyümeye devam eden kentte, kuzeydeki bu yeni konut alanları, özellikle 1990 sonrasında hızlı biçimde yapılaşmıştır. Buna karşın bu alanlarda kentsel yaşam kalitesi, altyapı ve ulaşım hizmetleri ile sosyal, kültürel donanım yetersiz kalmıştır. Bu dönemde konut üretiminde daha çok rant kaygısı öne çıkmış ve nitelikli konut tasarımları tekil denemeler ölçeğinde kalmıştır. Bu süreçte, kentin merkezindeki tarihi konut alanları ise bakımsız kalmış ve göçle gelen insanların ucuz iskan imkanı ve merkeze yakınlık gibi unsurlar nedeniyle tercih ettikleri yerleşim alanlarına dönüşmüştür.

2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

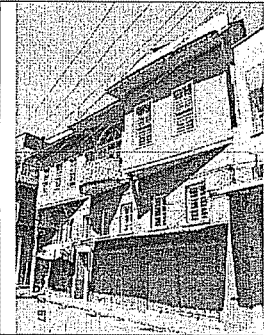
1930 sonrasında yurt genelinde ve bunun paralelinde Adana'da görülen değişim ve bunun kentin fiziksel yapısına yansımaları göz önüne alındığında, Cumhuriyet Devrinin kentin mimari karakterinin gelişiminde önem taşıdığı ve kapsamlı bir biçimde incelenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Adana'daki Cumhuriyet Dönemi yapıları arasında, gerek nitelik gerekse nicelik açısından önemli yer tutan konutların mimari gelişimi ayrıca incelenmeye değer bulunmuştur. Bu çerçevede; çalışmaya veri sağlamak amacı ile Mart 2006-Haziran 2007 döneminde, Adana konut mimarisinde ortaya çıkan değişimlerin saptanmasına yönelik, çok sayıda konutun belgelenmesine dayalı bir alan çalışması gerçekleştirilmiştir. Alan çalışmasının sınırları 1937 yılı Jansen Planı esas alınarak, doğuda Seyhan Nehri (Fuzuli, Seyhan ve Manısalı Ali Bey Caddeleri), kuzeyde demiryolu hattı (Mustafa Kemal Bulvarı), batıda Havaalanı (Barış Bulvarı), güneyde Bakımyurdu Caddesi, Karacaoğlan, Saydam, Debboy ve Ulus Caddeleri ile belirlenmiştir.

Bu alan çalışması sırasında incelenen tüm yapıların mimari özellikleri not edilmiş, yapılar dijital olarak fotoğraflanmış, içine girilebilen yapıların 1/100 ölçekli planları çıkarılmış, yeterli ölçü alınamayan örneklerde ise ölçeksiz krokiler elde edilmiştir. Yakın dönem konutlarına ait planlar ise doğrudan yapıyı tasarlayan mimarlar ya da inşasını gerçekleştiren müteahhitlik firmalarından elde edilmiştir. Belgelenen yapıların mimarları, kullanıcıları ve/veya mülk sahipleri ile de görüşmeler gerçekleştirilmiş ve bu konutların özellikleri farklı boyutları ile irdelenmiştir. Alan çalışması ile toplanan veriler, kapsamlı arşiv ve literatür çalışması sonucunda elde edilen bilgilerle de desteklenmiştir.

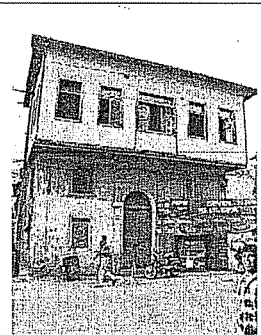
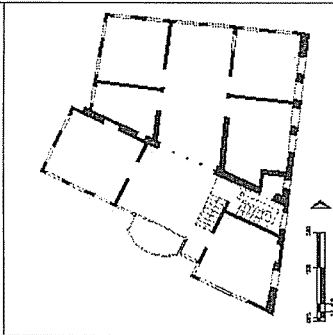
3. 20.YÜZYILIN İLK YARISINDA ADANA'DA KONUT MİMARİSİNİN GELİŞİMİ

Adana'da Tepebağ, Kayalıbağ, Sarıyakup, Beşocak, Alidede Ulucami, Karasoku mahallelerinin oluşturduğu geleneksel merkezin çevresinde 19. yüzyılın sonlarında Türkocağı, Mestanzade, Sucuzade, Kocavezir, Kuruköprü, Çınarlı, Hanedan, Hurmalı, İstiklal ve Döşeme mahalleleri gibi yeni konut alanları oluşmaya başlamıştır. Geleneksel merkez ve çevresindeki bu alanlar, kentin başlıca konut alanları olma niteliğini 1950'lerin sonlarına kadar sürdürmüştür [5]. Bu alanlarda inşa edilen konut yapılarının büyük çoğunluğu müstakil konut niteliği taşımaktadır. Apartman yapısı inşasının ise ancak 1950'lerin sonlarından itibaren, oldukça mütevazı uygulamalar ile ortaya çıkan bir gelişme olduğu görülmektedir.

1940'lara dek görülen tipik konut uygulamaları, geçmiş yüzyılın geleneksel karakterini devam ettiren, zemin katı tuğla kargir, ara kat ve üst katı ahşap karkas olarak inşa edilmiş olan 2-3 katlı konutlardır. Bazı örneklerin çatı katında, yazlık mekan olarak havadar ve manzaralı cihannüma da bulunmaktadır. Genellikle parselin bütününe kapsayacak biçimde inşa edilmiş olan bu konutlarda, zemin katta sokağa açılan ticaret birimleri ile konutun depolama ve servis alanlarının yer aldığı görülür. Konutun tüm katlarına ulaşımı sağlayan merdiven, girişe yakın bir noktaya yerleştirilen merdiven evinde çözümlenmiştir. Ana plan şemasının okunduğu üst katta, konut içi mekanlar caddeye/sokağa yönlendirilmiştir. Bu şemada orta sofa anlayışını tekrarlayan bir merkezi mekan bulunmasına karşın bu mekanın net bir tasarım anlayışı ile oluşturulmadığı ve geometrisinin sokağa cepheli odaların yerleştirilmesinin ardından arta kalan alana göre ortaya çıktığı söylenebilir. Bu dönemde sade ve bezemeden uzak bir anlayışla biçimlendirilmiş olan cephelerde, pencere dizileri, çıkma, balkon ve saçaklarla sağlanan bir estetik elde edilmiştir. Bu örneklerde çıkmalar I profilli çelik putreller ile taşınmış, pencereler çift kanatlı olarak uygulanmıştır (Şekil 1, 2).



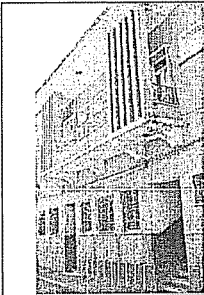
Şekil 1. Hanedan Mahallesi'nde Konut ve Üst Kat Planı



Şekil 2. Türkocağı Mahallesi'nde Konut

1940'lardan 1950'lerin sonlarına kadar ise Adana konut mimarisinde, geleneksel iç sofalı plan şemalarını yığma sistemde tekrarlayan, 2 katlı konutlar yaygın biçimde uygulanmıştır. Bu konutların zemin katında yer alan depolama hacimleri, tarımsal üretimin kent konutundaki yansımaları olarak değerlendirilebilir. Konutların plan şemalarında orta sofa tüm yaşam birimlerinin kapılarının açıldığı bir oturma odasına ya

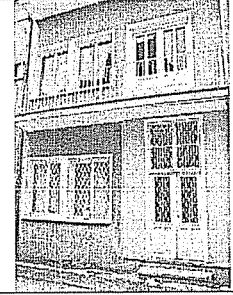
da mekânları birbirine bağlayan geniş bir koridora dönüşmüştür. Bu merkezi hacimden ulaşılan bir hol üzerinden banyo ve yatak odalarına bağlantı sağlanmıştır. Genelde simetrik biçimde oluşturulan özgün cephe çözümlerinde ise, konsollar üzerinde taşıtılan çıkma veya balkonlar, nitelikli metal şebeke işçiliği ile oluşturulmuş kapı, pencere parmaklıkları ve balkon korkuluğu gibi ayrıntılar özellikle dikkat çekmektedir. Yığma tuğla duvarlar nedeni ile pencere boyutları küçük tutulmuştur. Cephelerin gri serpme ya da taraklı mozaik sıvalı olduğu bu konutlarda, iç mekânların zemininde uygulanan karo mozaik döşeme kaplamalarında özgün denemelerle karşılaşmıştır (Şekil 3, 4, 5).



Şekil 3. İstiklal Mahallesi'nde konut



Şekil 4. Sucuzade Mahallesi'nde konut

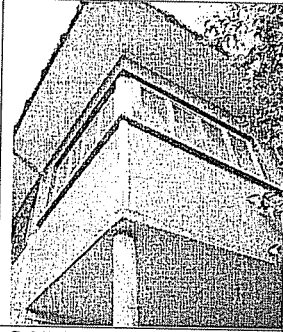


Şekil 5. Mestanzade Mahallesi'nde konut

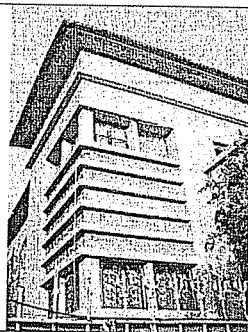
1917'de, mevcut konut alanlarının kuzeybatısında Yeni İstasyon binasının inşasının ardından, yapılaşmanın kuzeye doğru gelişimi başlamıştır [6]. Bu gelişim Jansen tarafından 1930'ların sonunda hazırlanan, 1940'ta onanan ve takip eden on yıllarda büyük ölçüde uygulanan Adana Kenti İmar Planı ile de desteklenmiştir. Bu planla D-400 Karayolu, Atatürk (İstasyon) Caddesi, Gazi Paşa ve Ziya Paşa bulvarları oluşturulmuş, imara açılan yeni konut bölgelerinde ise bahçe içinde yer alan bir veya iki katlı konutlardan oluşan bir doku önerilmiştir. Izgara şemanın benimsendiği imar planında, konut alanlarının arasında, geniş bir alanı kaplayan ve günümüzde de mevcut olan Atatürk Parkı ön görülmüştür [7]. Böylece, 1920'lerden 50'lerin sonlarına kadar, geleneksel merkez ve çevresindeki konut alanlarından farklı olarak, Kurtuluş (Yüzevler), Cemalpaşa ve Reşatbey mahalleleri gibi yeni imar düzeninin uygulandığı alanlar, dönemin uluslararası mimarlık anlayışı çerçevesinde, yerel koşullar altında biçimlenmiş modern mimarlık ürünleri ile yapılanmıştır.

Bu modern mimarlık ürünlerinin erken örneklerinde, kütle ve cephe çözümlerleri, yerel etkilerden neredeyse tümü ile arındırılmış ve Alman rasyonalizminin etkisi altında biçimlendirilmiştir. Mimar Semih Rüstem'in 1930-32 arasında, dönemin İstasyon Caddesi üzerinde (Atatürk Caddesi) tasarladığı kendi evi (Berkmen Evi) ile Sait Bey Evi prizmatik formların asimetrik biçimde birleşmelerinden doğan kütle anlayışları, düz çatıları, köşe pencereleri ve yatay pencereler gibi detaylarıyla özellikle dikkat çeken örneklerdir [8]. Bu örnekleri daha sonra aynı cadde üzerinde inşa edilmiş olan Özgür Evi, Has Evi ve diğerleri takip etmiştir (Şekil 6, 7, 8). Yaşama mekânları ve ortak mekânların zemin katta, yatak odalarının ise üst katta yer aldığı bu konutlarda, araba

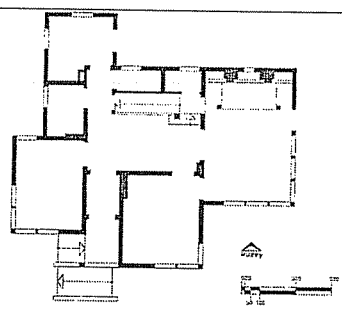
garajı gibi, modern gündelik yaşamın gerekliliklerinden kabul edilen mekanlar da çözümlenmiştir.



Şekil 6. Has Evi, Reşatbey Mahallesi

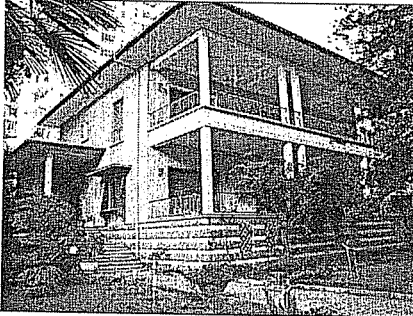


Şekil 7. Sait Bey Evi, 1930, Reşatbey Mahallesi, Mimar: Semih Rüstem



Şekil 8. Sait Bey Evi Zemin Kat Planı

Bu konutlarda izlenen rasyonalist tutumun katılığının 1940'ların sonlarından itibaren yumuşamaya başladığı ve yerini, yerel çağrışımlarla çağdaş kimlik arayışı içinde olan konut örneklerine bıraktığı görülmüştür. Yerelliğin, yüksek kalitede malzeme kullanımı ile sağlanmış göreceli bir anıtsallıkla da kaynaştırıldığı 1950'ler dönemi konutları, genelde geniş bahçeler içine yerleştirilmiş, iki katlı modernist yapılardır. Bu yapılarda katları birbirine bağlayan gösterişli merdivenler, aynı zamanda kabul salonu olarak da işlev gören iki kat yüksekliğindeki holler içinde çözümlenmiştir. Sıcak ve nemli yaz günlerinde kullanılmak üzere, iç mekânın bir uzantısı olarak güney cephede tasarlanmış geniş balkonlar da bu konutların karakteristik özelliklerindedir. Bu yapılar arasında Ertuğrul Arf tarafından tasarlanan ve 1952-57 yılları arasında inşa edilen Talip Aksoy Evi dönemin uluslararası mimarlık anlayışı ile yerel etkilerin son derece başarılı bir biçimde bütünleştiği bir örnek olarak karşımıza çıkmaktadır [9]. Bu yapıda benimsenen yaklaşım o dönemde Adana'da, müstakil konut çözümlmeleri için örnek oluşturmuştur (Şekil 9, 10).



Şekil 9. Talip Aksoy Evi, 1952-57, Kurtuluş Mahallesi, Mimar: Ertuğrul Arf



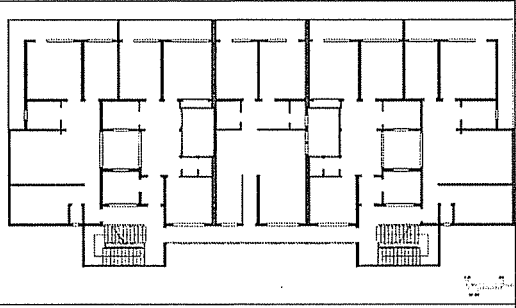
Şekil 10. İhsan Ariel Evi, Mestanzade Mahallesi

1930-50 arasındaki dönemde Türkiye'de, çok katlı konut yapıları, apartman olarak değil, kira evi kavramı ile tanımlanmıştır. Özellikle geç 1940'lar ve erken 1950'li yıllardan itibaren, sermaye azlığı ve kentlerde altyapısı olan arsaların yetersizliği gibi nedenlerden dolayı, büyük kentlerde apartman yapıları önemli bir yayılım göstermiştir [10]. Tekil mülkiyette olan ve kiralanmak üzere inşa edilmiş olan bu yapılar özellikle belirli bir sermaye birikimine sahip kişiler arasında yatırım aracı olarak kabul görmeye başlamıştır. Genelde sahipleri ile özdeşleştirilen bu apartmanlarda belirli bir kaliteye ulaşıldığı, yalın bir mimari anlayışta ele alınan yapıların buldukları bölgedeki malzeme olanakları ile yapım teknolojisini yansıttıkları görülmektedir [11].

1950'li yılların sonlarından itibaren Adana'da da apartman yapıları, öncelikle tarihi merkezdeki ana arterler üzerinde, daha sonra da kentin yeni gelişen bölgelerinde uygulanmaya başlamıştır. Genelde küçük ölçekli, 3-4 katlı uygulamalarla karşılaşmaktadır ancak asansörlü olarak çözümlenmiş 5-6 katlı örnekler de rastlanmaktadır. Apartman yapılarının erken örneklerinde oldukça dar merdiven sahanlığı, holler ve koridorlardan ulaşılan apartman dairesi uygulamaları sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Dairelerin mekansal organizasyonunda, müstakil konut çözümlerine benzer biçimde bir hol çevresine sıralanmış odalarla oluşturulmuş bir düzen vardır. Bu yapıların cephelerinde genellikle simetri benimsenmiş, balkonlar cephede girinti veya çıkıntı biçiminde ve simetrik olarak oluşturulmuş, pencereler ise dörtgen boşluklar şeklinde ele alınmıştır. Çoğunluğunun koyu renk sıvalı olduğu bu yapılarda, sıva üstüne oluşturulmuş derzlerle taş kaplama etkisi yaratılmaya çalışmış örnekler de rastlanmaktadır (Şekil 11, 12).



Şekil 11. Petek Apt. 1953,
Mimar: Orhan Akverdi, Reşatbey Mahallesi



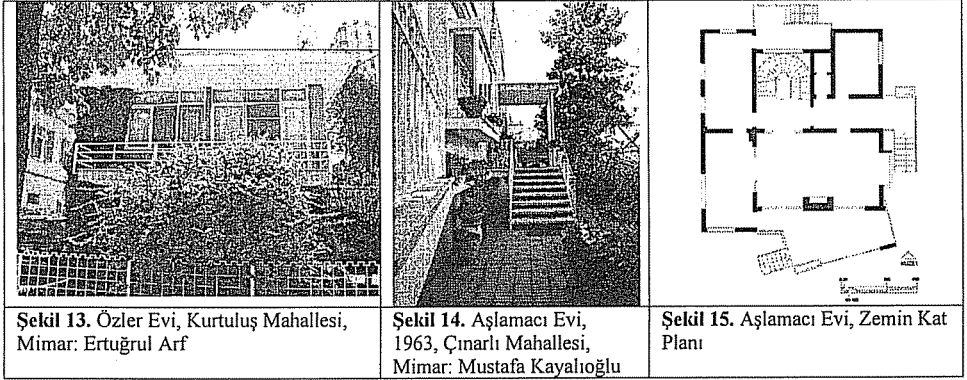
Şekil 12. Petek Apt., Normal Kat Planı

4. 1960-70'LERDE YAŞANAN DEĞİŞİMLER VE KONUT MİMARİSİNE YANSIMALARI

Kentte konut mimarisinin gelişimi 1960-70'lerdeki nitelikli müstakil konut ve az katlı apartman uygulamaları ile devam etmiştir. Bu dönemde kentin konut alanları, 1957'de kurulan Seyhan Barajı ile Çukurova Elektrik İşletmesi ve DSİ Tesislerine kenti bağlayan ana arter olan Baraj Yolu üzerinde ve çevresindeki alanlarla, kuzeye doğru gelişmiştir. Kentin batısında ise, İstiklal Mahallesi'nde 1940'larda inşa edilen eğitim yapıları (Meslek Liseleri) ile gelişimin hızlandığı ve konut alanlarının Şakırpaşa Havaalanı'na kadar ilerlediği görülmektedir. Bu bölgede, Eski Hipodrom sahası üzerinde 1960 ve 1970'lerde kurulan Emek Mahallesi, ızgara sisteminin uygulandığı ada

düzeninde, Güney Sanayi ve SSK çalışanları tarafından kurulan kooperatifler eliyle inşa edilmiş 2, 4 ve 10 katlı blokları ile dikkat çeken bir toplu konut alanıdır.

1960-1970 yıllarını kapsayan dönemde inşa edilen müstakil konutlar bir önceki dönemin takipçisi niteliğindedir. Ancak 1940-1950'ler konutlarındaki göreceli anıtsallık ve yerellekle kaynaştırılmış modernist yaklaşım, 1960'lardan itibaren yerini Uluslararası Stilin yerel yorumlamalarına bırakmıştır. Ölçek ve detay çözümleri açısından karşılaştırıldığında da, 1960-70 dönemi konutlarının daha mütevazı olduğu görülmektedir. Genelde dikdörtgen parsellerde, bahçeyi ortalayarak yerleştirilmiş olan bu iki-üç katlı konutlarda tek bir ailenin kullanımına dönük olarak alt katta yaşama birimleri, üst katta yatak odaları düzeninde çözümlenen örneklerin yanı sıra, her katın ayrı bir daire olarak kullanılacak şekilde ele alındığı küçük ölçekli aile apartmanları uygulamaları ile de karşılaşmaktadır. Bahçeye açılımları, güneye yönelmiş terasları ve geniş pencere açıklıkları ile iklimsel gereksinimlere cevap veren bu konutlarda da son derece titiz biçimde çözümlenmiş detaylarla karşılaşmaktadır. Dörtgen ve açılı formlarda yerleştirilen balkonlar ile geniş pencerelerin yanı sıra, nitelikli giriş saçakları bu konutlarda cepheye zenginlik katan elemanlardır. Konutların genelde düz sıvanmış ve boyanmış cephelerinde, yer yer işlenmiş doğal taş ve traverten kaplama kullanılması sıklıkla karşılaşılan özelliklerdendir (Şekil 13, 14, 15).



1960'lardan sonra inşaat malzemeleri üretiminin artması ve 1965'te, Kat Mülkiyeti Kanunu'nun çıkması apartman yapılarının yaygınlaşmasına neden olmuştur. Bu dönemde apartman yapılarının biçimlenmeleri, erken örneklerden farklılaşmış ve Adana'da betonarme sistemde inşa edilmiş 4-8 katlı apartmanlar, teraslı çatı katı olan, modern mimarlık söylemini benimsemiş denemeler olarak uygulanmıştır. Bu apartmanlar, kentin sıcak ve nemli iklimine cevap veren detayları barındıran uygulamalardır. İç hacimlerin bir uzantısı olarak tasarlanan geniş balkonlar sıcak yaz günlerinde keyifle kullanılan mekanlar oluşturmanın yanı sıra, dörtgen ya da açılı formları ile cepheleri zenginleştiren elemanlar olarak kullanılmıştır. Uluslararası stilin etkisi altında biçimlenen cephelerde, sövesiz geniş yatay bant şeklinde ya da parapet yükseklikleri oldukça düşük tutulan geniş cam yüzeyli pencereler uygulanmış ve cephede boşluk oranında önemli bir artış ortaya çıkmıştır. Genelde siva uygulanan apartman cephelerinin zaman zaman sınırlı alanlarda mermer veya kesme taş

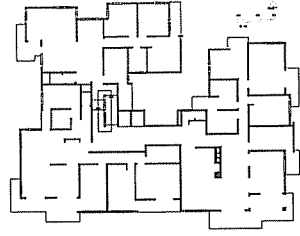
kaplanmanın kullanıldığı örneklere de rastlanmaktadır. Şık giriş saçakları ile çatı katlarındaki betonarme saçaklar da cepheye estetik katan elemanlardır (Şekil 16,17, 18).



Şekil 16. Nacar Apt., 1964,
Kurtuluş Mahallesi



Şekil 17. Konak Apt., 1968,
Cemalpaşa Mah., Mimar Zeki Yüziak

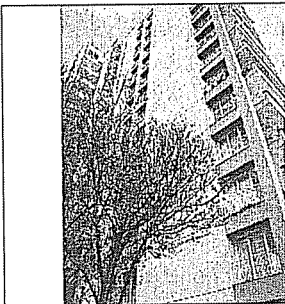


Şekil 18. Konak Apt., Normal Kat
Planı

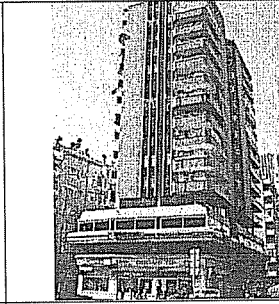
1970'lerden itibaren yapı üretim tekniğindeki ilerlemelerle çok katlı apartmanların yapımı hızlanmıştır. Kent merkezinde yer alan ve nitelikli detaylarla donatılmış olan 1970'ler dönemi apartman uygulamaları, 1980'lerin başlarından itibaren, özellikle yükselen arazi değerlerine bağlı olarak son bulmuş, ve mevcut parsellerde, bunların yerine, 15-18 katlı apartmanlar inşa edilmeye başlanmıştır.

5. 1980 VE SONRASINDA ADANA'DA KONUT MİMARİSİNİN GELİŞİMİ

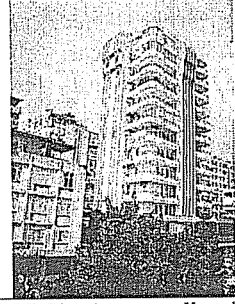
1980'lere değin özgün bir karakter geliştiren Adana konut mimarisinin, bu dönemden sonra değişim sürecine girdiği, konut karakterinin çeşitlendiği, yeni imar düzenlemeleri ile yoğunluk ve kat yüksekliklerinin arttığı ve yap-sat sisteminin konut üretiminde hakim olduğu görülmektedir. Bu dönemde çoğunluğu kente göçle gelmiş ve alt gelir grubuna ait kullanıcıları barındıran geleneksel merkez ve çevresindeki konut alanları, özellikle 1980'ler sonrasında bakımsız kalmış, işlevsel değişimler ortaya çıkmıştır. 1930'lardan 80'lere dek Jansen Planına uygun olarak yapılanan alanlarda ise kentsel doku kısmen korunarak günümüze ulaşmıştır. Ancak parsel ölçeğinde yapılan yenilemeler sonucunda 2-8 kat yüksekliğindeki konut yapılarının yerine inşa edilen çok katlı yapılarla, bölgede mimari karakterin değişerek, yoğunluğun arttığı görülmektedir (Şekil 19, 20, 21).



Şekil 19. Arıkoğlu Apt, 1999,
Cemalpaşa Mahallesi, Mimar: Kaya
Arıkoğlu

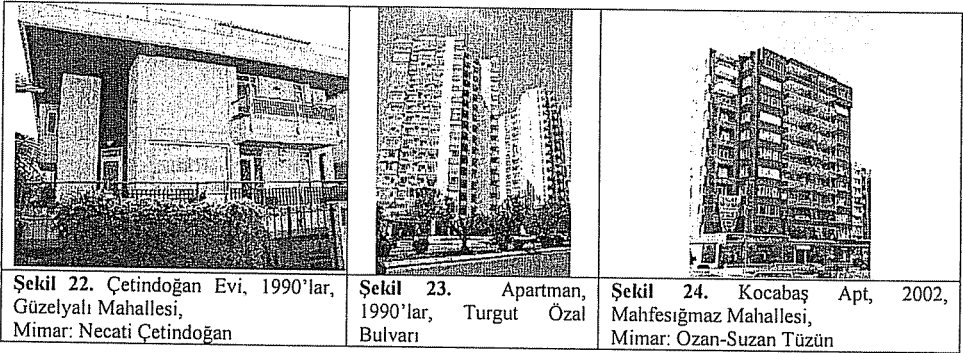


Şekil 20. Apartman, Cemalpaşa
Mahallesi



Şekil 21. Apartman, Kurtuluş
Mahallesi

Öte yandan, bahsedilen değişimlerle eş zamanlı olarak kentin konut alanlarının, Jansen Planının kuzey sınırını oluşturan demiryolu hattını 1960'lerden itibaren aşarak kuzeye doğru ilerlemesi üzerine, 1984-1989 yılları arasında, Adana Büyükşehir Belediyesi tarafından Kuzey Adana'da 57.000 dönüme yayılan yeni alanlar 200.000 konut için imara açılmıştır. Bu alanda yapılaşma, özellikle Kenan Evren ve Turgut Özal Bulvarları ve bunların bağlantı yolları üzerinde ortaya çıkmış, hazırlanan planın, yakın döneme değin 70.000 konutluk bölümü inşa edilmiş ancak bu uygulama kapsamı hedeflenen nüfusun kentsel-kültürel ihtiyaçlarına cevap vermekte yetersiz kalmıştır. Kentin konut alanlarının kuzeyde imara açılan bölgelere doğru hızla yayılmasının ardından, konut üretimi genelde her katta iki daire bulunan, cephe düzeni simetrik biçimde kurgulanmış 15-18 katlı apartman uygulamalarına dönüşmüştür. Buna karşın, sıklıkla olmasa da, standardın dışına çıkan, özgün denemelerle de karşılaşmaktadır. 1990'lar sonrasında ise Turgut Özal Bulvarı'na bağlanan Süleyman Demirel Bulvarı'nın doğusunda yer alan ve Seyhan Baraj Gölü'nü yüksek bir noktadan gören araziler, konut alanları olarak en çok arzulanan bölgeler haline gelmiş ve özellikle Güzelyalı Mahallesi'nde, mimarlar ve kullanıcıların beğenilerini farklı mimari söylemlerle yansıtan müstakil konut denemeleri ortaya çıkmıştır (Şekil 22, 23, 24).



6. SONUÇ

Seyhan Nehri kıyısında konumlanmış olan Adana'nın çevre illerden farklı bir mimarlık anlayışı ile biçimlendiği söylenebilir. Geleneksel yapılarda Mersin, Tarsus, Gaziantep gibi kentlerde yoğun biçimde kullanılan taş yerine tuğla ve ahşabın tercih edilmesi [12] ile ortaya çıkan farklılaşma süreci, Cumhuriyetin erken yıllarında, ekonomik ve ticari gelişmelerin kentin fiziksel yapısına yansımaları sonucu inşa edilen modernist yapılarla devam etmiştir [13]. Adana'nın özgün mimari karakterinin gelişim ve değişim sürecinin en iyi gözlemlenebildiği yapılar konutlardır [14]. Ancak, özellikle son yıllarda konut dokusunun büyük bir hızla yenilenmesi, bu sürecin takibini güçleştirmeye başlamıştır.

Adana'da, konut mimarisinin gelişim süreci incelendiğinde kentin tarihi merkezi ile tarihi merkezin kuzeyinde planlı biçimde gelişen alanlarında farklı oluşumlarla karşılaşmaktadır. 1930'lardan günümüze Adana'da konut mimarisinin gelişim sürecinin incelenmesi sonucunda elde edilen bulgular aşağıda tablo halinde verilmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Dönemlere göre elde edilen bulgular

	Tarihi Merkez ve Çevresindeki Alanlarda Yer Alan Konutlar	Tarihi Merkezin Kuzeyinde Yeni Gelişen Alanlarda Yer Alan Konutlar
1930'lar	<ul style="list-style-type: none">-Geleneksel yaşam biçiminin devam ettiği bu alanlarda, genelde düzgün olmayan parsellere inşa edilmiş olan konutlardır.-Dönemin yaygın konut uygulamalarıdır.-Plan ve cephe özelliklerinde geleneksel karakteri devam ettiren anlayışın hakim olduğu görülmektedir.-Zemin katta tuğla kargir, üst katlarda ahşap karkas sistemde inşa edilmiş olan bu konutların inşasının önceki dönemlere göre daha gelişmiş alet ve tekniklerle gerçekleştirilmesi, özellikle ahşap yapı elemanlarının daha düzgün profillerle elde edilmesini sağlamış ve bu özellik, dönem yapılarını önceki dönemlerden ayırt edici bir özelliğe dönmüştür.-Önceki dönemlerde kullanılan giyotin pencerelerin yerini, çift kanatlı pencereler almıştır.	<ul style="list-style-type: none">-Jansen tarafından hazırlanan İmar Planı doğrultusunda düzgün parsellere inşa edilen bahçeli, bir veya iki katlı konutlardır ve elit bir sosyal sınıf tarafından inşa ettirilmişlerdir.-Dönemin koşullarına göre öncü denemelerdir ve sınırlı sayıdadır.-Geleneksel sistemlerden oldukça farklı bir anlayış hakimdir.-Büyük bölümünde modern yaşam gereksinimlerinden taviz vermeyen bir anlayışla biçimlenmiş plan çözümlenmeleri üretilmiştir.-Cephelerde katı bir modernizm benimsenmiştir.
1940 ve 50'ler	<ul style="list-style-type: none">-Bahçe içinde veya sokağa cepheli 1-2 katlı konutların yanı sıra 3-4 katlı olarak apartmanlaşmaya başlamış örneklerdir.-Geleneksel konutlarda kullanılan ahşap karkas yapım tekniği terk edilerek tamamen yığma sisteme geçilmiştir.-Yaşam biçiminde ortaya çıkan değişimlerin konutlarda mekan kurgusuna yansımaya başlaması ile, plan şemalarında orta sofa tüm yaşam birimlerinin kapılarının açıldığı bir oturma odasına yada mekânları birbirine bağlayan geniş bir koridora dönmüş, banyo ve yatak odaları ise ayrı bir hole bağlanmıştır.-Cephe kurguları önemli değişimler göstermiş, genelde simetrik biçimde oluşturulan cephelerde yığma sistemde, konsollar üzerinde taşıtılan ve genelde iki kat boyunca devam ettirilen çıkıntılar veya küçük ölçekli balkonlar kullanılmıştır.-Cepheler gri serpmeye ya da taraklı mozaik sıvalı olarak oluşturulmuştur.-Cephe biçimlenmelerinde, modern mimarlık dilinden etkilenim, küçük ölçekli, tekil denemeler olarak görülür.	<ul style="list-style-type: none">-Geniş bahçeler içinde müstakil konutların yanı sıra modern apartmanların erken örnekleri-Plan şemalarında bir yandan orta sofa benzeri yaşama mekanı çözümlenmeleri ile gelenekselden kopmamış bir anlayış devam ederken, bir yandan da modern mutfak, banyo çözümlenmeleri ile yatak holünün ayrıştırılması gibi uygulamalarla yaygınlaşmaya başlayan modern yaşam biçiminin konut içindeki yansımaları görülmektedir.-Cephelerde genelde modernist çizginin hakim olduğu görülür. Ancak bir önceki dönemin katı modernizminin yerini yerellekle harmanlanmış göreceli bir anıtsallık almaya başlamıştır.-İklimsel gereksinimlere uygun biçimde şekillenmiş geniş teraslar tipik uygulamalardır.
1960'lar	<ul style="list-style-type: none">-Bu alanların konut alanı olarak popülaritesini yitirmeye başladığı ve özellikle 1960'ların sonlarına doğru konut alanlarının yaygın biçimde kuzeyde yeni imar planı doğrultusunda gelişen, demiryolu	<ul style="list-style-type: none">-Uluslararası Stilin yerel yorumlamaları olarak karşımıza çıkan konutlardır.-Müstakil konutlar bahçeye açılımları, güneye yönelmiş

	hattının güneyindeki bölgelere kaydığı görülmektedir.	terasları ve geniş pencere açıklıkları ile iklimsel gereksinimlere cevap veren konutlardır. -Modern mimarlık söylemini benimsemiş 3-5 katlı apartmanlar dönemin yaygın konut üretim biçimidir. Ancak 1965'te. Kat Mülkiyeti Kanunu'nun çıkması ile apartman yapıları, erken örneklerden daha yüksek biçimde 4-8 katlı, teraslı çatı katı olan apartmanlar olarak uygulanmıştır. -Sövesiz geniş yatay bant şeklinde ya da parapet yükseklikleri oldukça düşük tutulan geniş cam yüzeyli pencereler ve iç hacimlerin bir uzantısı olarak tasarlanan geniş balkonlar, bol boşluklu zengin bir cephe anlayışı ortaya çıkarmıştır.
1970'ler	-Bu alanlarda yeni konut inşası nerede ise bütünü ile durmuş ve tarihi merkez giderek terk edilmiş bir bölgeye dönüşmüştür.	-Müstakil konut uygulamaları önemli ölçüde azalmış, buna karşın modern mimarlık söylemini benimsemiş, 4-8 katlı, teraslı çatı katı olan apartmanlar yaygınlaşarak devam etmiştir.
1980'ler ve sonrası	-Çoğunluğu kente göçle gelmiş ve alt gelir grubuna ait kullanıcıları barındıran geleneksel merkez ve çevresinde bulunan ve büyük bölümünü tescilli yapıların oluşturduğu konutlar özellikle 1998 Depremi ardından bakımsız kalmış, bu yapılarda işlevsel değişimler ortaya çıkmış ve ticari fonksiyonlar ağırlık kazanmıştır.	-Yeni imar düzenlemeleri ile yoğunluk ve kat yükseklikleri artmış, 4-8 katlı apartmanlar yıkılarak, aynı parsellerde, 15-18 kata kadar yükselen apartmanlar inşa edilmeye başlamıştır. -Seyhan Baraj Gölü'nü yüksek bir noktadan gören araziler, konut alanları olarak tercih edilen bölgeler haline gelmiş ve burada mimarlar ve kullanıcıların beğenilerini farklı mimari söylemlerle yansıtan müstakil konut denemeleri ortaya çıkmıştır.

Adana konutlarında olagelen ve giderek hızlanan yıkım süreci Adana'da konut mimarisinin gelişiminin izlenebilmesi için, yakın dönem konutlarının tümüyle yok olmadan bir an önce belgelenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu çalışma ile 1930'dan günümüze Adana konut mimarisinin gelişimi, sosyo-ekonomik ve kültürel yapı, iklimsel verilere uygunluk ile hakim mimari anlayışlar bağlamında irdelenmiş ve mekansal kurgu ve ilişkiler, cephe biçimlenmeleri ve malzeme kullanımı gibi konular incelenerek fotoğraflar ve ölçekli çizimlerle belgelenmiştir.

7. KAYNAKLAR

1. Çadırıcı, M., "Tanzimat Döneminde Anadolu Kentlerinin Sosyal ve Ekonomik Yapıları", Türk Tarih Kurumu Basımevi, Ankara, 1991.

2. Bölen,F., "Anadolu'da Yerleşme Sisteminin Evrim Analizi ve Çağdaş Mekan Düzenleme Politikalarına Etkilerinin İncelenmesinde bir Yöntem Denemesi", İTÜ Müh-Mim.Fak., 1978.
3. Bölen,F., y.a.g.e.
4. Adana Sosyo Ekonomik Rapor Adana Güçbirliği Vakfı, Adana, 2000.
5. Anonim, "Adana", Yurt Ansiklopedisi, C1., Anadolu Yayıncılık.
6. Toksöz,M., Yalçın,E., "Modern Adana'nın Doğuşu ve Günümüzdeki İzleri. Aptullah Kuran için Yazılar", Editör Kafesçioğlu,Ç., Thys-Şenocak, L., 435-452, İstanbul, 1999.
7. Anonim, y.a.g.e.
8. Aslanoğlu,İ., "Erken Cumhuriyet Dönemi Mimarlığı 1923-38," ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları, Ankara, 2001.
9. Özler, A., " Yakın Dönem Adana Evleri", Arredamento Dekorasyon, 11, 88-91, 1997.
10. Balamir,M., "Kira Evinden Kat Evlerine Apartmanlaşma: Bir Zihniyet Dönüşümü Tarihçesinden Kesitler", Mimarlık, 260, 29-33, 1994.
11. Gür,Ş., "80'li Yıllarda Apartman Örnekleri", Mimarlık, 89/1, 62-65, 1989.
12. Durmuş Karaman,F. "Adana Geleneksel Konut Mimarisinin İncelenmesi ve Ulucami Çevresi için Koruma Amaçlı bir Çalışma", İTÜ Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 1992.
13. Çelik,Ç. "19. Yüzyıldan Günümüze Adana'da Konut Mimarisinin Gelişimi", Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 1999.
14. Saban,D., Karaman,F., Erman,O. ve Durukan,İ. "Adana Mimarlık Rehberi", Mimarlar Odası Adana Şubesi Yayını, 2006.



HAD (HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ) BİLGİSAYAR MODELLEMESİ KULLANILARAK ANOKSİK TANK HİDROLİĞİNİN İNCELENMESİ*

Kevser DEMİRÖZ ve Fuat BUDAK

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

ÖZET : Bu çalışmada HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) modelinin atık su arıtma sistemlerinde mevcut ekipmanların tasarımının ve sistem çalışma veriminin geliştirilmesindeki uygulanabilirliği araştırılmıştır. Daha önce HAD kullanılarak modellenmesi yapılmış ve hidrolik davranışı incelenmiş olan İsveç'in Göteborg şehrinde yer alan atık su arıtma tesisindeki anoksik tank, HAD modeli yardımı ile geometrisi, mikserleri ve giriş profili geliştirilerek gerçek değerlere uyan yeni bir model oluşturulması amaçlanmıştır. Tank üzerinde, hidrolik bekletme zamanı ve dağılımı eğrisi oluşturmak amacıyla yapılan tam ölçekli izleyici testlerinden elde edilen veriler ile modelleme sonuçları karşılaştırılmıştır. İnceleme sonucunda 3 farklı sonuç değerlendirilmiştir. Daha önce kullanılan basit geometriden elde edilen modelleme sonucu ile geometrisi ve giriş profili geliştirilmiş 0.55 m/s ve 1.1 m/s'lik mikser hızlarının kullanıldığı 2 yeni modelleme sonucu, tam ölçekli izleyici testleri sonuçları ile karşılaştırılmıştır. 1.1 m/s hızla çalışan mikserler ile oluşturulan yeni model gerçek değerlere çok yakın sonuçlar vermiştir.

INVESTIGATION OF ANOXIC TANK HYDRAULICS BY USING CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS) MODELLING

ABSTRACT : In this study it was investigated that how CFD (Computational Fluid Dynamics) can be helpful in order to improve the design of existing water treatment plants and the process efficiency. The previous model used in previous project for investigating hydraulic behaviour in denitrifying activated sludge tank at the Rya Wastewater Treatment Plant (WWTP) was improved in terms of geometry, inlet profile, mixers. It was aimed to form a new model which is consistent with the reality. Full scale tracer tests were performed to create Residence Time Distribution Curve (RTD), and results from all models were compared to CFD results. 3 different results were compared; result from simple geometry used in the previous project for CFD, result from improved geometry, inlet profile and mixers (0,55m/s), and result from improved geometry, inlet profile, and mixers (1.1m/s). The new model formed has 1.1m/s mixer velocity gave the most reasonable results.

*Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi ile Boras Üniversitesi (İsveç) arasındaki işbirliği anlaşması çerçevesinde Erasmus Programı tarafından desteklenmiştir.

1. GİRİŞ

Atık su ve içme suyu arıtma tesisleri merkezi alt yapı sistemlerinin önemi yakın gelecekte çok önemli miktarda artmış olacaktır. Arıtma tesislerinin mümkün olduğu kadar verimli çalıştırılması hedeflenerek projelendirilmeleri önemlidir. Bu sektördeki artan canlılık, deneyimli tasarımcılar üzerinde baskı oluşturmaktadır. Verimli bir tasarım oluşturmak ve aynı zamanda var olan sistem ekipmanlarını denetlemenin bir yolu modern bilgisayar yöntemlerinin kullanılmasıdır.

Bütün içme suyu ve atık su arıtma tesisi tasarımında dikkat edilen en önemli faktörlerden bir tanesi hidrolik şartlardır. Bazı prosesler tam karışmış bir akım gerektirirken (aktif çamur tesisleri, kimyasal dozlama üniteleri ve anaerobik yoğunlaştırıcılar), bazı prosesler piston akım gerektirmektedir (kum filtreleri, durultucular, ozonlama, aktif karbon ve iyon değişimi yöntemlerini kapsayan adsorpsiyon üniteleri ve DAF ünitesi).

Daha önce yapılan çalışmalarda tanımlanan bazı tekniklerle ekipmanlar içerisindeki bütün akım dağılımı belirlenebilmiştir. Fakat bu teknikler, elverişsiz akımlardan kaynaklanan problemlerin tespitine yönelik olup, problem çözücü teknikler değildir. Bilgisayar ve hesaplama teknolojisindeki gelişmeler ve aynı zamanda bilgisayar programlarındaki hızlı gelişmeler, durultucu ve aktif çamur reaktörleri de dahil herhangi bir tipteki geometri içerisindeki gerçek akışkan akımını simülite etmeyi mümkün kılmaktadır (5). HAD modellemesi, su proseslerindeki hidrolik durumun daha iyi bir şekilde anlaşılabilmesi için çok güçlü bir araçtır (15). HAD modellemesi, su ve atık su tesislerinin işletmesinin ve dizaynının geliştirilmesinde kullanılabilir. (3,11). HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) modellemesi, hem problem tespiti yapmakta hem de problemi çözmek için uygulanabilir yöntemler hakkında fikir vermektedir. Bu model özellikle reaktör, filtrasyon, esanjör ve kimya endüstrisi içerisinde yer alan diğer ekipmanların modellemesi için geliştirilmiştir. HAD modellemesi, geometri içerisinde akımın 3 boyutlu hareketini tahmin edebilmektedir. Her üründe olduğu gibi atık su arıtma tesisi ekipmanları için de tasarlanan ürünün performansının henüz tasarım aşamasındayken bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Bu sayede performansı düşüren etkenler tasarım aşamasında elimine edilerek optimum performansa sahip ürünler elde edilebilmektedir. Bunun için her tasarımın istenilen performansı verip vermediği deneyler yardımıyla belirlenebilmekte ve eğer istenilen performans elde edilemiyorsa tasarım değişikliğine gidilmektedir. Bu döngü istenilen performansı veren ürün elde edilinceye kadar devam etmektedir. Ancak bu işlemler, her seferinde prototip üretme gerekliliği nedeniyle, zaman alıcı ve yüksek maliyetli olabilmektedir. Ayrıca ürün belirlenen performansı sağlayamıyorsa performans kaybına neyin sebep olduğunu anlamak klasik deneylerde her zaman çok kolay olmayabilmektedir. Bu durumda performans artımı için yapılması gereken değişikliklere karar vermek oldukça zorlaşmakta ve bir deneme yanılma sürecine girilerek tasarımın hem süresi uzayarak hem de maliyeti artmaktadır. HAD kullanarak ürün performansının belirlenmesi ise beraberinde bir takım avantajları da getirmektedir. Bunlardan ilki ürün testi için prototip yapma zorunluluğunun ortadan kaldırılmasıdır. Tasarım tamamen bilgisayar ortamında yapılmakta ve test edilmektedir, dolayısı ile prototip imali için bir yatırıma gerek kalmamaktadır. Bunun yanında yapılan HAD analizleri sonucunda akış alanı tümüyle belirlendiğinden performansı kötü yönde etkileyen unsurlar rahatlıkla saptanıp

yapılacak iyileştirmelere kolaylıkla karar verilebilmektedir. Böylece deneme yanılma yöntemine nazaran çok daha kısa sürede nihai ürüne erişilebilmektedir. Hatta akış alanındaki tüm detaylar incelenerek ürün performansının daha da artırılması sağlanabilir.

Bilindiği gibi kurulu arıtma tesislerinin iyileştirilmesi gittikçe önem kazanmaktadır. Bir aktif çamur tankının karışma karışım özellikleri çok önemlidir. Çünkü bu özellikler hem arıtma verimini hem de çamurun çökeltme karakteristiğini etkilemektedirler (4). Karışım özellikleri aynı zamanda bakteriler için gerekli substrat konsantrasyonu üzerinde güçlü bir etki yaratacaktır ve mevcut bakteri konsantrasyonunu etkileyecektir (8).

Elverişsiz hidrolik durumlar tankların verimli bir şekilde kullanımını azaltabilmekte ve böylece artılmış atık suyun daha fazla oranda çökelti içermesine yol açabilmektedir. Bu, özellikle atık sudaki karbon kaynağının denitrifikasyon işlemi için yetersiz olduğu yüksek yüklemeli aktif çamur sistemlerinde oldukça önemli olabilmektedir ve karbon yetersizliğini karşılamak için genellikle etanol eklenmektedir. Elverişsiz hidrolik durumlar ise eklenmesi gereken etanol miktarının artışına sebep olabilmektedir (12). Bu nedenle var olan atık su arıtma sistemi ekipmanlarının etkin bir şekilde işletilebilmesi önem kazanmaktadır.

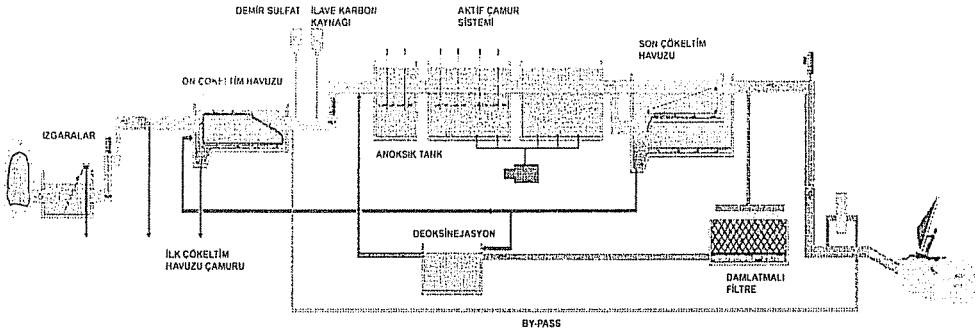
Geçmişte, alıcı ortama ulaşan atık su arıtma tesisi çıkış sularında çözünmüş organik madde giderimi üzerinde çalışmalar yapılmıştır, günümüzde ise alıcı ortamda ötrofikasyona sebep olan ve ortamın kalitesini bozan, azot ve fosfor gibi nütrientlerin giderimine yönelik uygun arıtma yöntemleri üzerinde durulmaktadır. Atık su arıtma sistemlerinin iyileştirilmesinin temel amacı genellikle işletme masraflarını düşürmek ve çıkış suyu kalitesini yükseltmektir. Kurulmuş olan atık su arıtma tesisleri sisteme yeni teknolojiler ekleyerek düşük maliyetli ve etkin biçimde iyileştirilebilir.

Bu çalışmada İsveç'in Göteborg şehrinde yer alan iyileştirilmiş Rya Atık Su Arıtma Tesisi üzerinde çalışmalar yürütülmüştür. İyileştirme sonucunda atık su arıtma tesisi çıkış suyu azot değeri standart değerle hemen hemen aynı olması, çıkış suyu kalitesi güvenliği açısından bir tehdit unsuru olmaktadır. Buna sebep olan kaynaklardan bir tanesinin aktif çamur sistemindeki reaktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu doğrultuda, Rya Atık su Arıtma Tesisi Anoksik Tankın HAD bilgisayar modellemesi kullanılarak incelenmesi ve daha önce yapılmış modellemesinin geliştirilerek gerçek değerlere uygun yeni bir model oluşturulması bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Rya Atık Su Arıtma Tesisi

Rya Atık Su Arıtma Tesisi İsveç'in Göteborg şehrinin 621000 nüfusunun atık sularını ve 151000'lik nüfusa eşdeğer endüstriyel atık sularını arıtmaktadır. Bütün atık sular arıtma tesisine toplam 124 km uzunluğuna sahip bir kanal ağı sistemi ile ulaşmaktadır. Kanal ağı sistemiyle birleşen kanalizasyon sisteminin taşıdığı atık suların yaklaşık %40 'ı, tesis üzerinde 1.9 m³/sn ila 16.4 m³/sn arasında büyük hidrolik yüklemeye değişiklerine sebep olmaktadır. Tesise gelen atık sular ilk arıtmadan geçerler ve fosforun aktif çamur ünitesinin nitriye olmayan ilk bölmesinde demir sülfat ile giderimi sağlanır (Şekil 1).



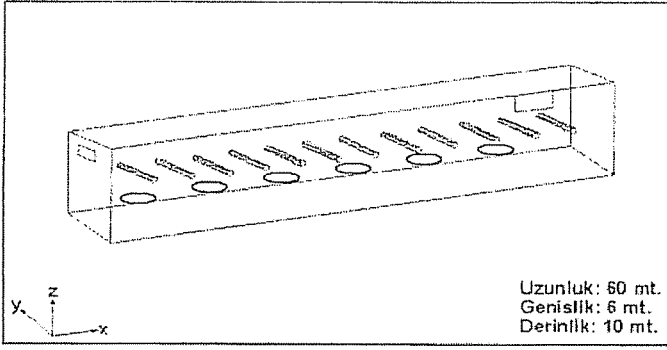
Şekil 1. Rya Atık Su Arıtma Tesisi Akım Şeması

Denitrifikasyona girmeden önce çözülmüş oksijen giderimi yapılması amacıyla, damlatmalı filtrelerden çıkan nitrifiye olmuş atık sular ve son çökeltim tankı aktif çamurunun bir kısmı deoksinejasyon tankına ulaşmaktadır. Deoksinejasyon tankı çıkışı ile ilk çökeltim havuzundan gelen sular denitrifikasyon işlemi için anoksik tanka gelmektedir (1). Anoksik tanktan çıkan denitrifiye olmuş atık sular azot gazı kabarcıklarını dışarıya atmak ve çökeltme işleminden önce oksijen ilave edilmesi için 10–15 dk havalandırılırlar. Rya Atık su Arıtma Tesisinde, en uygun bir nitrifikasyon – denitrifikasyon, damlatmalı filtrelerin güvenilir bir şekilde kontrolü ve gözlenmesini gerektirdiği gibi aynı zamanda doğru bir ekstra karbon kaynağını da gerektirmektedir (12). Rya atık su arıtma tesisi atık sularında karbon kaynağı yetersiz olduğundan etanol karbon kaynağı olarak tank girişinde atık suya eklenmektedir. Buradaki denitrifikasyon işlemi fakültatif organizmalar tarafından gerçekleştirilmektedir. Nitratın indirgenerek bozunmasıyla ortaya çıkan oksijeni kullanan bu organizmalar anoksik şartlara ihtiyaç duymaktadırlar. Nitratlar tükenip, sülfatlarda bozunmaya başlayınca kükürtün sebep olduğu koku açığa çıkmakta ve ardından anaerobik şartlar başlamaktadır.

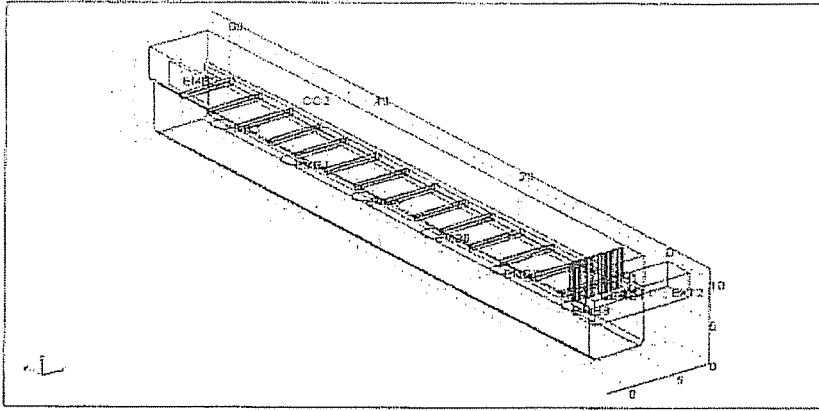
2.2. HAD (Hesaplanabilir Akışkanlar Dinamiği)

Bu çalışmada tank içerisindeki hidrolik davranışın incelenmesi için CEM (Chemical Engineering Module) içerisindeki 3D k-ε türbülans modeli kullanılarak teorik bir model oluşturulmuştur.

Bu çalışma daha önce yapılan bir çalışmanın devamıdır. Daha önce kullanılan model geliştirilerek yeni bir model oluşturulmuştur. Önceki çalışmada oluşturulan model için kullanılan basit geometri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Önceki çalışma için kullanılan basit tank geometrisi



Geometri çizimi yapılırken, anoksik tankın projelendirilmesinde kullanılan bütün matematiksel veriler göz önünde bulundurularak daha önceki çalışmada geometri çizilirken göz ardı edilen bütün ayrıntılar dikkate alınmıştır. Yukarıda Şekil 3'de anoksik tankın modellemeye kullanılan geliştirilmiş geometrisi görülmektedir. Bu geometriyi oluşturulan bütün yapılar ve boyutları anoksik tankın gerçek projesinden alınarak oluşturulmuştur. Daha önce yapılan çalışmada ise gerçekte var olan hiçbir ayrıntıya girilmeden tanka sadece dikdörtgen bir yapı verilerek modellemesi yapılmıştır. Şekil 3'de görüldüğü gibi tank geometrisine arıtma tesisinde de olduğu gibi, bir giriş kanal yapısı eklenmiştir. Kanala gelen $10.8 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik toplam debinin $3.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik kısmı anoksik tanka girmektedir

- Geliştirilen geometrinin özellikleri:

Tank uzunluğu: 60 m, tank genişliği: 6.1 m, tank derinliği: 10.85 m'dir ve anoksik tankta 6 adet mikser bulunmaktadır. Mikserler tank tabanının 3m yukarısına yerleştirilmiştir. Mikserlere 0.55m/s ve 1.1m/s'lik yüzeysel dönme hızları kullanılmıştır. Kullanılan bu hız değerleri, mikserlerin pompa kapasitesi (108m³/dakika) değerine bağlı olarak seçilmiştir. Mikserlerin yüzey alanı = πr^2 ifadesinden $3.14 \cdot 1^2 = 3.14 \text{ m}^2$ dir. Mikserlerin yüzey alanına düşen dikey kuvvet değerini pompa kapasitesi yardımıyla hesaplanmış ve bu değer mikserlerin hız değeri olarak kabul edilmiştir.

$$\frac{108 \text{ m}^3}{\text{dakika}} / 3.14 \text{ m}^2 = 0.56 \text{ m/s}$$

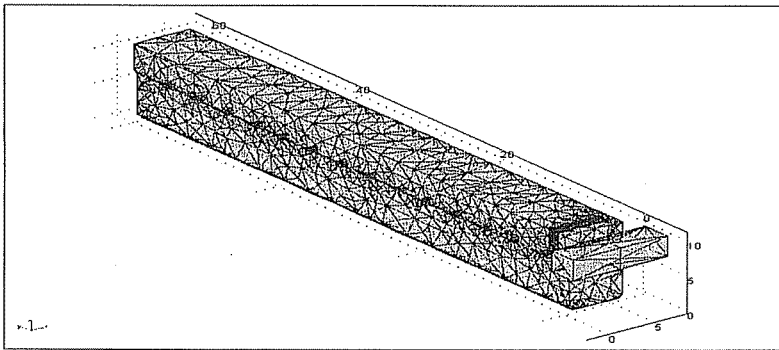
- Hesaplama Araçları

x, y ve z momentum denklemleri, k denklemi ve ϵ denklemi kullanılmıştır. Aynı zamanda modelleme için kullanılan matematiksel hidrolik denklemleri momentum denklemleri ve süreklilik denklemlerinden oluşmaktadır. Burada k; turbülant kinetik enerji, ϵ enerji dispersiyonunu göstermektedir. Bu denklemlerde kullanılan bazı sabitler vardır. Bu denklem sabitleri deneysel verilerden elde edilmiş ve standart parametre olarak kullanılmaktadır (13).

$$C_\mu = 0.09, C_{\epsilon_1} = 0.1256, C_{\epsilon_2} = 1.92, \sigma_k = 0.9, \sigma_\epsilon = 1.3$$

- Simülasyon Değerleri

Modelde simülasyona başlamadan önce uygun bir ağ yapısının oluşturulması çok önemlidir. Bu ağ sistemi, hesaplama alanının çok küçük alt hesaplama alanlarına (veya hacimlerine) bölünmesi ve gerekli matematiksel çözümlerin tüm bu ağ elemanlarında ayrı ayrı yapıp daha sonra hepsinin birleştirilerek tüm hesaplama alanı içindeki nihai çözümün elde edilmesi için kullanılmaktadır. Ağ sisteminin, simülasyonun sayısal çözüm dengesi ve doğruluğu üzerinde geniş bir etki oluşturduğu bilinmektedir. Model geometrisi, ağ sistemi tarafından tanımlanan kontrol hacimlerinden oluşmaktadır. Hesaplama alanı içindeki ağ yoğunluğu ne kadar fazla olursa, genel olarak akışkan dinamiği çözümünün hassasiyeti de o kadar artmaktadır.



Şekil 4. Anoksik tankın sayısal ağ oluşumu

Şekil 4 modellemesi yapılan anoksik tankın sayısal ağ oluşumunu göstermektedir. Bu sistemde toplam 40000 eleman bulunmaktadır.

2.3. Tam Ölçekli İzleyici Testleri

İzleyici testleri, bioreaktörlerdeki hidrolüğün hidrolik bekletme zamanı ve dağılımı eğrilerinin analizi ile karakterize edilmesinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır (2, 9, 14, 4, 7, 10). İz testleri genellikle reaktör girişlerine kimyasalın verilmesi ve reaktör çıkışında örneklerin alınarak içerisindeki kimyasal konsantrasyonunun ölçülmesi şeklinde yapılmaktadır. Ölçülen kimyasalların birim zamandaki konsantrasyonlarını gösteren grafikleri oluşturulmaktadır. Bu grafiklerden yararlanarak tank hidrolüğü değerlendirilir. Hidrolik alıkonma süresi ve dağılımını gösteren bu eğriler akışkanın reaktör içerisinde toplam kalma süresini göstermektedir.

Şu ana kadar yapılan çalışmalarda çözülebilir tuzlar, boyalar, radyoaktif bileşikler ve mikroorganizmalar gibi birçok izleyici maddeler hidrolik alıkonma süresi ve dağılımı eğrisi oluşumlarında denenmiştir. Bunların arasında lityum tuzlarının kullanımı; evsel atık sularda düşük ve sabit konsantrasyonlarda bulunmaları ve aynı zamanda mikroorganizmalar tarafından ne adsorblanabilir ne de indirgenebilir olması özelliğinden dolayı çok yaygındır (10). Birçok matematik model hidrolik alıkonma süresi ve dağılımı eğrilerine uyarlanabilir ve hidrolik tanımlaması yapılabilir. Bu çalışmada bu amaç için HAD modeli seçilmiştir.

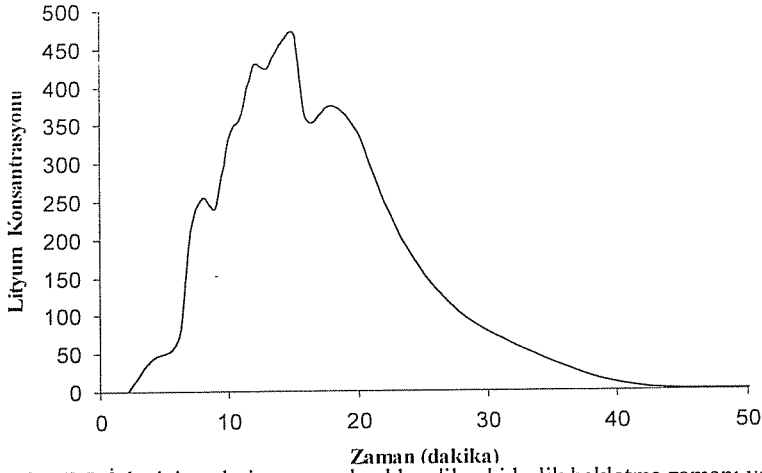
Bu çalışmada, tam karışımli bir anoksik reaktörde hidrolik akım koşullarının belirlenmesi amacı ile izleyici çalışmaları yapılmıştır. Reaktördeki hidrolik davranışın özelliklerini belirleyen bu yöntem, reaktör girişinde bir izleyici maddenin ani enjeksiyonuna ve çıkış suyunda bu maddenin zaman içerisindeki derişiminin izlenmesi esasına dayanmaktadır. İzleyici madde olarak lityum klorid kullanılan ani izleyici çalışmasında test boyunca reaktöre giren bütün akım sabit tutulmuştur.

10 kg LiCl su içerisinde çözdürülmüş ve 25 l'lik tuzlu su hazırlanmıştır. Hazırlanan tuzlu su 50 m'lik bir hortuma boşaltılmıştır. Basınçlı yıkama suyu kullanılarak birkaç saniye içerisinde tank girişine enjekte edilmiştir. Tank çıkışında her biri 100 ml'lik örnekler alınmıştır. Örnekler çökelmeye bırakılmıştır ve sonra 1.2 µm filtreden geçirilmiştir. Örnekteki lityum konsantrasyonu Eppendorf ELEX 3631 fotometresi ile ölçülmüştür. Lityum standart eğrisi oluşturulurken fotometrenin kalibrasyonu son atık sunun seyreltilmiş su olarak kullanılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde ölçümü yapılan lityum konsantrasyonları kullanılarak hidrolik alıkonma süresi ve dağılım eğrisi oluşturulmuştur.

Çizelge 1 yapılan izleyici testleri analizlerini göstermektedir. Ölçümler sırasında izleyici madde konsantrasyonunda ve hızındaki ani değişiklikler tankın çıkış yapısındaki izleyici madde konsantrasyonlarının gerçek değerlerden farklı çıkmasına yol açmıştır. Bu değişiklikleri minimize etmek için kanal tank çıkış yapısının farklı 3 noktasından ortasından, sol üst ve sağ alt köşelerinden örnekler alınmış ve bunların aritmetik ortalamaları göz önünde bulundurularak hidrolik alıkonma süresince dağılım eğrisi oluşturulmuştur.

Çizelge 1. İzleyici testi sonuçları

Zaman (dak)	Lityum (izleyici madde) Konsantrasyonu ($\mu\text{g/l}$)			Ortalama
	1.nokta	2.nokta	3.nokta	
0	-1	0	-5	-2
2	0	0	-3	-1
4	39	71	17	42.3
6	68	80	55	67.7
7	224	192	220	212
8	156	327	282	255
9	263	263	200	266
10	328	291	375	331.3
11	348	365	374	362.3
12	387	484	415	425.7
13	424	404	445	424.3
14	498	440	425	454.3
15	510	445	450	468.3
16	332	370	365	355.67
18	319	385	420	374.67
20	355	300	360	338.3
22	149	340	225	238
25	113	195	150	152.67
30	89	64	80	77.67
40	6	10	15	31
50	0	4	0	1.33
60	-4	0	0	-1.33

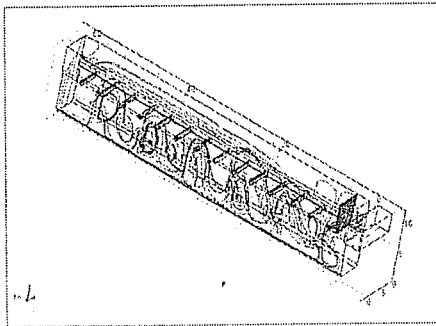


Şekil 5. İzleyici testleri sonucunda elde edilen hidrolik bekleme zamanı ve dağılımı eğrisi

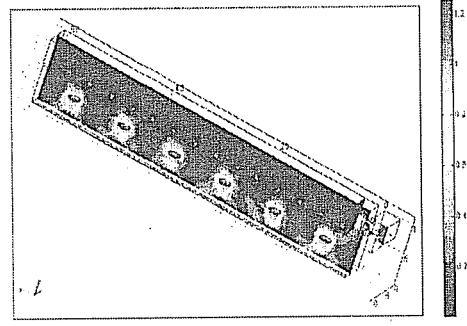
İzleyici testleri uygulanan tanka giren akım debisi 3.6 m³/s, bu da 16 dakikalık bir teorik hidrolik alıkonma süresine denk gelmektedir. Çizelge 1'e bakıldığı zaman maksimum lityum konsantrasyonunun ölçüldüğü dakika 15. dakikadır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tank boyunca hidroliğin çizgisel olarak nasıl değiştiğini Şekil 6 göstermektedir. Şekil incelendiğinde tankın üst kısımlarının alt kısımlarına nazaran çok aktif olmadığı çizgilerin yoğunluğu değerlendirilerek anlaşılabilmektedir. Tankın alt kısımlarında ise mikserlerin akım üzerindeki etkileri çizgi kıvrımlarına bakılarak kolayca anlaşılabilmektedir.



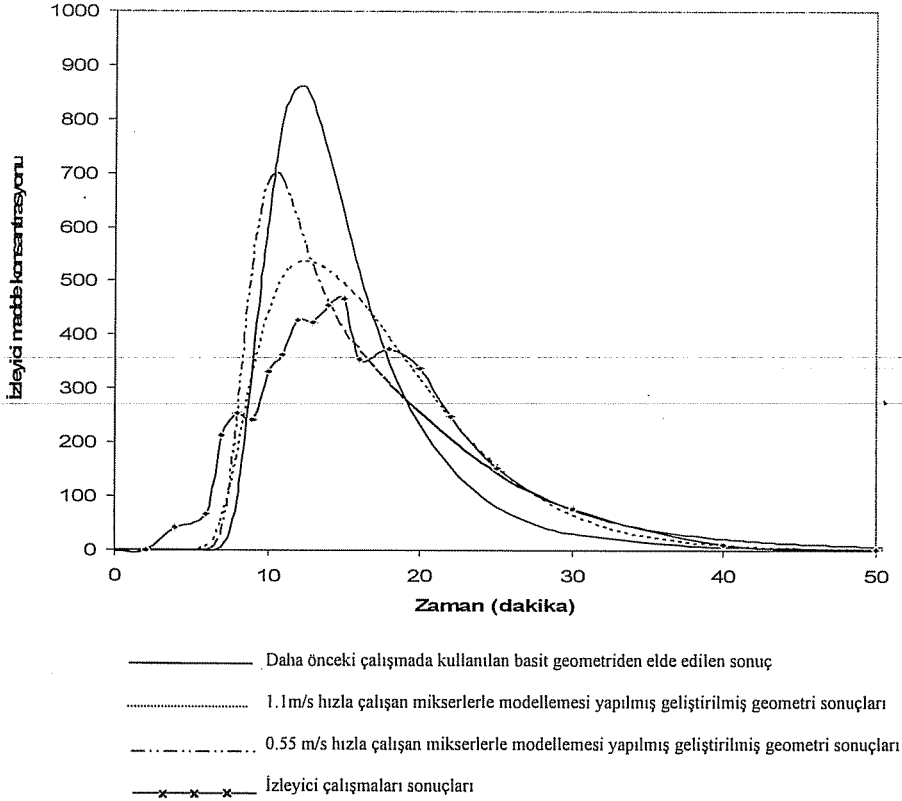
Şekil 6. Reaktör içindeki akışın "çizgi profil" ile gösterimi



Şekil 7. Reaktör içindeki akışkan hızının kesit profili ile gösterimi

Reaktör içerisindeki akış hızı Şekil 7'de gösterilmektedir. Şekildeki mikserlerin çevresini kaplayan açık renkteki alanlar akımın en hızlı olduğu bölgeleri göstermektedir. Tankın üst kısımlarını kaplayan koyu renkli alanlar ise akışın yavaş

olduğu yerleri göstermektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi mikserlerin çevresini kaplayan bölgelerde hız yüksek, tank yüzeyinde ise akım durgun ve hız düşüktür.



Şekil 8. HAD sonuçlarının izleyici testleri sonuçları ile karşılaştırılması

Şekil 8'de HAD sonuçları ve izleyici test sonuçlarının grafiksel gösterimi sunulmaktadır. Grafikler karşılaştırıldığında, giriş kanal yapısı ve geometrisi ile geliştirilmiş modelden çıkan sonuçların, izleyici test sonuçlarına ne kadar yakın olduğu açıkça görülmektedir. Daha önce çalışılan basit bir geometrinin verdiği değerler izleyici testleri sonuçlarına uzak düşmektedir. Geliştirilmiş geometriye giriş kanal yapısının eklenmesi de gerçek sonuçları olumlu yönde etkilemiştir. Mikserlerin hız değerini 1.1 m/s olarak değiştirilmesi grafikten de anlaşılabilceği gibi hemen hemen gerçek değerleri göstermektedir. Bu grafiklerin ortak noktası altında kalan alanların eşit olmasıdır. Grafiklerin altında kalan alan kullanılan toplam izleyici madde miktarını vermektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada HAD modeli kullanılarak Rya Atık Su Arıtma Tesisi Anoksik Tank'ın hidrolik davranışı incelenmiş ve iki alternatif uygulanarak gerçek değerlere uyan bir model oluşturulmuştur.

Bu çalışma daha önce yapılmış bir projenin devamıdır. Daha önce aynı tank üzerinde HAD kullanılarak hidrolik çalışmalar yürütülmüştür. Modelleme sonuçları ise deneysel çalışma sonuçlarına yakın çıkmamıştır. Bu durum da kullanılan modelleme programının güvenilirliğini tehlikeye atmaktadır.

Modellemesi yapılan anoksik tank geometrisinin basit bir dikdörtgen şeklinde simülasyona girmesi, çıkan sonuçların gerçek değerlerden uzak olmasının bir nedeni olabileceği düşüncesi ile geometri gerçek değerleriyle ayrıntılı olarak tekrar çizilmiş ve bir giriş kanal yapısı eklenmiştir.

HAD modelinde mikserlerin modellemesinde güçlükler oluşmaktadır. Bu nedenden dolayı mikser hızı olarak mikserlerin pompalama kapasitesinden faydalanılarak, mikserlerin yüzey alanına düşen dikey kuvvet mikser hızı olarak kabul edilmiştir. Bu değer ise 0.55m/s'dir. Yapılan çalışmada bir diğer alternatif olarak mikserler hızı 1.1 m/s seçilmiştir. Hem geometrinin geliştirilmesi hem de mikser hızlarının değiştirilmesi ile oluşan model sonuçları incelenmiştir. Geliştirilmiş geometri kullanılarak elde edilen iki farklı sonuç, daha önce aynı tank üzerinde aynı amaç için hidrolik çalışması yapılmış basit geometriden elde edilen sonuçla ve izleyici testi sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Geliştirilmiş geometri, geliştirilmiş giriş kanal yapısı ve 1.1 m/s hızla çalışan mikserler ile oluşturulan yeni modelden elde edilen sonuçlar daha kabul edilebilir ve gerçeğe yakın olduğu saptanmıştır.

5. KAYNAKLAR

1. Balmer,P., Ekfjorden,L., Lumley,D. and Mattsson,A., "Upgrading for Nitrogen Removal Under Severe Site Restrictions", *Water Science Technology*, 37(9), 185-192, 1998.

2. Bode,H. and Syfriend,C.F., "Mixing and Detention Time Distribution in Activated Sludge Tanks", *Water Science Technology*, 17, 197-208, 1984.

3. Brouckaert,C.J. and Buckley,C.A., "The Use of CFD for Improving The Design Operation of Water and Wastewater Treatment Plants", *Water Science Technology*, 40(4-5), 81-89, 1999.

4. Burrows,L.J., Stokes,A.J., West,J.R., Forster,C.F. and Martin,A.D., "Evaluation of Different Analytical Methods for Tracer Studies in Aeration Lanes of Activated Sludge Plants", *Water Science Technology*, 33(2), 367-374, 1999.

5. Karama,A.B., Onyejekwe,O.O., Brouckaert,C.J. and Buckley,C.A., "The Use of Computational Fluid Dynamics (CFD)", *Technique for Evaluating The Efficiency of An Activated Sludge Reactor*, *Water Science Technology*, 39(10-11), 329-332, 1999.

6. Levenspiel,O., "Chemical Reaction Engineering", *John Wiley and Sons*, New York, 1962.

7. Martin,A.D., "Interpretation of Residence Time Distribution Data", *Chemical Engineering Science* 55, 5907-5917, 2000.

8. Metcalf and Eddy, "Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse", Revised by Tchobanoglous, G. and Burton, F. L. McGraw-Hill, Inc. Isbn 0-07-100824-1, 1991.
9. Newell, B. Bailey, J., Islam, A., Hopkins, L. and Lant, P., "Characterising Bioreactor Mixing With Residence Time Distribution Tests", *Water Science and Technology*, 37 (12), 43-47, 1998.
10. Olivet, D., Valls, J., Gordillo, M.A., Freixo, A. and Sanchez, A. "Application of Residence Time Distribution Technique to The Study of The Hydrodynamic Behaviour of Full-Scale Wastewater Treatment Plant Plug Flow Bioreactor", *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 80, 425-432, 2005.
11. Salter, H.E., Ta, C.T., Williams, S.C., "Three Dimensional Computational Fluid Dynamic Modeling of a Facultative Lagoon", *Water Science and Technology*, 38 (1) 55-62, 2000.
12. Wik, T., Olsson, D. and Lumley, D., "Model Based Control of External Carbon Dose Rate in A Full-Scale Predenitrification System", In 9th IWA Conference on Design Operations and Cost of Large WTP's. Prague, Czech Republic, 2003.
13. Wilcox, D.C., "Turbulent Modeling for CFD, DCW Industries", Tnc. Isbn 0-9636051-5-1, 2000.
14. Williams, S.C. and Beresford, J., "The Effect of Anaerobic Zone Mixing on The Performance of a Three Stage Bardenpho Plant", *Water Science and Technology*, 38 (1) 55-62, 1998.
15. Zhang, J., Huck, P.M. and Anderson, W.B., "Optimization of a Full-Scale Ozone Disinfection Process Based on Computational Fluid Dynamics Analysis", In 11th Gothenburg Symposium 2004, Chemical Water and Wastewater Treatment, VIII, Orlando, Florida, USA, 2004.

KOZLAR (MUT-MERSİN) DOLAYININ STRATİGRAFİSİ

Orkun ÖZKALE, Cengiz YETİŞ ve
Deniz ERDOĞAN-İBİLİOĞLU

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

ÖZET : Bu çalışma ile Mersin ili, Mut ilçesinin yaklaşık 18 Km kuzeydoğusunda, Kozlar yaylası ve dolayında Mersin O30-c2 ve O31-d1 paftaları içerisinde yer alan bölgenin stratigrafik özellikleri incelenerek, belirtilen alanın 1/25.000 ölçekli detay jeoloji haritası hazırlanmıştır.

Yapılan incelemeler sonucunda çalışma alanında başlıca 5 adet kaya stratigrafik birimi ayırtlanarak haritalanmıştır. Tersiyer istifi; killi kireçtaşı ve marn ardalanmalı Erken Miyosen yaşlı Karsanti formasyonu (Fakırca üyesi); silttaşı, marn ve kumlu kireçtaşı yapıtlı Erken-Orta Miyosen yaşlı Kaplankaya (Dağpazarı) formasyonu; resifal kireçtaşından oluşan Erken-Orta Miyosen yaşlı Karaisalı kireçtaşı (Mut formasyonu); marn, killi kireçtaşı, kireçtaşı, kumtaşı ve çakıltaşı yapıtlı Erken-Orta Miyosen yaşlı Güvenç (Köselerli) formasyonu ve Kuaterner yaşlı Yamaç Molozu ile temsil edilmektedir.

Anahtar kelimeler: Kozlar yaylası, Stratigrafi, Tersiyer.

STRATIGRAPHY OF THE KOZLAR (MUT-MERSİN) AREA

ABSTRACT : The detailed geological and stratigraphic features of the region around the Kozlar Plateau, which is located approximately 18 km to the northeast of the Mut town of the Mersin, were studied and mapped on 1:25,000 scale topographic base maps of Mersin O30-c2 and O31-d1 topographical sheets. .

Tertiary sequences are represented by clayey limestone and marl of Early Miocene Karsanti formation (Fakırca member), silt, marl and sandy limestone of Early-Middle Miocene Kaplankaya (Dağpazarı) formation, reefal limestone of Early-Middle Miocene Karaisalı limestone (Mut formation), sandstone and conglomerate of Early-Middle Miocene Güvenç (Köselerli) formation in the study area where all units are overlain by Quaternary alluviums.

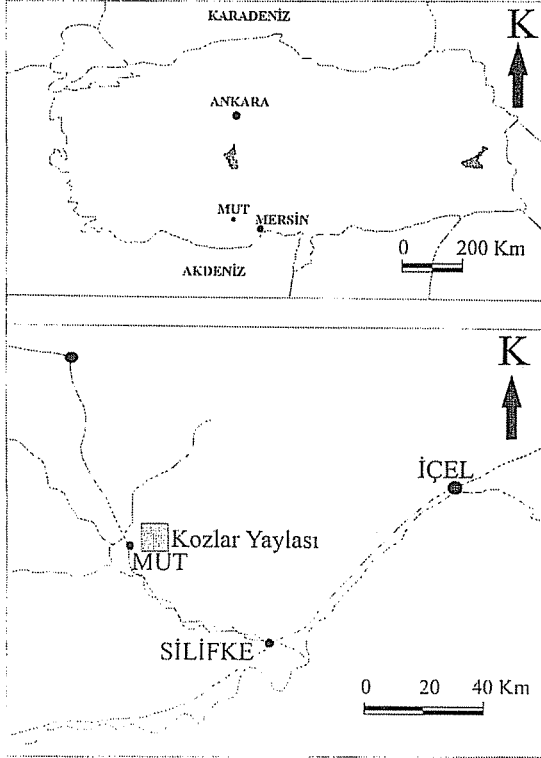
Key words : Kozlar Plateau, Stratigraphy, Tertiary.

1. GİRİŞ

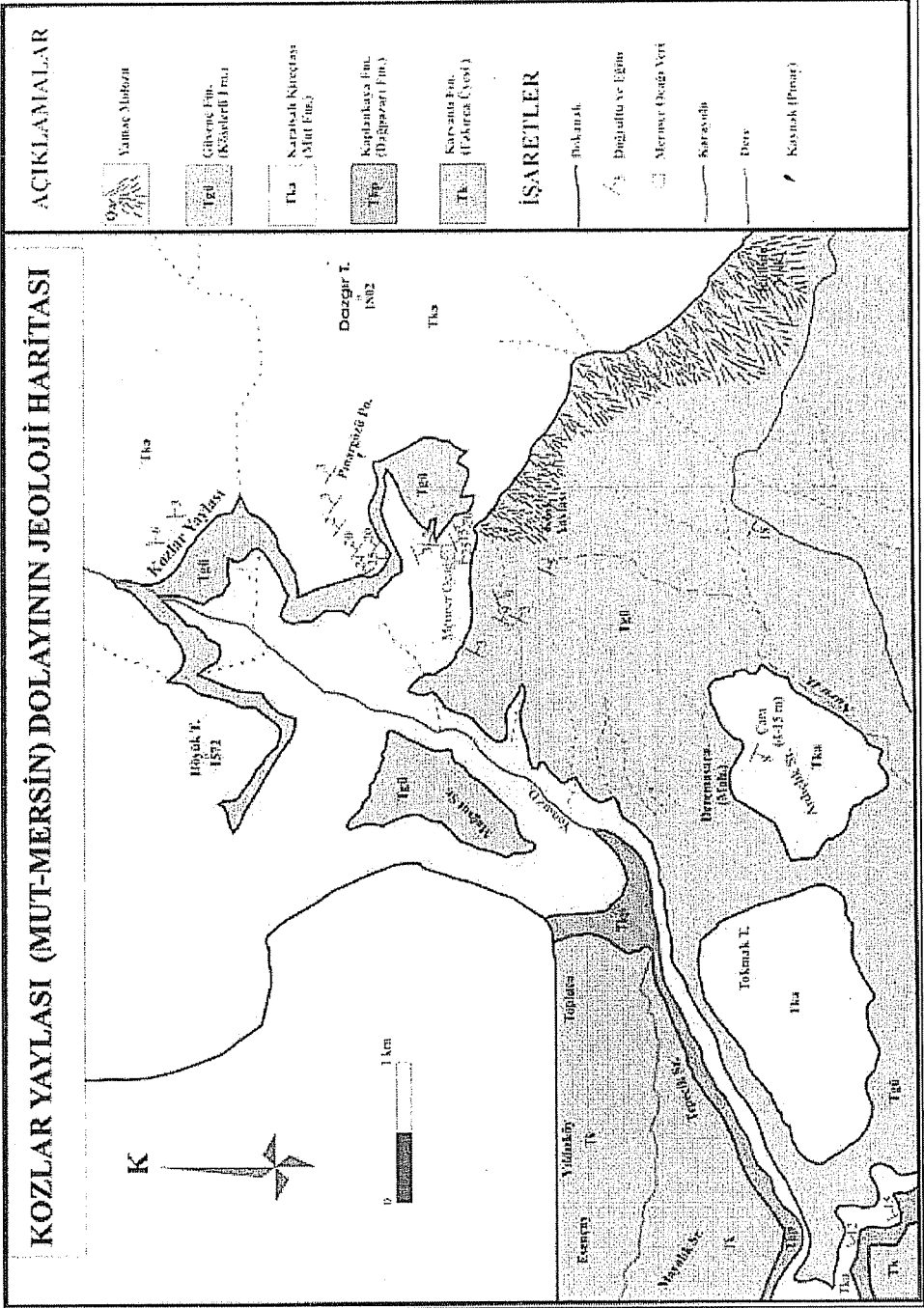
İnceleme alanı Mersin ili, Mut ilçesinin yaklaşık 18 Km kuzeydoğusunda, Köşk yaylası, Höyük Tepe, Kozlar yaylası ve dolayında 1/25. 000 ölçekli Mersin O30-c2 ve O31-d1 paftalarında yer almaktadır (Şekil 1).

Bölgenin detaylı jeolojik incelemesi yapılarak Senozoyik yaşlı kaya birimleri litostratigrafi ve kronostratigrafi esaslarına göre ayırtlanmış olup, bölgenin 1/25. 000 ölçekli ayrıntılı jeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 2).

Çalışma alanında Adana baseni Tersiyer istifine benzeyen bir istif gözlenmektedir. Bölgede Mayalık Sırtı, Esençay, Topluca ve Tepecik Sırtında yüzeylemekte olan birim killi kireçtaşı ve marn ardalanmalı, gölsel Erken Miyosen (Akitanien) yaşlı Karsanti formasyonu (Derinçay formasyonu, Fakırca Üyesi); Tepecik Sırtı güney ve güneybatısında yüzeyleyen birim; silttaşı, marn ve kumlu kireçtaşı yapıllı Erken-Orta Miyosen (Burdigaliyen-Langiyen) yaşlı sığ deniz-plaj çökellerinden ibaret Kaplankaya (Dağpazarı) formasyonu; Kozlar yaylası, Ardıçlık Sırtı ve Tokmak Tepe civarında gözlenen resifal kireçtaşından oluşan Erken-Orta Miyosen (Burdigaliyen-Langiyen) yaşlı Karaisalı kireçtaşı (Mut formasyonu); marn, killi kireçtaşı, kireçtaşı, kumtaşı ve çakıltası yapıllı Mağsut Sırtı, Küllüin Mevki ve Köşk yaylası civarında yüzeyleyen birim Erken-Orta Miyosen (Burdigaliyen-Langiyen geçişi) yaşlı derin deniz çökellerinden ibaret Güvenç (Köselerli) formasyonu ve Küllüin Mevki ve Köşk yaylası civarında yüzeyleyen Kuvaterner yaşlı Yamaç Molozu'dan oluşmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası



Şekil 2. Kozlar yaylası dolayının jeoloji haritası (Özkale 2005'ten).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İnceleme alanının yakın civarında jeolojik amaçlı çalışmalar yapmış olan araştırmacıların bir kısmı bölgenin petrol olanaklarını, bir kısmı da stratigrafik–tektonik özelliklerini konu edinerek bölgenin jeolojik evrimini açıklamaya çalışmışlardır.

Çalışma alanı civarında incelemeler yapan Akarsu, Schmidt, Yetiş, Gedik ve diğ., Yetiş ve Demirkol, Yetiş, Tanar ve Gökçen, Atabey, İslamoğlu ve Atabey, Yetiş, Atabey ve diğ., Yetiş, Gül ve diğ., Özdoğan gibi araştırmacılar bölge jeolojisine önemli katkılarda bulunmuşlardır (1-15).

3. STRATİGRAFI

3.1. Giriş

Çalışma alanında Senozoyik'e ait dördü Tersiyer'de, biri Kuvaterner'de olmak üzere toplam beş farklı litostratigrafi birimi ayırtlanmıştır. Ayırtlanan litostratigrafi birimlerinin özellikleri ve birbirleriyle olan dokanak ilişkileri Genelleştirilmiş Stratigrafi Kesiti'nde sunulmuştur (Şekil 3).

S E N O Z O Y İ K S İ S T E M	T E R S I Y E R S İ S T E M	M E S O J E N E N S E R İ	A L T M I Y O S E N C İ G E N S E R İ	P O R M A S - Y O N	K A L I N L I K	L İ T O L O J İ	A Ç I K L A M A L A R
					80m		Yımaç Molozu UYUMSUZLUK
					940 m		Killi Kireçtaşı, Marn ardalanması
					60m		Kalın tabakalı masif, iltg, mercanlı kireçtaşı, killi kireçtaşı
					60m		Çakıltaşı, Kireçtaşı, Kumtaşı, Marn
					85 m		Şeyl. Killi Kireçtaşı, Marn, Kireçtaşı
MESO- ZOYİK	ÜST KRİTASYİ						UYUMSUZLUK Peridaiti, gabra, tuf

Şekil 3 . Kozlar yaylası dolayının Genelleştirilmiş Stratigrafi Kesiti

Bunlar; killi kireçtaşı ve marn ardalanmalı, gösel Oligosen-Erken Miyosen (Akitaniyen) yaşlı Karsantı formasyonu (Derinçay formasyonu, Fakırca Üyesi); siltaşı, marn ve kumlu kireçtaşı yapıslı Erken-Orta Miyosen (Burdigaliyen-Langiyen) yaşlı sığ deniz-plaj çökellerinden ibaret Kaplankaya (Dağpazarı) formasyonu; resifal

kireçtaşından oluşan Erken-Orta (Burdigaliyen-Langiyen) yaşlı Karaisalı kireçtaşı (Mut formasyonu); marn, killi kireçtaşı, kireçtaşı, kumtaşı ve çakıltası yapırlı Erken-Orta Miyosen (Burdigaliyen-Langiyen geçişi) yaşlı derin deniz çökellerinden ibaret Güvenç (Köselerli) formasyonu ve Kuvaterner yaşlı Yamaç Molozu'dur.

Kozlar yaylası civarında ofiyolitik temel üzerine açısız uyumsuzlukla gelen Karsantı formasyonu (Fakırca üyesi) üzerine uyumlu olarak gelen Kaplankaya (Dağpazarı) formasyonu ve bunun üzerine yanıl ve düşey geçişli olarak gelen resifal Karaisalı kireçtaşı (Mut formasyonu) ile pelajik fosilli Güvenç (Köselerli) formasyonu çökelmıştır. Bununda üzerinde uyumsuz olarak Yamaç Molozu gelmektedir (Şekil 3).

3.2. Karsantı formasyonu (Derinçay formasyonu, Fakırca üyesi) (Tk)

Adana Baseni Tersiyer istifinde ilk kez Schmidt tarafından adlandırılmış olan kaya stratigrafi birimi, açık gri renkli, ince-orta ve kalın tabakalı marn ve çamurtaşından oluşmaktadır (2, 16). Mut-Silifke Baseni Tersiyer istifinde Gedik ve diğ. ilk kez Fakırca köyüne atfen Derinçay formasyonunun Fakırca üyesi olarak adlandırmışlardır (4).

Karsantı formasyonu çalışma alanında başlıca Esençay, Yıldızköy, Topluca, Tepecik sırtı ile Mayalık sırtı ve civarında yüzlek vermektedir.

İnceleme alanı sınırları içerisinde birim genellikle, beyaz-bej ve açık gri renkli, marnın hakim olduğu litoloji killi kireçtaşı ve silttaşı bantları içermektedir. Açık gri-bej renkli, gevşek tutturulmuş dağılgan, yer yer sert, sağlam, keskin köşeli kırıklı, ince-orta tabakalı, kırılğan yapıya sahip olan birim bol miktarda gastropoda fosilleri içermektedir.

Birim ofiyolitik melanj üzerinde uyumsuz olarak durmaktadır. Çalışma alanında birimin kalınlığı 85 metredir. Atabey ve diğ.'ne göre birimin kalınlığı 50-150 m arasında değişmektedir (12).

Karsantı formasyonu Yetiş ve diğ.'ne göre Orta-Üst Miyosen yaşında olduğu belirlenmiş olmakla birlikte Karsantı havzasında Miyosen denizi transgresyonunun bölgeye erişmediği varsayılarak Oligosen-Üst Miyosen aralığında çökeldiğini kabul etmişlerdir (16). Fakırca üyesinin yaşını Gedik ve diğ. Burdigaliyen, Tanar ve Gökçen Üst Oligosen-Akitaniyen, Tanar Üst Oligosen-Alt Miyosen olarak vermişlerdir (4, 7, 17).

Kömürlerin varlığı, bitki sap ve kök izleri bulunması, denizel fauna içermemesi bu birimin göl ortamında depolanmış olduğunu göstermektedir.

3.3. Kaplankaya (Dağpazarı) formasyonu (Tkp)

Kaplankaya formasyonu ilk kez Yetiş ve diğ. tarafından Adana baseninde adlandırılmış olup bu kaya stratigrafi birimini; başlıca boz renkli çakıllı kumtaşı, kumtaşı, kumlu-killi kireçtaşı-marn yapırlı, ince-orta tabakalı olarak belirlemişlerdir (16). Mut-Silifke Baseni Tersiyer istifinde ilk kez Gedik ve diğ. tarafından Mut yöresindeki Dağpazarı köyü çevresinde yüzeyleyen çakıltası, kireçtaşı, kumtaşı, marn denizel olmayıp, lagüner ve yer yer alüvyon yelpazesi ürünleridir (4).

İnceleme alanında birim Topluca köyünün güneydoğusu ile Kızılkaya tepesinin kuzeydoğusu arasında yüzeylenmektedir (Şekil 2).

Birim açık gri, yeşilimsi-gri, boz renkli, kumtaşı, çakıltası, kumlu-killi kireçtaşı, çamurtaşı ve marn yapırlı, ince orta tabakalı, bol gastropoda ve ostrealıdır.

Birim tabanda Karsanti formasyonu, tavanda Karaisalı kireçtaşı ile uyumludur. Kaplankaya formasyonu Güvenç formasyonu ile yanall düşey geçişler sunmaktadır. Mut Silifke Baseninde birim Karaisalı kireçtaşı (Mut formasyonu) ve Güvenç (Köselerli) formasyonu ile geçişlidir.

Kaplankaya formasyonu 60 m kalınlığa sahiptir. Yetiş ve diğ. tarafından Adana Baseninde birimin kalınlığı 35-60 m arasında ölçülmüştür (16).

Birimi oluşturan çökeller sığ deniz-plaj ortamında çökelmış olmalıdır.

3.4. Karaisalı (Mut formasyonu) kireçtaşı (Tka)

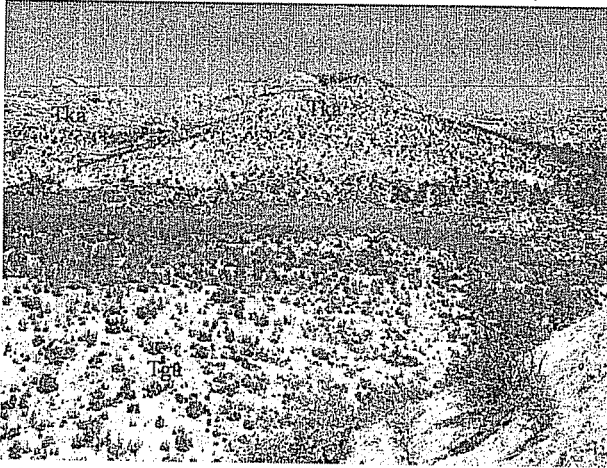
İlk kez Schmidt tarafından Adana Baseninde kullanılan Karaisalı kalkerleri adı daha sonraki araştırmacılar tarafından Karaisalı kireçtaşı ve Karaisalı formasyonu olarak değıştirilmiştir (2). Birim adını oldukça geniş mostralalar sunduğu, tip kesit ve yerinin gözlendiği Adana'nın Karaisalı ilçesinden almıştır. Mut-Silifke Baseni Tersiyer istifinde bulunan formasyonun adı Mut ilçesinden alınmıştır. İlk kez Gedik ve diğ. tarafından adlandırılan birim resifal özellikte kireçtaşı nitelikli olup killi kireçtaşı, marn ve yer yer kumtaşı bantları içermektedir (4).

Birim çalışma alanında oldukça geniş bir yayılım sunmaktadır (Şekil 2). Sunduğu tek düze görünüm, litoloji, sedimantoloji ve paleontoloji özellikleri ile sahada kolayca tanınabilmektedir (Şekil 4).

İnceleme alanında Kozlar yaylası, Höyük tepe, Dazgır tepe, Ardıçlık sırtı, Tokmak tepe ve civarında yüzylemektedir

Karaisalı kireçtaşının ayrışmış yüzeyi açık gri, taze kırık yüzeyi bej renkli, sert-sağlam yapılışı, keskin köşeli kırıklı, mikritik dokulu ve bol miktarda alg ve mercan kavkıları içermektedir. Genellikle orta-kalın katmanlı, yer yer de masif görünümlüdür. Birim içerisinde yer yer ayrışmış yüzeyi açık gri, taze kırık yüzeyi kahverengi-bej renkli, orta-kalın tabakalı, dayanımlı, bol fosilli, yer yer killi ve ayrışmalı kireçtaşı bantları bulunmaktadır.

Karaisalı kireçtaşından icelene alanındaderlenen nokta örneklerin ince kesitlerinin petrografik incelenmesi sonucunda aşığıdaki tanıtımlar yapılmıştır.



Şekil 4. Karaisalı kireçtaşının batıdan genel görünümü.

Amphistegina'lı, Algli biyosparit

Kozlar Yaylası güneydoğusunda Mut-Kozlar Yaylası kara yolu üzerinde, Pınargözü pınarının yaklaşık 1 Km kuzeybatısından alınmıştır.

Kireçtaşı, ayrılmış yüzeyi gri, kirli beyaz, taze kırık yüzeyi bej renkli, çok kalın-som tabakalanmalı, ince-orta kristalli, alg, mercan v.b. fosillidir.

Kayacın bünyesinde *Amphistegina* sp., *Borelis* sp., lamellibrans kavkı kesiti, alg, mercan kesiti v.b. den oluşan biyoklastlar % 50 kadardır. %10 dolayında mikritik yapıllı intraklastlar mevcuttur. Allokemler sparitik zeminde çoğunlukla tane desteklidir. Kayaç % 8 kadar gözeneklidir. Kimi fosillerin içleri ve erime ile genişletilmiş gözenek alanları orta sparitkalsitle dolguludur (Şekil 5).

Biyomikrosparit

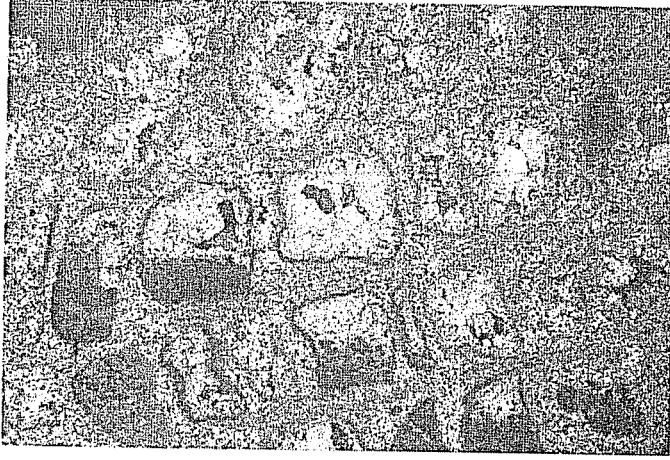
Pınargözü pınarından yaklaşık 1 Km kuzeybatısından alınmıştır.

Kireçtaşı, ayrılmış yüzeyi gri, taze kırık yüzeyi bej, som-çok kalın tabakalı, ince-orta kristalli, yüksek dayanımlı, alg, mercan fosillidir.

Kayacın bünyesinde %15 kadar intraklast, %30 kadar alg, lamellibrans kavkı kesiti, *Millioidea*, foraminifer v.b. biyoklastlar bulunmaktadır. Mikrosparitik zeminde yer yer tane destekli olan kayaç %6 kadar kristal arası gözeneklidir. Erime ile genişletilmiş gözenek alanları ile bazı fosil içleri orta sparitkalsit, kimilerinin tabanı mikrit dolguludur (Şekil 6).



Şekil 5. Amphistegina'lı, Algli biyosparitte, erime ile genişletilmiş gözenek alanları orta-iri sparitkalsit dolguludur. 40X,PI



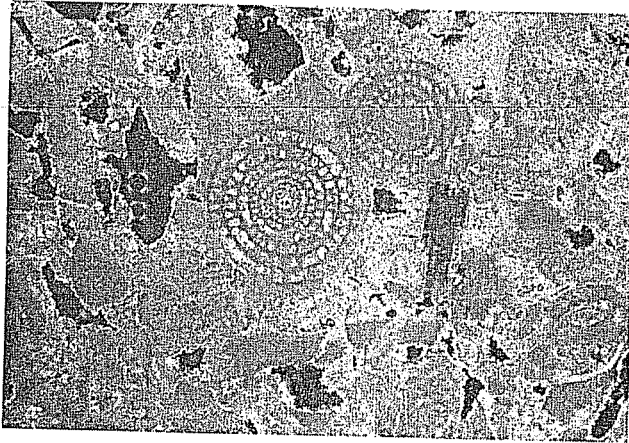
Şekil 6. Biyomikrosparitte kimi fosil kalıplarının tabanı mikrit ve üstü sparikalsit dolgularının görünümü. 40X, PI

Algli Biyomikrit

Kozlar Yaylası kuzeydoğusundan yaklaşık 100 m alınmıştır.

Kireçtaşının ayrıışmış yüzeyi gri, taze kırık yüzeyi bej renkli, birim, çok kalın masif som tabakalanmalı, dayanımlı, ince-orta kristalli, alg, mercan v.b. fosillidir.

Alg, *Borelis* sp., Lamellibrans gibi iri kavkılı fosiller ile ekinit kavkı diken-kesiti, Millioliidae, Textularia gibi foraminifer cinsi biyoklastlar mikritik zeminde %55 dolayındadır ve tane desteklidir. Kayaç %12 kadar gözenekli olup gözeneklerin bir kısım kalıp, bir kısımda koçuk gözeneği şeklindedir. Erime ile genişletilmiş koçuklar ince-orta sparikalsit dolguludur. Stilolit oluşumu seyrek ve başlangıç aşamasında olup yer yer Fe'li ve killi maddeler ile doldurulmuştur (Şekil 7).



Şekil 7. Milliodea fosili bulunduran Algli biyomikritin ince kesitteki görünümü 40X.PI

Algli Biyomikrit

Pınargözü pınarından yaklaşık 825 m kuzeydoğusundan alınmıştır.

Kayacın alındığı yer tabakanın üst kesimine ait olup, ayrılmış yüzeyi gri, taze kırık yüzeyi bej renkli, çok kalın tabakalı, dayanımlı, yer yer çatlaklı ve çatlaklar ikincil kalsit dolgululu, ince-orta kristalli ve alg fosillidir.

Alg, Miliolidae, Textularia gibi biyoklastlar % 60 dolayındadır. Kayaç % 4 gözeneklidir. Mikritik zeminde biyoklastlar yer yer tane desteklidir. Erime ile genişletilmiş boşluk ve kimi fosil içleri orta-iri sparikalsit dolguludur (Şekil 8).



Şekil 8. Algli Biyomikritte erime genişlemiş, gözenek alanları. 40X, PI yer yer orta-iri sparikalsit dolguludur.

Araziden alınan Karaisalı formasyonuna ait örneklerden yapılan ince kesit tanımlarına göre birim biyoklastlı taneler içeren, sparitik çimento ve mikrit hamura sahip, boşluklarında kalsitli dolgular bulduran, Folk'a göre Biyosparit, Biyomikrosparit, Algli-Mercanlı Biyosparit, Amphistegina'lı-Algli Biyosparit, Biyomikrit, Algli-biyomikrit, Algli-Biyomikrosparit yapılarıdır (18).

Karaisalı kireçtaşı çökelişi sırasında bölgedeki paleotopografik düzensizlikler, deniz seviyesindeki alçalıp yükselmeler ve havzaya taşınan çökel oranındaki değişimlere bağlı olarak taban ve tavanındaki birimlerle hızlı, yanal ve düşey fasiyes değişimleri sunmaktadır. Birim çalışma alanında tabanda ofiyolitli melanaj üzerine açılmalı uyumsuz olarak gelmekte, tavanda ise Güvenç formasyonu ile yer yer yanal ve düşey fasiyes ilişkisi sunmaktadır. Karaisalı kireçtaşı tabanında Adana baseninde yaygın yayılımlı bulunan Gildirli formasyonu bulunmamaktadır. Bunun nedeni bölgenin paleotopografik yüksek olması ile ilgili olmalıdır.

Araziden alınan Karaisalı formasyonuna ait numunelerden yapılan ince kesitlerde biyokalstlı Karaisalı kireçtaşı Kaplankaya formasyonu ile uyumlu ve Güvenç formasyonu ile yanal ve düşey geçişlidir. Çalışma alanında Karaisalı kireçtaşı 940 m kalınlığına sahiptir.

Atabey ve diğ. yaptıkları çalışmada birimin yaşını; istifin alt kesimlerinde, özellikle karbonat yığılmasını (tümsekleri) karakteri gösteren seviyeleri Üst Burdigaliyen-?Alt

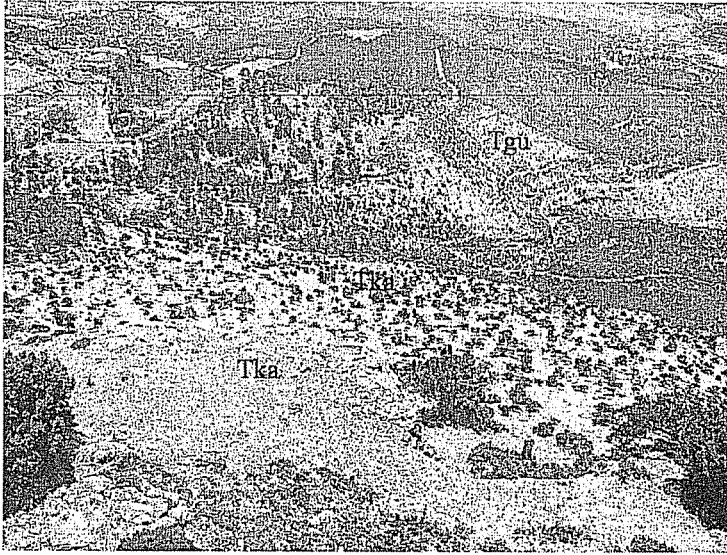
Langiyen, orta ve üst seviyelerinde ise Üst Langiyen-?Alt Serravaliyen olarak bildirmişlerdir (12).

Resifal kireçtaşından oluşan Karaisalı kireçtaşı sıcak, berrak ve çalkantılı sığ deniz ortamında, organizmalar tarafından meydana getirilmiştir.

3.5. Güvenç (Köselerli) formasyonu (Tgü)

Adana Baseninde mavimsi gri renkli, şeyl yapılı, silttaşı-kumtaşı ara katmanlı, bol mikrofauna içeren birimi Schmidt (2) Güvenç şeyli olarak adlandırmıştır. Formasyonun adı Mut-Silifke Baseninde, Mut güneyindeki Köselerli köyünden alınmıştır.

Çalışma alanında Mağsut Sırtı, Köşk yaylası ve Küllün Mevki dolayında geniş yüzlekler vermektedir. Sunduğu yumuşak morfoloji ile arazide kolaylıkla tanınmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. Güvenç (Köselerli) formasyonunun arazide kuzeydoğu yönünden genel görünümü.

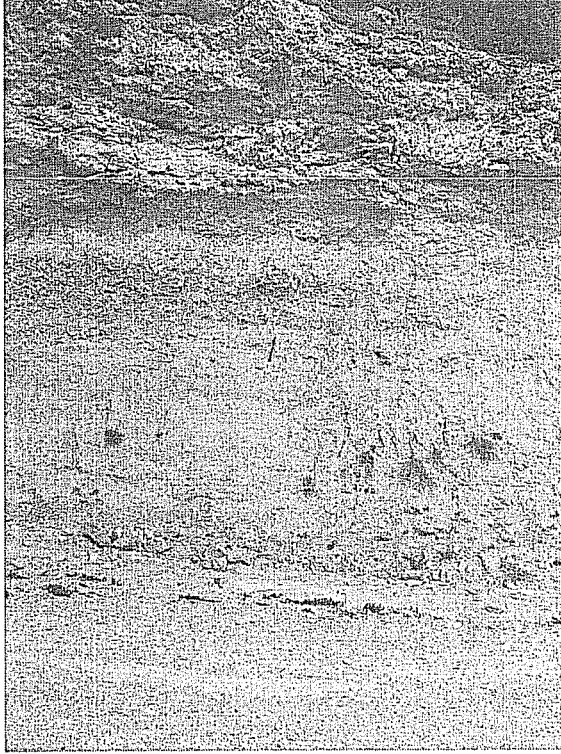
Güvenç (Köselerli) formasyonu çalışma alanında; ayrılmış yüzeyi koyu kirli beyaz, taze kırık yüzeyi kirli beyaz-açık gri renklidir. Kayaç marn, killi kireçtaşı, silttaşı, kumtaşı ve yer yer çakıltası bantları içermektedir; ayrıca kireçtaşı ile ara katkılı olarak bulunmaktadır. Güvenç formasyonu bünyesinde bol miktarda Gastropoda, Peleciopoda, *Ostrea* v.b. fosillere rastlanmıştır (Şekil 10).

Adana baseninde Yetiş ve Demirkol, birimin derin deniz fasiyesini karakterize eden kırıntılardan oluştuğunu belirtmişlerdir (5). Birim düzensiz bir topoğrafyaya bağımlı olarak Karaisalı kireçtaşı üzerine yanal/düşey geçişli olarak gelmektedir (Şekil 9). Üst sınırında bulunan Yamaç Moluzu ile uyumsuz durmaktadır.

Birim 15 m ile 150 m arasında kalınlık değişimi göstermektedir.

Bu çalışmada derlenen örneklerde *Globigerinoides trilobus* (Brady), *Globorotalia obesa* Bolli, *Praeorbulina glomesora curva* Blow, *Globigerina venezuelana* Hedberg, *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny) gibi planktonik foraminiferlerin yanı sıra; ostrakodlardan *Cytherella* sp., ekinid fosilleri belirlenmiş ve birime Erken-Orta Miyosen (Geç Burdigaliyen-Langiyen geçişi) yaşı verilmiştir.

Formasyon litoloji özelliği ve fosil kapsamına derin deniz ortamında çökelmiştir. Birim resifal Karaisalı kireçtaşının transgresyon evresinde resif ilerisi fasiyesini oluşturmaktadır.



Şekil 10. Kozlar yaylası kuzeyi yol yarmasında Güvenç formasyonu içinde yaklaşık 5 m kalınlığa sahip olan *Ostrea*'lı seviye.

3.6. Yamaç Molozu (Qa)

Birim çalışma alanında Köşk yaylası ve Küllün Mevki. dolayında yüzelemektedir.

Yamaç molozu açık kahve renkli, tutturulmamış, küt köşeli az yuvarlak kireçtaşı taneleri ile kum ve kil tanelerinden ibarettir (Şekil 11).

Kuvaterner yaşlı yamaç molozu, Karaisalı kireçtaşı ile yanal ve düşey geçişli olan Güvenç formasyonun üzerinde uyumsuz olarak durmaktadır.



Şekil 11. Köşk yaylasının güneydoğusunda gözlenen çok kalın Yamaç Molozunun arazideki görüntüsü.

4. SONUÇLAR

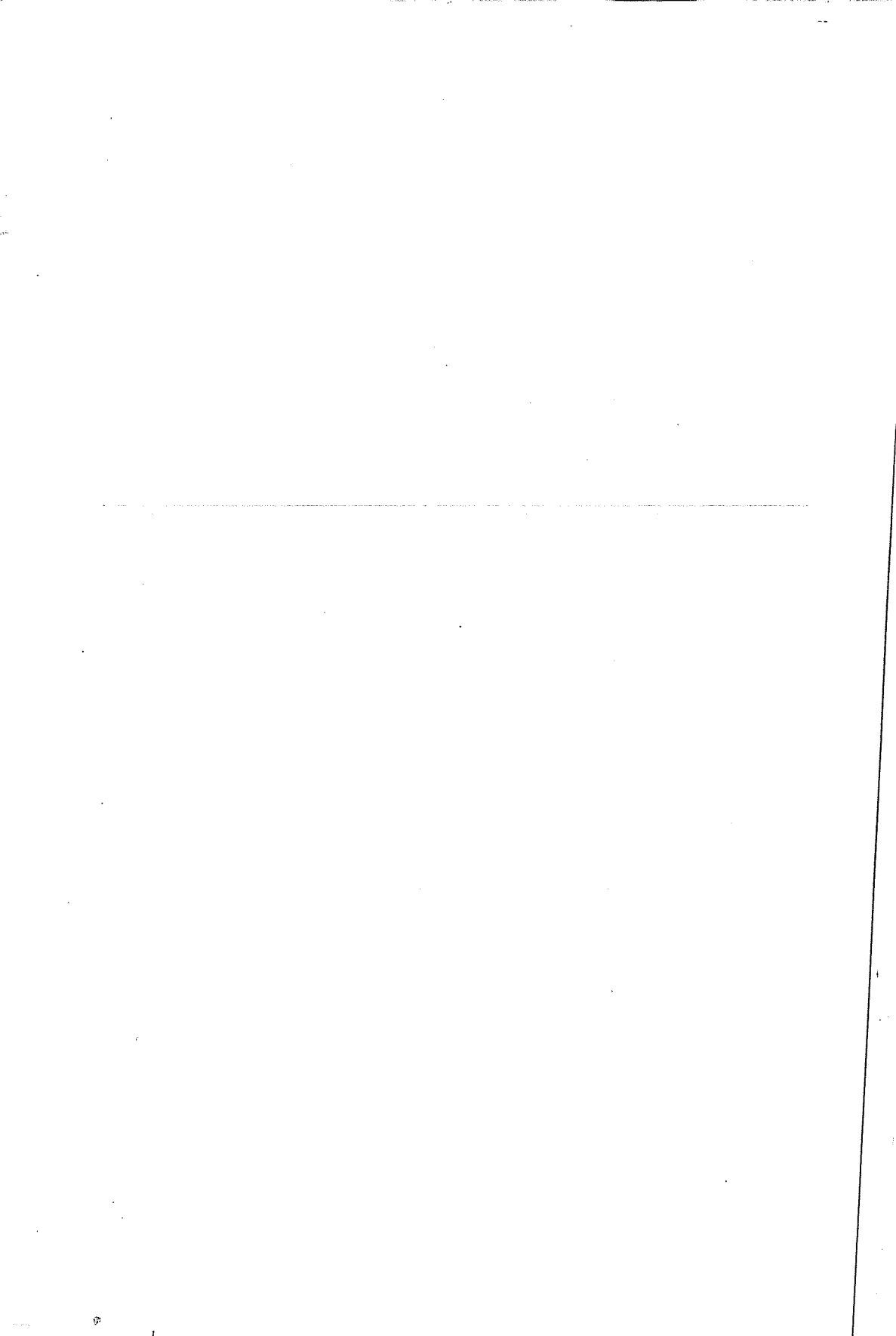
5 adet kaya stratigrafi birimi ayırtılarak 1/25.000 ölçekte haritalanmıştır. Bölgede ofiyolitli melanj temel üzerinde sırasıyla Erken Miyosen (Akitanıyen) yaşlı göl ortamında çökelmiş şeyl, killi kireçtaşı, marn ve kireçtaşından oluşan Karsantı formasyonu (Derinçay formasyonunun Fakırca üyesi), üzerine silttaşı, marn ve kumlu kireçtaşı yapıllı Erken-Orta Miyosen yaşlı (Burdigaliyen-Langiye) Kaplankaya (Dağpazarı) formasyonu, bununda üzerine transgresif olarak gelen, Orta Miyosen (Langiye-Serravaliyen geçişi) yaşlı sığ denizel kırıntılı karbonatlardan oluşan Karaisalı kireçtaşı (Mut formasyonu) ile derin denizel pelajik fosilli Erken Miyosen (Geç Burdigaliyen-Langiye geçişi) yaşlı Güvenç (Köselerli) formasyonu ve Kuvaterner yaşlı yamaç molozu gelmektedir.

Çalışma alanının dışında, kuzeybatısında bulunan ofiyolitik temel üzerine açısız uyumsuzlukla gelen Karsantı formasyonu (Fakırca üyesi) üzerine uyumlu olarak gelen Kaplankaya (Dağpazarı) formasyonu, bununla yanıl ve düşey geçişli olarak gelen resifal Karaisalı kireçtaşı (Mut formasyonu) ve pelajik Güvenç (Köselerli) formasyonu çökelmiştir ve bunların üzerine uyumsuz olarak Yamaç Molozu çökelmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Akarsu, İ., "Mut Bölgesinin Jeolojisi", *M.T.A. Dergisi*, 54: 36-45s., Ankara, 1960.
2. Schmidt, G.C., "Stratigraphic Nomenclature for The Adana Region Petroleum District", *VII. Petroleum Administration Bull.*, 6: 47-63 s., Ankara, 1961.
3. Yetiş, C., "Çamardı (Niğde) Yakın ve Uzak Dolayının Jeoloji İncelemesi ve Ecemiş Fay Kuşağının Maden Boğazı-Kamışlı Arasındaki Özellikleri", *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi, Doktora Tezi*, 164 s., İstanbul, 1978.

4. Gedik,A., Birgili,Ş., Yılmaz,H., Yoldaş,R., "Mut- Ermenek -Silifke Yöresinin Jeolojisi ve Petrol Olanakları". Türkiye Jeoloji Kurumu Bült., 22 / 1: 7- 26 s., Ankara, 1979.
5. Yetiş,C., Demirkol,C., "Adana Baseni Batı Kesiminin Detay Jeolojik Etüdü", M.T.A. Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etüdüleri Dairesi, Rapor (yayınlanmamış), 187 s., Adana, 1986.
6. Yetiş,C., "Reorganization of The Tertiary Stratigraphy in The Adana Basin, Southern Turkey", Newsl. Stratigr., 20 (1): 43-58 s., Berlin-Stuttgart, Germany, 1988.
7. Tanar,Ü., Gökçen,N., "Mut-Ermenek Tersiyer İstifinin Stratigrafisi ve Mikropaleontolojisi", M.T.A. Dergisi, 110: 175-180 s., Ankara, 1990.
8. Atabey,E., "Mut havzası Orta Miyosen Karbonat Yığılımlarının Litofasiyes Özellikleri ve Evrimi", 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiriler Kitabı, 7 s., Ankara, 1999a.
9. Atabey,E., "Mut havzası Orta Miyosen Karbonat İstifinin Sekans Stratigrafik Yorumu", 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiriler Kitabı, 8 s., Ankara, 1999b.
10. İslamoğlu,Y., Atabey,E., "Mut Havzası Karbonat Çökellerinde Saptanan Mollusk Faunasının Paleoekolojik ve Paleoortamsal Özellikleri", Türkiye Jeoloji Kurumu Bült., 10-12 s., Ankara, 1999.
11. Yetiş,C., "Çukurbağ-Çamardı (Niğde) Alanı Kuvaterner Çökellerinin Ecemiş Fayı Genç Hareketleri ile İlişkisi", Çukurova Üniversitesi, Araştırma Fonu, MMF99.5 nolu proje sonuç raporu (yayınlanmamış), 42 s., Adana, 2000.
12. Atabey,E., "Mut-Karaman Arası Miyosen Havzasının Litostratigrafisi ve Sedimentolojisi", M.T.A. Dergisi, 122: 16 s., Ankara, 2000.
13. Yetiş,C., "Kaşpazarı (Anamur-İçel) Dolay Karaisalı Kireçtaşının Sedimanter Petrografik Özellikleri", Çukurova Üniversitesi, Araştırma Fonu, MMF2000.9 nolu proje sonuç raporu (yayınlanmamış), 42 s., Adana, 2001.
14. Gül,M., Eren,M. ve Gürbüz,K., "Elmedin Tepe Resifi ve Kızılkaya Tepe Resif Kompleksinin (Mut-Mersin) Modal ve Fasiyes Analizi", Türkiye Jeoloji Bült., 46/2, 25-37s., Ankara, 2003.
15. Özdoğan,M., "Çevrimsel Dizilime Bir Örnek: Mut Havzasının Miyosen Stratigrafisi, Adana Havzası ile İlişkisi ve Paleocoğrafik Gelişimi", Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bült., 18: 77-95 s., Ankara, 2004.
16. Yetiş,C., Demirkol,C., Lagap,H., Ünlügenç,U., "Kozan-K20 paftası", M.T.A Genel Müdürlüğü, Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, 36: 19s., Ankara, 1991.
17. Tanar,Ü., "Mut Havzası Tersiyer İstifinin Stratigrafik ve Mikropaleontolojik (Ostrakod ve Foraminifer) İncelemesi", Ç.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora tezi, 172s., 1989.
18. Folk,R.L., "Spectral Subdivision of Limestone Types. In W.E. Haw (Ed., Classification of Carbonate Rocks", Aw. Assoc. Petrol. Geol. New. 1, 62-84s., 1962.



İNCE TANELİ ZEMİNDE KONSOLİDASYONLU-DRENAJSIZ KESME SIRASINDA BOŞLUK SUYU BASINCI DEĞİŞİMİ

Ali GÖKOĞLU

Ç.Ü., Ceyhan Meslek Yüksekokulu, Ceyhan / Türkiye

Hasan ÇETİN

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

ÖZET : *Bu çalışmada; yapay olarak hazırlanmış ince taneli kohezyonlu bir zeminde konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli deney esnasında deviatör gerilme ile boşluk suyu basıncı ve gerilme oranı arasındaki ilişki incelenmiştir. Sonuçlar, artan deviatör gerilme ile birlikte boşluksuyu basıncı ve gerilme oranının yenilme noktasına kadar arttığını ve bu noktadan sonra ise düşüşe geçtiğini göstermiştir.*

PORE PRESSURE CHANGES DURING CONSOLIDATED UNDRAINED SHEAR OF A FINE GRAINED SOIL

ABSTRACT : *In this study, relationships between deviatoric stress, pore pressure and stress ratio have been investigated during triaxial consolidated-undrained shear of a fine grained artificial soil. The results show that as the deviatoric stress increases, both the pore pressure and stress ratio increase up to the failure point and from this point on they both start to decrease.*

1. GİRİŞ

Zemin mekaniğinin erken çağlarında doğrudan kesme deneyi en popüler kesme deneyi idi. Sonra, 1930'larda M.I.T.'den A. Casagrande doğrudan kesme deneyinde karşılaşılan önemli bazı dezavantajları ortadan kaldırmak amacıyla silindirik örnekler üzerinde basınç deneyleri konusunda araştırmalara başladı. Yaygın bir şekilde üç eksenli basınç deneyi olarak adlandırılan bu deney şimdiye kadar bu iki deney çeşidi arasında en popüler olanını teşkil etmektedir. Üç eksenli basınç deneyi doğrudan kesme deneyine göre çok daha karmaşık olmakla beraber çok yönlüdür. Bu deneyde drenajı kolaylıkla kontrol edebiliriz. Bir diğer avantajı da yenilmeye giden gerilme izlerini oldukça kolay bir şekilde kontrol edebilmemizdir. Arazideki karmaşık gerilme izleri durumları üç eksenli basınç deneyi sayesinde laboratuvarda kolaylıkla modellenebilmektedir (1). Üç eksenli konsolidasyonlu - drenajsız (CU) deneylerde zeminde oluşabilecek boşluk suyu basıncı deney sırasında deney sırasınca kolaylıkla ölçülebilir.

Bu çalışmada, yapay olarak hazırlanmış ince taneli zemin numunesi üzerinde konsolidasyonlu-drenajsız (CU) üç eksenli deney gerçekleştirilmiş ve boşluk suyu basıncının değişimi gözlenmiştir. Çalışmada kullanılan yapay numune, Handere Formasyonunun (Adana Baseni) killi seviyelerinden alınan numune ve Niğde ili Çamardı ilçesinden getirilen mikaşistten öğütülerek elde edilen mika kumu karışımından elde edilmiştir. Yapay zemin numunesinin mühendislik özelliklerini belirleyebilmek için yapılan laboratuvar çalışmalarında ASTM standartları kullanılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Materyal

Çalışmada, Çukurova Üniversitesi Balcalı kampüsü kuzeyinde, Çatalan Barajı yolu üzerindeki bir noktadan Handere Formasyonuna ait killi seviyelerden alınan numune ile Niğde ili Çamardı ilçesinden getirilen Niğde metamorfilerine ait mikaşist kullanılmıştır. Ayrıca yapay numunenin hazırlanabilmesi için malzemeleri öğütmek amacıyla çeneli kırıcı (öğütücü), özgül ağırlık deney seti, tane boyu analiz seti, kıvam limitleri deney seti, konsolidasyon deney aleti, üç eksenli deney aleti kullanılmıştır.

2.2. Metod

Çalışmadaki deneyler ASTM standartlarına uygun olarak yapılmış olup, bunlardan özgül ağırlık deneyi ASTM D 854-02 (2003) (2) standardına göre, su içeri tayini ASTM D 2216-98 (2003) (3) standardına göre, tane boyu analizi ASTM D 422-63 (2003) (4) standardına göre, kıvam limitlerinden likit limit ve plastik limit ASTM D 4318-00 (2003) (5) standardına göre, konsolidasyon deneyi ASTM D 2435-96 (2003) (6) standardına göre, üç eksenli deney ASTM D 4767-95 (2003) (7) standardına göre yapılmıştır. Ayrıca zeminin sınıflandırılması da ASTM D 2487-00 (2003) (8) standardına uygun olarak yapılmıştır.

Bu çalışma için hazırlanan yapay zemin numunesi 2/3 (%66.67) oranında Handere Formasyonuna ait numuneden (doğal numuneden), 1/3 (%33.33) oranında Niğde metamorfilerine ait mikaşistten öğütülerek elde edilen mika kumundan oluşmaktadır. Mika kumu mikaşistin çeneli kırıcı ile öğütülmesi ile elde edilmiştir. Elde edilen mika kumu 0.125mm-1mm elek arasında kalan numuneden oluşmaktadır. Hazırlanan yapay

numune homojen bir şekilde karıştırılarak metal kaplara (23cm x 23cm x 34cm) konulmuş ve bir yıl süreyle sulanıp 15 kg'lık yük altında konsolidasyona tabi tutularak belirli bir ilksel dokuya sahip olması sağlanmıştır. Bir yıl sonunda belirli bir ilksel dokuya sahip olan yapay numuneden silindirik tüplerle üç eksenli deney için numune alınmış ve konsolidasyonlu-drenajsız (CU) deneye tabi tutulmuştur. Üç eksenli deneyde yapay zemin numunesine uygulanacak çevre (hücre) basıncı (σ_3)'nı belirlemek amacıyla konsolidasyon deneyi yapılmıştır. Konsolidasyon deneyi sonucunda Casagrande yöntemi kullanılarak ön konsolidasyon basıncı ve buradan da çevre basıncı (σ_3) belirlenmiştir. Üç eksenli deney Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi Başkanlığı Zemin Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır.

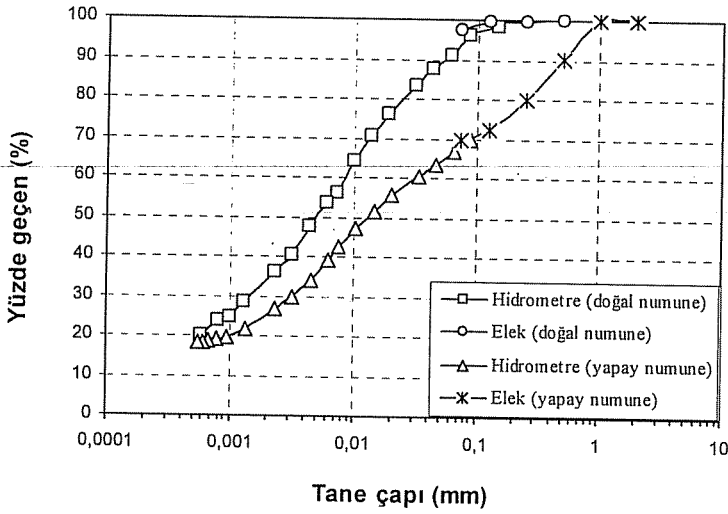
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Doğal ve yapay zemin numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda doğal zemin numunesinin özgül ağırlığı 2.74, yapay zemin numunesinin özgül ağırlığı 2.71 olarak bulunmuştur (Çizelge 1). Tane boyu analizi sonucunda doğal zemin numunesinin (Handere Formasyonu) %4 kum, %44.50 silt, %25.50 kil, %26.00 kolloid'den oluştuğu; yapay zemin numunesinin ise %30.35 kum, %33.45 silt, %15.50 kil, %20.70 kolloid'den oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 1, Çizelge 1). Elde edilen değerlerden, doğal zemin numunesi içerisinde mika kumunun karıştırılmasıyla elde edilen yapay zemin numunesinin özgül ağırlık değeri ve tane boyu yüzde değerlerinin (kum yüzde içeriği haricinde) düşmesinin birbirini destekler nitelikte olduğu görülmektedir. Karışıma ait oransal değerler özgül ağırlık değeri ve tane boyu analizi değerlerinde de görülmektedir.

Çizelge 1. Doğal ve yapay zemin numunesine ait mühendislik özelliklerinin karşılaştırılması

Parametre	Doğal Numune (Handere Fm.)	Yapay Numune (Handere Fm. + Mika kumu)
Özgül ağırlık (Gs)	2.74	2.71
Likit limit, LL (%)	42.55	35.39
Plastik limit, PL (%)	23.51	20.02
Plastisite indisi, PI (%)	19.04	15.37
Doğal su içeriği, ω (%)	26.43	23.62
Tane boyu (%)		
Kum	4.00	30.35
Silt	44.50	33.45
Kil	25.50	15.50
Kolloid	26.00	20.70
Zemin Türü	CL	CL

Doğal ve yapay numuneler üzerinde Atterberg (kıvam) limitleri deneyi yapılmış olup, doğal numuneye ait likit limit (LL) %42.55, plastik limit (PL) %23.51 ve plastisite indisi (PI) %19.04 olarak bulunmuştur. Yapay numuneye ait likit limit (LL) %35.39, plastik limit (PL) %20.02 ve plastisite indisi (PI) %15.37 olarak bulunmuştur (Çizelge 1). Sonuçlardan görüldüğü üzere doğal zemin numunesi içerisinde mika kumunun karıştırılması kıvam limitleri değerlerinde düşüşe neden olmuş ancak zemin sınıflamasında (CL) herhangi bir değişikliğe neden olmamıştır.



Şekil 1. Tane boyu eğrisi

Konsolidasyon deneyi sonucunda Casagrande yöntemine göre ön konsolidasyon basıncı 14.71 kPa olarak bulunmuş ve üç eksenli deneyde numuneye uygulanması gereken efektif çevre (hücre) basıncı 20.00 kPa olarak tespit edilmiştir. Yapay zemin numunesi üzerinde yapılan konsolidasyonlu-drenajsız (CU) üç eksenli deneyde numune 0.04 mm/dk hızla kesilmiştir (Çizelge 2). Buradaki hız hem konsolidasyon deneyi sonucunda elde edilen parametrelerden, hem de üç eksenli deneyde numunenin konsolidasyonu sonucunda elde edilen değerlerden yola çıkılarak belirlenmiştir. Zemini doyurma aşamasında elde edilen B değeri ve boşluk suyu basıncı arasındaki ilişki Şekil 2'de görülmekte olup, B değerinin boşluk suyu basınç değerinin artışıyla yükseldiği gözlenmektedir. Burada B faktörü değerinin 1 (bir) olması doyurma aşamasında boşluk suyu basıncının çevre basıncına eşit olduğunu göstermektedir. Numuneyi doyurma aşaması ince tane (kil, silt) içeriği yüksek olan numunelere göre daha kısa sürede tamamlanmıştır. Bu durumun çalışmada kullanılan yapay zemin numunesinin

içeriğindeki silt ve kum içeriğinin (%silt+kum=%63.80) fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Numuneler hazırlanırken karışım oranları bu durum göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

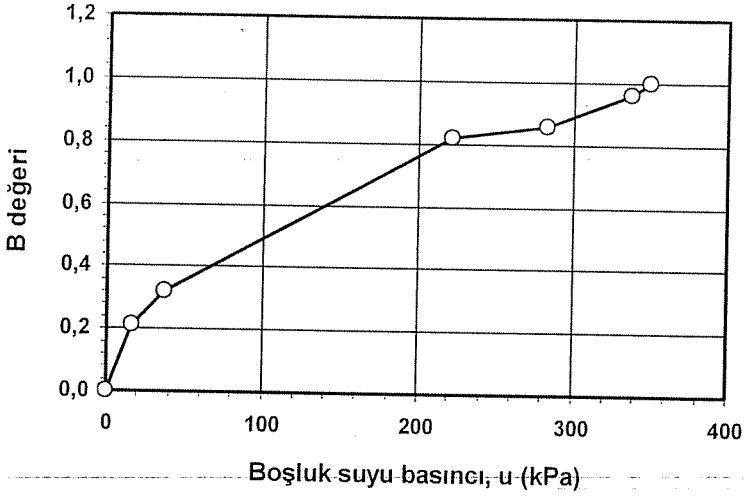
Deneme deneyi esnasında kohezyonu düşük olan numunenin kendi ağırlığı altında göçmesi veya yenilmesinden dolayı yapay numunenin su içeriğinin biraz düşmesi sağlanmış ve numune daha sonra deneye tabi tutulmuştur. Şekil 3'deki eğride görüldüğü üzere deney süresince artan deviyör gerilme altında numune birim deformasyonu artmakta ve belirli bir noktadan sonra yenilen numunede gerilme değeri ile deformasyon değeri düşmektedir. Benzer durumda eksenel deformasyonun artmasıyla birlikte boşluk suyu basıncı da artmakta ve yenilme (pik) noktasından itibaren düşüşe geçmektedir. Yenilme (pik) noktasında boşluk suyu basıncındaki değişim miktarının 5 kPa (345-340 kPa) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4).

Çizelge 2. Yapay zemin numunesine ait bazı deney parametreleri.

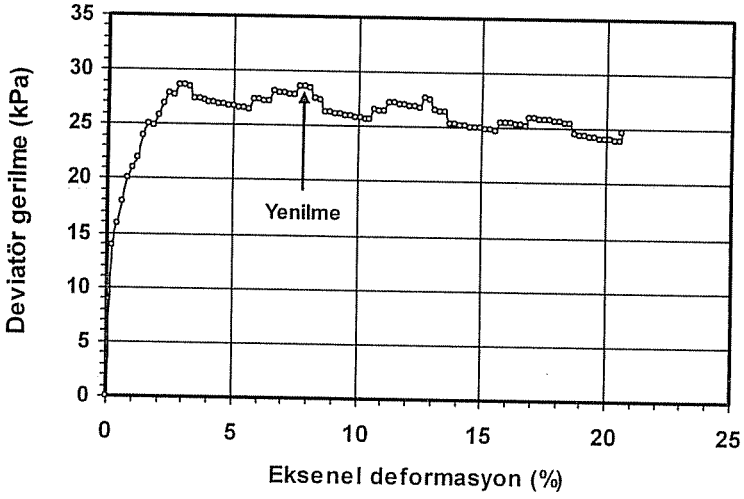
Parametre	Yapay Numune (Handere Fm. + Mika kumu)
Ön konsolidasyon basıncı (kPa)	14.71
Numuneyi kesme hızı (mm/dk)	0.04
B değeri	1.00
Eksenel deformasyon, ϵ_f (%)	7.7
Çevre basıncı, σ_{3f} (kPa)	360
Boşluk suyu basıncı, u (kPa)	340
Minör gerilme, σ_{3f} (kPa)	15.00
Majör gerilme, σ_{1f} (kPa)	43.80
Yenilme anında boşluk suyu basıncındaki artış (kPa)	5.00
Gerilme oranı, σ_1'/σ_3'	2.9

Deney sonuçlarının yorumlanmasında kullanılan parametrelerden biri gerilme oranı (σ_1'/σ_3')'dür. Deneye ait gerilme oranı değeri Şekil 5'deki grafikte görüldüğü üzere 2.9 olarak tespit edilmiş ve gerilme oranı değeri eğri pik yaptıktan sonra eksenel deformasyonun artmasına karşılık düşüşe geçmektedir.

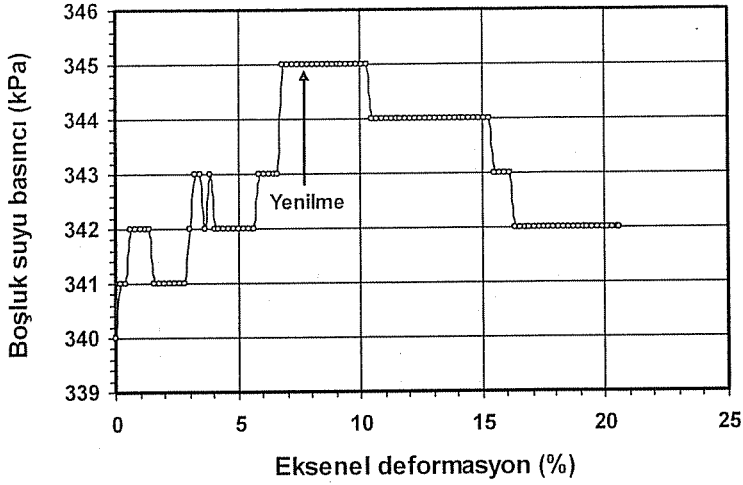
Deneye ait mohr daireleri incelendiğinde toplam gerilme eğrisinde çevre basıncının 20 kPa olduğu, yenilme sırasında oluşan boşluk suyu basıncı farkı olan 5 kPa çıkarıldığında efektif çevre basıncının 15 kPa olduğu anlaşılmıştır (Şekil 6, Şekil 7).



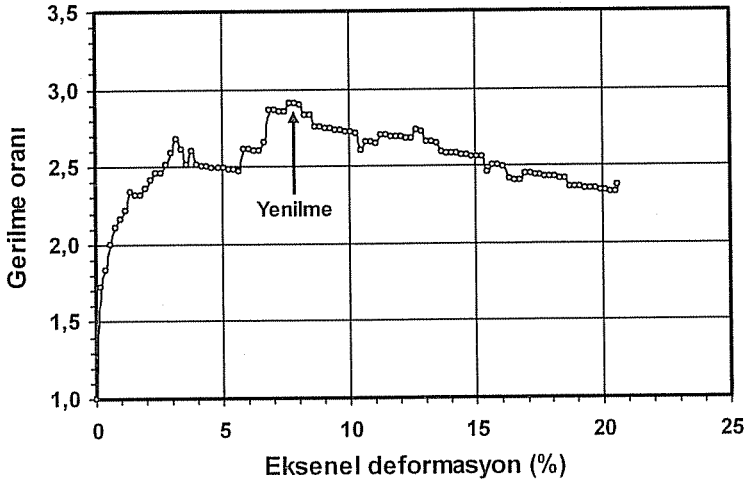
Şekil 2. Boşluk suyu basıncı-B değeri arasındaki ilişkiyi gösteren eğri



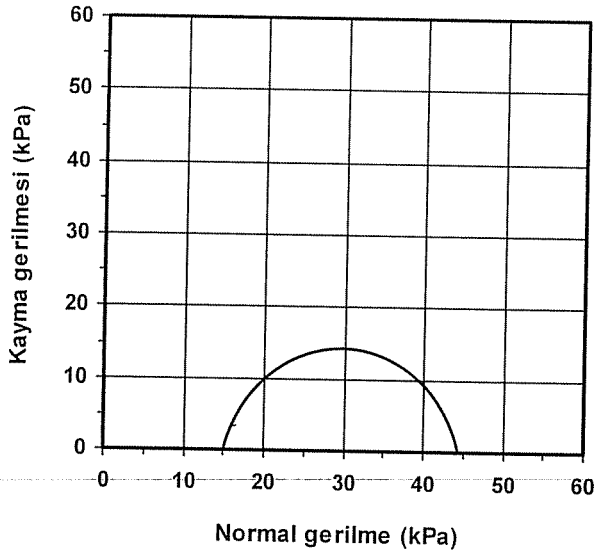
Şekil 3. Eksenel deformasyon ve deviyatör gerilme arasındaki ilişkiyi gösteren eğri



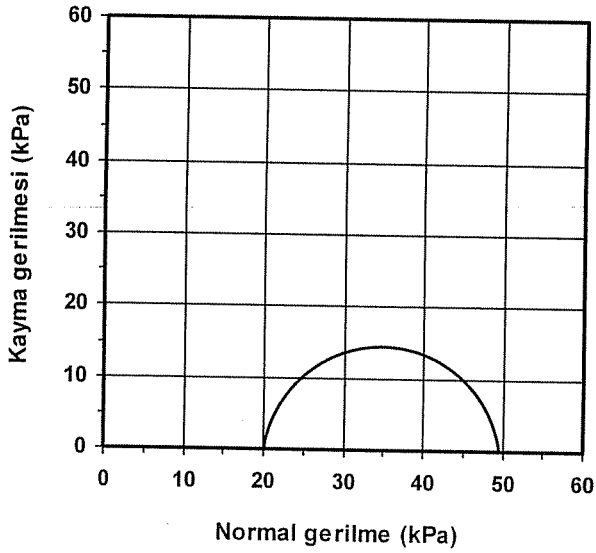
Şekil 4. Eksenel deformasyon ve boşluk suyu basıncı arasındaki ilişkiyi gösteren eğri



Şekil 5. Eksenel deformasyon ve gerilme oranı arasındaki ilişkiyi gösteren eğri



Şekil 6. Mohr dairesi (Normal (efektif) gerilme-kayma gerilmesi)



Şekil 7. Mohr dairesi (Normal (toplam) gerilme-kayma gerilmesi)

4. SONUÇLAR

1. Doğal zemin numunesinin içerisinde mika kumunun karıştırılması sonucunda oluşturulan yapay zemin numunesinin fiziksel ve indeks özellikleri değerlerinde bir düşüş gözlenmiştir.

2. Yapay numunede artan deviatör gerilmeye ve gerilme oranına karşılık eksenel deformasyon değeri belirli bir noktaya kadar artmakta ve pik noktasından sonra düşüşe geçmektedir. Eksenel deformasyon karşılık boşluk suyu basıncı da benzer davranış göstermektedir.

3. Laboratuvarında yapay numuneler üzerinde yapılacak diğer modelleme çalışmalarında (örneğin; tane yönlmesi) bu parametrelerin kullanılması uygun olacaktır.

5. KAYNAKLAR

1. Holtz, R., and Kovacs, W., D., "Geoteknik Mühendisliğine Giriş", (Çeviren: Kayabalı, K.). Gazi Kitabevi, 723s., Ankara, 2002.

2. ASTM D 854-02, Standard test method for specific gravity of soil solids by water pycnometer. In: Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08, West Conshohocken, PA., 93-99, 2003.

3. ASTM D 2216-98, Standard test method for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass. In: Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08, West Conshohocken, PA., 219-223, 2003.

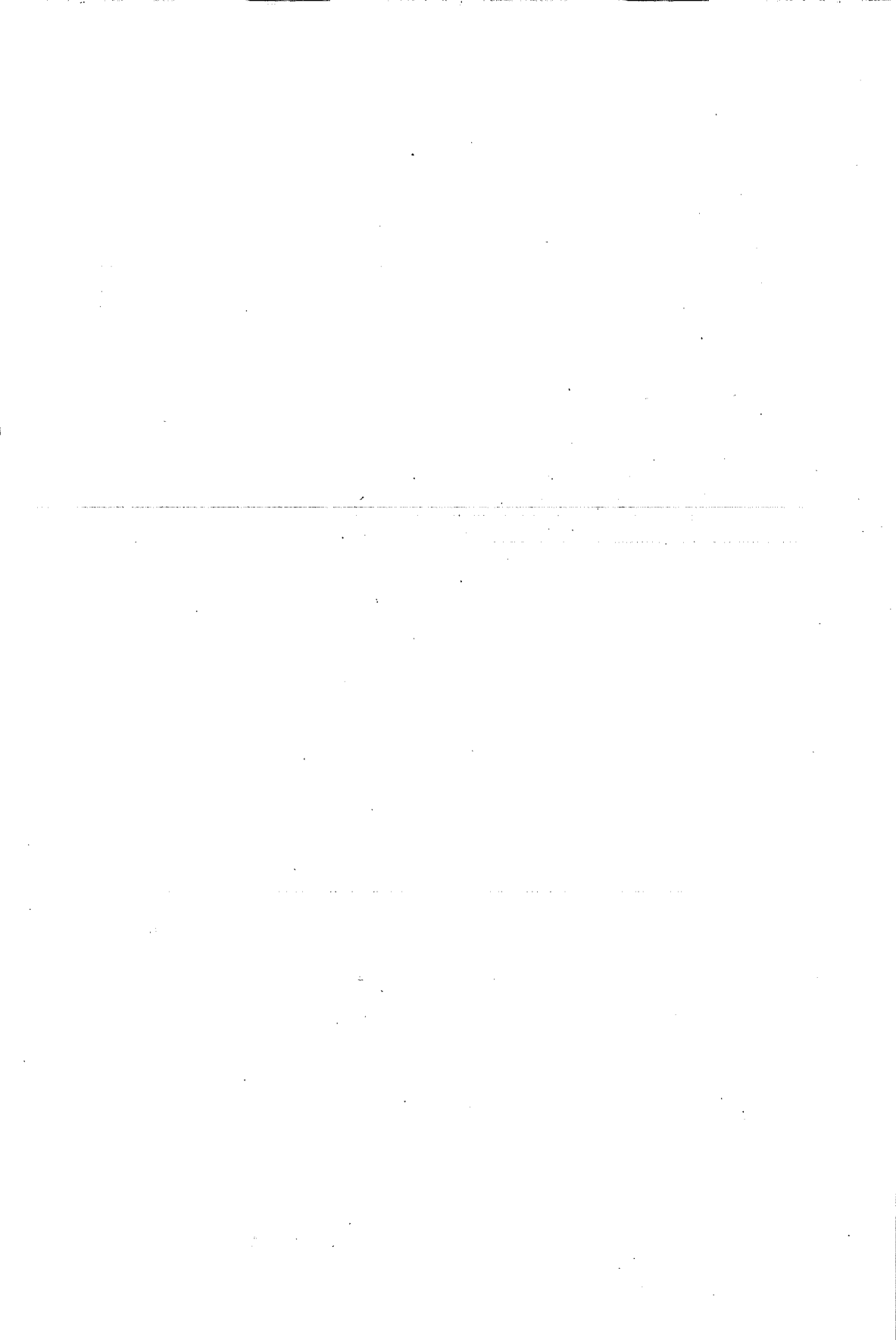
4. ASTM D 422-63, Standard test method for particle-size analysis of soils. In: Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08, West Conshohocken, PA., 10-17, 2003.

5. ASTM D 4318-00, Standard test method for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils. In: Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08, West Conshohocken, PA., 582-595, 2003.

6. ASTM D 2435-96, Standard test method for one-dimensional consolidation properties of soils. In: Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08, West Conshohocken, PA., 238-247, 2003.

7. ASTM D 4767-95, Standard test method for consolidated-undrained triaxial compression test for cohesive soils. In: Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08, West Conshohocken, PA., 924-934, 2003.

8. ASTM D 2487-00, Standard practise for classification of soils for engineering purposes (unified soil classification system). In: Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08, West Conshohocken, PA., 248-259, 2003.



FARKLI İKİ KALGON (SODYUM HEGZAMETAFOSFAT)'LA YAPILAN HİDROMETRE ANALİZLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI

Ali GÖKOĞLU

Ç.Ü., Ceyhan Meslek Yüksekokulu, Ceyhan / Türkiye

Ali ÖZVAN

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

ÖZET : *Bu çalışmada; ince taneli bir zeminin hidrometre analizlerinde (tane boyu analizleri) iki farklı kalgon kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan kireç çözücü kalgon'la yapılan hidrometre analizi sonucunda elde edilen değerlerin yüksek çıktığı belirlenmiştir. Bunun nedeninin kireç çözücü kalgonun yoğunluğunun yüksek olmasıdır. Kireç çözücü kalgon, su ve zemin numunesi karışımını mikserle karıştırma süresince suyun sıcaklığının ve köpüklenme olayının arttığı da gözlenmiştir.*

COMPARING OF HYDROMETR ANALYSIS DONE WITH TWO DIFFERENT CALGON (SODIUM HEXAMETAPHOSPHATE)

ABSTRACT: *In this study, it was used two different calgon in hydrometer analysis (particle size analysis) of a fine particle soil and results were compared. According to results, it was determined that values which obtained at the end of hydrometer analysis done by lime solition was high. Cause of this, density of lime solition calgon is high. It were observed water tempure and foam increase during mixing lime solition calgon, water, and soil sample by mixer.*

1. GİRİŞ

Granülér zeminlerde zemin boyutu zeminin mühendislik davranışını etkilemektedir. O nedenle, sınıflama amaçlı çalışmalarda çoğu zaman bir zemin içindeki partikül veya tane boyu ile bunların dağılımı bilinmek istenir (1). Tane boyu dağılımının belirlenmesinde iri taneli zeminler için elek analizi yapılır. İri taneli zeminlerin tane boyu analizi ince taneli zeminlerin analizine göre basittir. İnce taneli zeminlerin tane boyu dağılımının belirlenmesinde elek analizi yerine hidrometre analizi kullanılır.

Bu çalışmada, Çukurova Üniversitesi Seyhan Baraj Gölü kuzeyinde Çatalan Barajı yolu üzerindeki bir noktadan Handere Formasyonuna ait birimden alınmış numunenin ayrı ayrı tane boyu analizi yapılmıştır. İnce taneli zemin numunesinin tane boyu analizi sırasında yapılan hidrometre analizlerinde kil tanelerini birbirinden ayırmak için ticari adı kalgon olan iki farklı kimyasal bir bileşim kullanılmıştır. Deneylerimizde sık sık kullandığımız kalgonun dışında çamaşır makinalarında kireç çözücü olarak kullanılan kalgonla yapılan analiz sonucunda tane boyu yüzde (%) geçen değerlerinde ve bu değerlere bağlı olarak belirlenen parametrelerde (killerde aktivite) herhangi bir değişiklik olup olmadığını saptanması amaçlanmıştır. Handere Formasyonuna ait zemin numunesinin bazı özelliklerini belirleyebilmek amacıyla laboratuvar çalışmalarında ASTM D 854-02 (2003) (2), ASTM D 2216-98 (2003) (3), ASTM D 422-63 (2003) (4), ASTM D 4318-00 (2003) (5), ASTM D 2487-00 (2003) (6) standartları kullanılmıştır.

2. GENEL JEOLJİ

Handere Formasyonu Adana Baseninin güney kesiminde havza ölçeğinde oldukça yaygın bir uzanıma sahip bulunmaktadır. Formasyon Schmidt (1961) (7) tarafından Üst Miyosen-Pliyosen yaşı ile Adana grubunun en üst birimi olarak ayrıtlanmıştır. Handere Formasyonu batıda daha çok kaba kırıntılar, doğuda ise ince kırıntılardan oluşmaktadır. Batıda çakıltası, kaba-orta kumtaşı; doğuda ise ince kumtaşı-silttaşı daha fazladır. Birim başlıca; çakıltası, çakıllı kumtaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı yapılı olup, Seyhan Baraj Gölü batısında alçıtası mercikleri kapsamaktadır. Adana Baseninin güneyinde Handere Formasyonu üzerinde, güneye doğru Adana ovasının eski ve yeni alüvyonları ile örtülü bulunan taraça vardır (8).

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Çalışmada, Çukurova Üniversitesi Balcılı kampüsü kuzeyinde, Çatalan Barajı yolu üzerinden getirilen Handere Formasyonuna ait numune kullanılmıştır. Ayrıca özgül ağırlık deney seti, tane boyu analiz seti, kıvam limitleri deney seti kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan kalgonlardan bir tanesi çamaşır makinalarında kireç çözücü olarak kullanılan kalgon, diğeri ise hidrometre analizlerinde sık sık kullandığımız kalgon (NaPO_3 : sodyum hegzametafosfat)'dur. Hidrometre analizinde her iki kalgon bileşiminden ayrı ayrı 125 ml'lik beher içerisine 5 gr konularak elde edilen solüsyon ve 151H (1.000-1.038) tipi hidrometre kullanılmıştır.

3.2. Metod

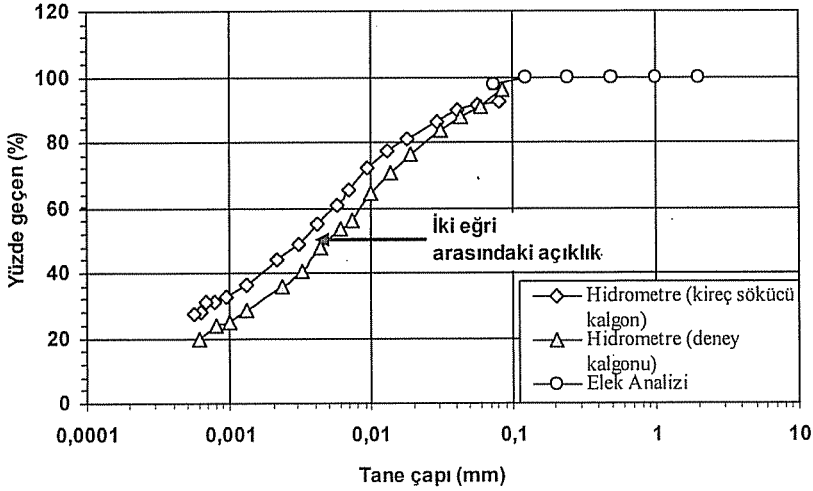
Çalışmadaki deneyler ASTM standartlarına uygun olarak yapılmış olup, bunlardan

ölgül ağırlık deneyi ASTM D 854-02 (2003) (2) standardına göre, su içeri tayini ASTM D 2216-98 (2003) (3) standardına göre, tane boyu analizi ASTM D 422-63 (2003) (4) standardına göre, kıvam limitlerinden likit limit ve plastik limit ASTM D 4318-00 (2003) (5) standardına göre yapılmıştır. Ayrıca zeminin sınıflandırılması da ASTM D 2487-00 (2003) (6) standardına uygun olarak yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Handere Formasyonuna ait zemin numunesi üzerinde yapılan deneyler sonucunda numuneye ait ölgül ağırlık değeri 2.74, doğal su içeriği %26.43 olarak bulunmuştur (Çizelge 1). İnce taneli zemin numunesinin hidrometre analizlerinde sık sık kullanılan kalgonla (NaPO_3 , sodyum hegzametafosfat) yapılan tane boyu analizi (hidrometre analizi) sonucunda %26 kolloid, %25.5 kil, %44.50 silt, % 4.0 kumdan oluştuğu; çamaşır makinalarında kireç çözücü olarak kullanılan kalgonla (hidrometre deneylerinde kullanılan) yapılan tane boyu analizi (hidrometre) sonucunda ise zeminin % 34.25 kil, %24.95 kil, % 36.00 silt, %4.53 kumdan oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 1, Çizelge 1). Tane boyu eğrilerinden ve sonuçlardan da görüldüğü üzere kireç çözücü kalgonla yapılan analiz sonucunda bulunan değerlerin, normal kalgonla yapılan analizde tespit edilen yüzde geçen değerlerine göre arttığı veya azaldığı gözlenmiştir. Elde edilen değerler arasında değişim değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Şekil 1'deki eğriden elde edilen tane boyu yüzde geçen değerleri karşılaştırıldığında kireç çözücü kalgonun kolloid yüzdesi değerini %31.73 oranında artırdığı, kil yüzdesi değerini %2.20 oranında azalttığı, silt yüzdesini %19.50 oranında azalttığı, kum yüzdesi değerini ise %13.25 oranında artırdığı belirlenmiş olup, yüzde geçen değerlerinde artış veya azalış yönünde sapmalara neden olmuştur. İki eğri arasındaki açıklık tane çapı küçüldükçe artmaktadır (Şekil 1). Her iki hidrometre analizi sırasında alınan hidrometre okumaları arasındaki fark ortalama 0.0051 gr/cm^3 'dür.



Şekil 1. Tane boyu eğrisi

Numune üzerinde Atterberg (kıvam) limitleri deneyi yapılmış olup, numuneye ait likit limit (W_L , LL) %42.55, plastik limit (W_p , PL) %23.51 ve plastisite indisi (I_p , PI) %19.04 olarak bulunmuştur (Çizelge 1). Her iki analiz sonucunda ince taneli zeminin aktivite değeri tespit edilmiş ve kireç çözücü kalgonla yapılan hidrometre analizi sonucu diğer analizle karşılaştırıldığında aktivite değerinin %13.13 oranında düştüğü belirlenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Zemin numunesine ait bazı özellikler

Parametre	Deney kalgonu	Kireç çözücü kalgon	Artış (+) Azalış (-) (%)
Özgül ağırlık		2.74	
Likit limit, LL (%)		42.55	
Plastik limit, PL (%)		23.51	
Plastisite indisi, PI (%)		19.04	
Doğal su içeriği, ω (%)		26.43	
Zemin türü			
Casagrande plastisite abağına göre		CL	
Polidori plastisite abağına göre		ML	
Hidrometre okumaları arasındaki ortalama fark (gr/cm^3)		0.0051	
Aktivite	2.307	2.004	-13.13
Tane boyu (%)			
Kolloid	26.00	34.25	+31.73
Kil	25.50	24.95	-2.20
Silt	44.50	36.00	-19.50
Kum	4.00	4.53	+13.25

5. SONUÇLAR

1. Kireç çözücü kalgonla yapılan hidrometre analiz sonucunda tane boyu yüzde geçen değerleri normal hidrometre analizine oranla sapma gösterdiği, yani yüzde geçen değerlerinde artış ve azalmalara neden olduğu belirlenmiştir.

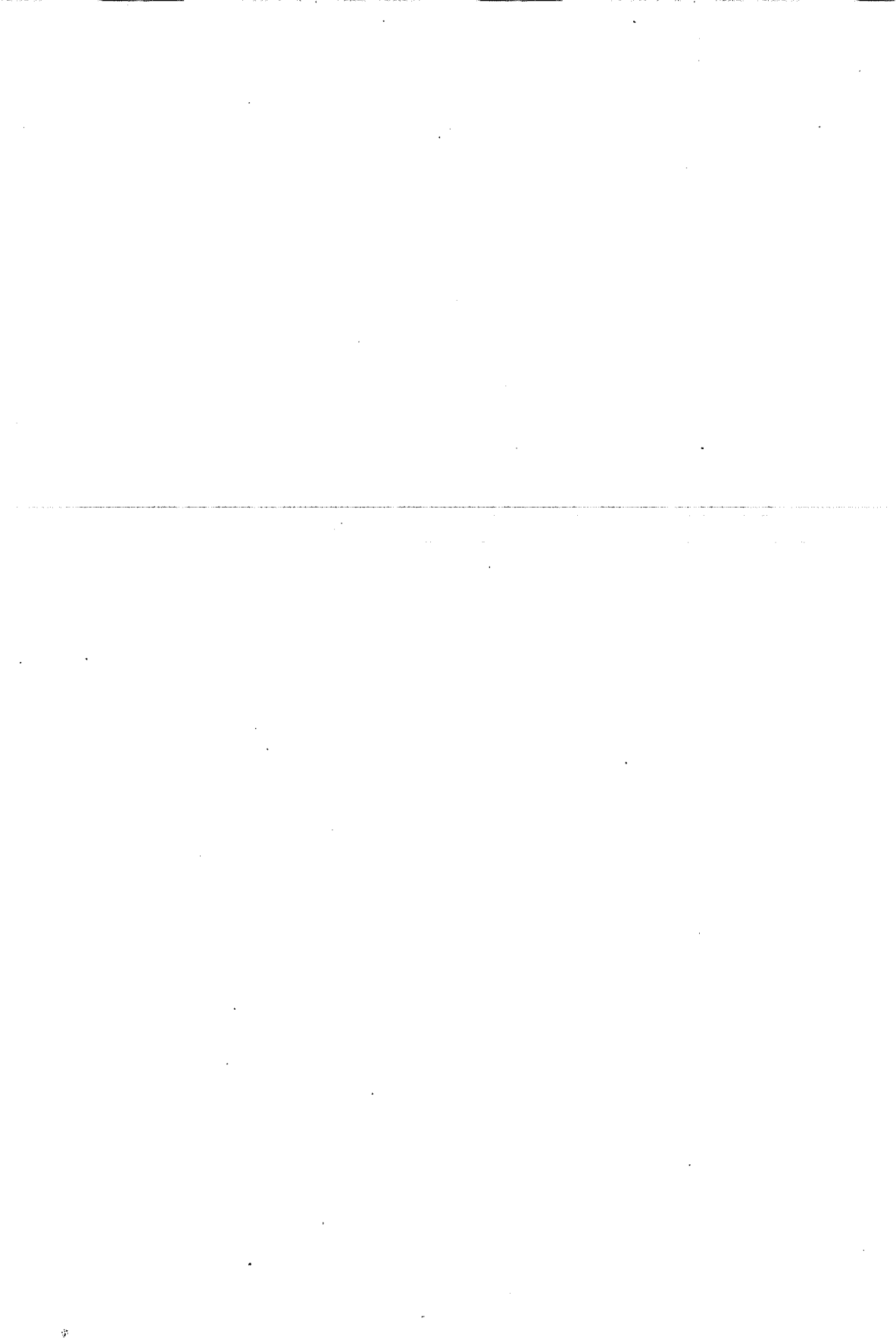
2. Kalgonun benzer şekilde aktivite değerinde de bir düşmeye sebep olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç her iki yöntemle bulunan kil tanelerinin yüzdelerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

3. Kireç çözücü kalgon, su ve zemin numunesi karışımını mikserle karıştırma süresince suyun sıcaklığının ve köpüklenme olayının arttığı da gözlenmiştir.

Bu sonuçlar ışığında kireç çözücü kalgonun hidrometre analizlerinde kullanılmasının çeşitli hatalar ortaya çıkarabileceği, normal kalgonun (hidrometre deneylerinde devamlı kullanılan kalgon) yani sodyum hegzametafosfatın (NaPO_3) kullanılmasının uygun olacağı kanaatine varılmıştır.

6. KAYNAKLAR

1. Holtz, R. and Kovacs, W.D., "Geoteknik Mühendisliğine Giriş", (Çeviren: Kayabalı, K.), Gazi Kitabevi, 723s., Ankara, 2002.
2. ASTM D 854-02, "Standard test method for specific gravity of soil solids by water pycnometer", In: Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08, 93-99, West Conshohocken, PA., 2003.
3. ASTM D 2216-98, "Standard test method for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass", In: Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08, 219-223, West Conshohocken, PA., 2003.
4. ASTM D 422-63, "Standard test method for particle-size analysis of soils", In: Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08, 10-17, West Conshohocken, PA., 2003.
5. ASTM D 4318-02, "Standard test method for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils", In: Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08, 582-595, West Conshohocken, PA., 2003.
6. ASTM D 2487-00, "Standard practise for classification of soils for engineering purposes (unified soil classification system)", In: Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08, 248-259, West Conshohocken, PA., 2003.
7. Schmidt, G.C., "Stratigrafic nomenclature of the Adana region petroleum district", VII: Petroleum Administration Bulletin, Number: 6, pp.47-62, Ankara, 1961.
8. Yetiş, C. ve Demirkol, C., "Adana Baseni Batı Kesiminin Detay Jeoloji Etüdü", MTA Derleme Rapor No: 8037, s.138-146, 1986.



DÜZENLİ KATI ATIK DEPOLAMADA YER SEÇİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER VE ALTERNATİF ALANLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ: MERSİN İLİ ÖRNEĞİ

Cumhur KARACA

Mersin Belediyesi, Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı, Mersin / Türkiye

İbrahim ÇOBANOĞLU

P.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Denizli / Türkiye

Şaziye BOZDAĞ

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

ÖZET : Düzenli depolama yöntemi, güvenli ve ekonomik oluşu ile yaygın olarak kullanılan bir katı atık depolama yöntemidir. Bu depolama yönteminde en önemli unsur atık depolanacak yerin belirlenmesidir. Mersin ili 778.000 nüfusu ve sanayi potansiyeli ile Türkiye'nin önemli yerleşim yerlerinden biridir. Şehirde oluşan günlük atık miktarı yaklaşık 650 tondur. Mevcut depolama alanı ömrünü doldurmuş ve çevreyi tehdit eder hale gelmiştir. Mevcut depolama alanının yerleşim yerine olan mesafesinin azalması ile toplum sağlığı açısından da risk taşıyan bir durum ortaya çıkmıştır. Bu olumsuzluklardan ötürü Mersin ili yerleşim yeri için yeni bir atık depolama sahasının belirlenmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu çalışma ile yer seçiminde etkili parametreler, öngörülen 4 alternatif alan için değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar ile en uygun alan belirlenerek projelendirme safhasına geçilmesi sağlanmıştır. Bu amaçla, üzerinde bir çimento fabrikasının da ocak olarak işlettiği saha değerlendirilerek atık depolama için elverişli görülmüştür. Depolama alanı CH, MH, CL, ML türü ince taneli birimlerden oluşan Handere Formasyonu üzerinde yer almaktadır. Birimin kısmen geçirimsiz olması da atık depolama açısından olumlu özelliklerden biri olarak değerlendirilmiştir.

FACTORS AFFECTING THE SITE SELECTION OF SANITARY WASTE STORAGE FACILITIES AND ASSESSMENT OF ALTERNATIVE AREAS: A CASE STUDY OF THE CITY OF MERSİN

ABSTRACT : Sanitary landfilling method is a solid waste disposal method commonly utilized because of its being safe and economical. The important part of this system is to determine the storage site for waste. Mersin, a southern city with its population (778.000) and industrial potential is one of the most important urban areas in Turkey in which daily waste products are 650 tons. Existing depositional area in this city has completed its life and become a threatening factor for the environment.

Additionally, the distance between settlement and waste dumping area has become closer carrying a risk for human and environmental health. Because of that reason, Mersin needs a new and healthier waste disposal area. The effective parameters for choosing a disposal site within this work have been evaluated by being proposed 4 alternative areas. For this reason, the most suitable storage site has been determined and started to a project and then resolved that a pit operated by a cement factory be chosen for storage which is situated on the Handere Formation composed of CH, MH, CL, ML type fine grained soils. The formation partly impermeable is evaluated as one of the positive properties for waste storage.

1. GİRİŞ

Katı atıkların çevreye verdiği zararların her geçen gün daha da artması, atıkların çevreye zarar vermeyecek şekilde depolanmasını önemli hale getirmiştir. Katı atıkların "Düzenli Depolama" tekniği ile depolanması ekonomik ve güvenli olması açısından dünyaca kabul gören bir uygulamadır. Günümüzde, uygun bir atık depolama alanı ünitesinin; çevreyi ve ekolojik dengeyi bozmayacak şekilde, uygun tasarımla ve uygun mühendislik parametrelerine sahip bir arazi üzerinde yapılması gerekmektedir. Katı atık yönetiminde depolama alanı için yer seçimi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle depolama yeri seçilmeden önce tüm teknik özelliklerin ayrıntılı olarak incelenmesi gerekmektedir. Bu konuda önceden yapılmış uygulamaların başarısı, yapılacak diğer uygulamalar için de yol gösterici olacaktır.

Mersin ilinde katı atıklar Toroslar Belediyesi sınırları içerisinde olan Çavuşlu çöp döküm alanına boşaltılmaktadır. Ancak, mevcut depolama alanı kapasitesini doldurmuş olup insan ve çevre sağlığını tehdit edecek duruma gelmiştir. Depolama alanının 1 km'den daha yakın çevresinde yeni yerleşim alanlarının gelişmesi ile insan sağlığı da etkilenecek hale gelmiştir. Bu çalışma kapsamında yürütülen araştırmalar ile başlangıçta alternatif 4 depolama alanı belirlenmiş (Şekil 1) ardından bunlardan 2 tanesi elenmiş ve son olarak yapılan detaylı çalışmalar ile uzun vadede de depolama görevini yerine getirecek alternatif depolama alanı belirlenmiştir.

2. İNCELEME ALANININ TANITILMASI

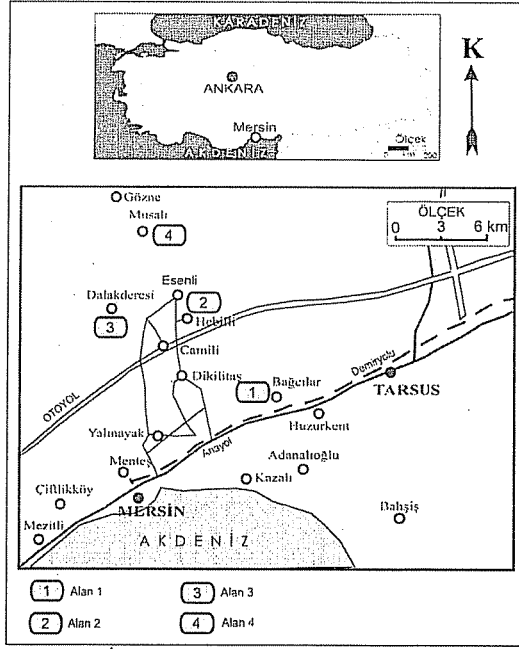
Mersin ili 778.000 nüfusu ve sanayi potansiyeli ile Türkiye'nin önemli yerleşim yerlerinden biridir (Şekil 1). Önemli bir liman kenti olması, ekonomik bakımdan da kalkınmasını kolaylaştırmış ve bu yüzden büyük ölçüde göç alan bir yerleşim yeri haline gelmiştir (Şekil 2). Artan nüfus, beraberinde evsel ve diğer sanayi atıklarının da fazlalaşarak çevreyi tehdit eder hale gelmesine neden olmuştur.

Bölgede Akdeniz iklimi egemendir. Yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlı geçmektedir. Ölçülen yıllık ortalama sıcaklık 19.2°C , en yüksek sıcaklık 38.5°C ve en düşük sıcaklık -3°C 'dir. Yıllık ortalama toplam yağış miktarı ise 602.6 mm 'dir. En fazla yağış Aralık ve Ocak, en az yağış ise Ağustos ve Eylül aylarında olmaktadır.

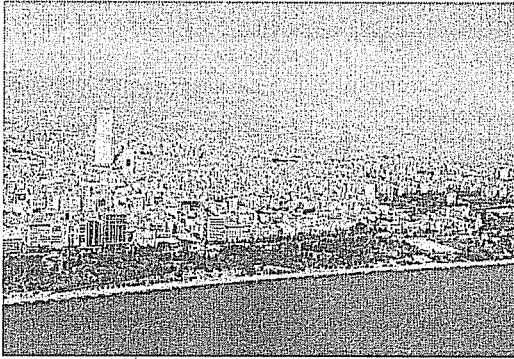
2.1. Bölgesel Jeoloji ve Hidrojeoloji

İnceleme alanı ve çevresinin jeolojisi ve hidrojeolojisi ile ilgili yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır (1-6). Bölgede, Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı birimler yer almaktadır (Şekil 3).

*DÜZENLİ KATI ATIK DEPOLAMADA YER SEÇİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER VE
ALTERNATİF ALANLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ: MERSİN İLİ ÖRNEĞİ*



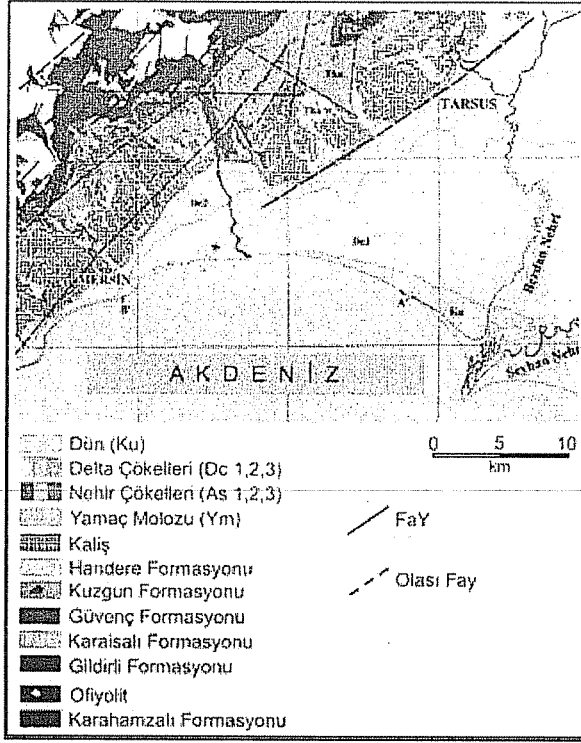
Şekil 1. İnceleme alanları yer bulduru haritası



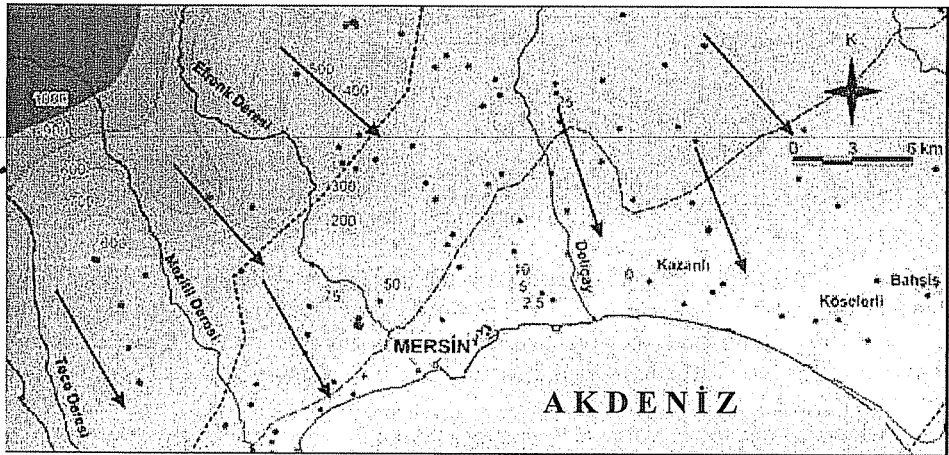
Şekil 2. Mersin ili yerleşim alanından görünüm

Orta – Üst Miyosen yaşlı Kuzgun Formasyonu ile Üst Miyosen – Pliyosen yaşlı Handere Formasyonu bölgede yer alan yaşlı birimlerdir. İnceleme alanı içinde geniş bir alanda yayılım sunan Handere Formasyonu'nun esas olarak kumtaşı, silttaşı ve kilttaşımarn birimlerinden oluştuğu bildirilmiştir (4). Birimin kalınlığı 120 ile 700m arasında değişmektedir (6).

İnceleme alanında, beslenme alanına bağlı olarak kuzeyden güneye doğru yeraltı su seviyelerinin sığlaştığı görülmektedir (Şekil 4). Yeraltı suyu akış yönü kuzeyden güneye doğrudur. İnceleme alanı içerisinde yeraltı su seviyeleri 15m ile > 100m arasında değişmektedir.



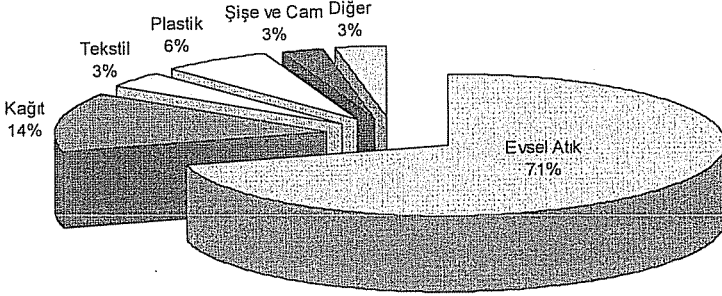
Şekil 3. İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (7)



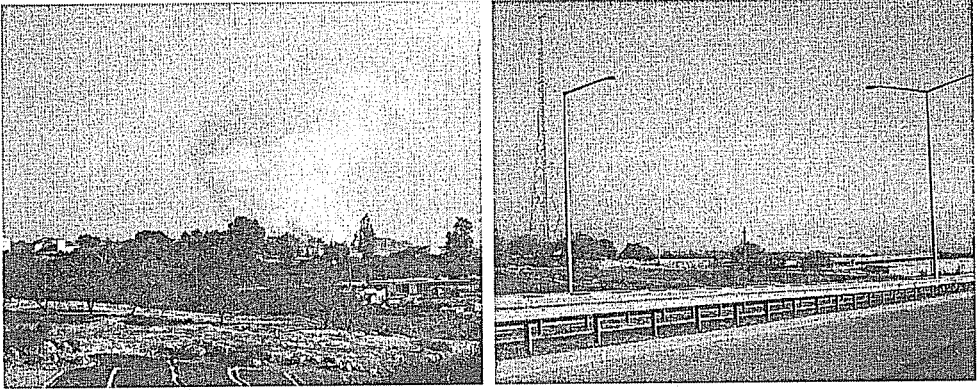
Şekil 4. İnceleme alanı ve yakın çevresinin yeraltı su tablası haritası (8)

2.2. Mevcut Katı Atık Depolama Alanının Durumu

Mersin ilinde günlük 650 ton olan katı atık malzemesi, atık toplama işlemleri yapan kamyonlar vasıtası ile taşınmaktadır. Mersin ili katı atık malzemelerinin atık türlerine bağlı olarak dağılımı Şekil 5’de görülmektedir (9). Atık alanının öngörülen ekonomik ömrünü doldurmuş olması ve aynı zamanda yerleşim alanlarına olan mesafesinin de azalması, çevresel açıdan bir tehdit oluşturmaktadır. Özellikle yanmaya bağlı olarak oluşan gaz bulutları geniş ölçüde hava kirliliğine neden olmaktadır (Şekil 6).



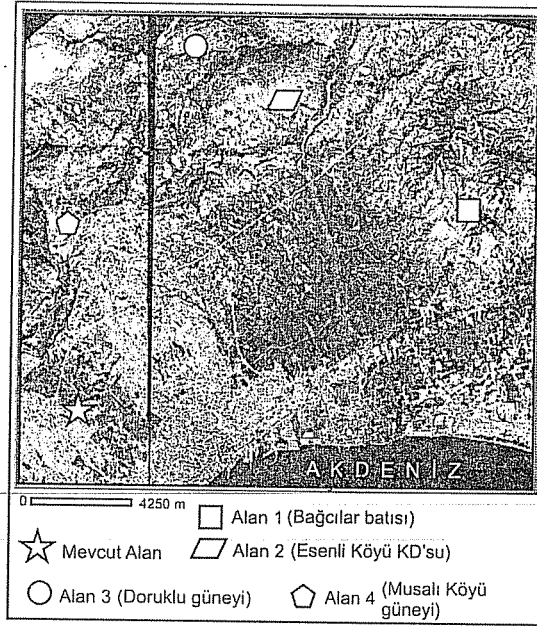
Şekil 5. Mersin ili katı atık malzemelerinin atık türlerine bağlı olarak dağılımı (9)



Şekil 6. Mevcut atık depolama yerinde yanmaya bağlı olarak oluşan çevresel kirlilik

3. ALTERNATİF DEPOLAMA ALANLARININ BELİRLENMESİ

Yerleşim yerinin artan atık miktarına bağlı olarak kullanılabilecek alternatif bir atık depolama alanının belirlenmesi ihtiyacı doğmuştur. Alternatif alanların belirlenmesi amacıyla yapılan ön araştırmalarda 4 farklı alan tespit edilmiş ve bu alanlar kendi içlerinde değerlendirilerek en uygun alan belirlenmiştir. Şekil 7, mevcut atık alanı ve bu çalışma kapsamında incelenen alternatif alanların yerleşim yeri etrafındaki dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 7. Mevcut olan ve bu çalışma kapsamında incelenen alternatif atık depolama alanlarının yerleri

4. ALTERNATİF ALANLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Katı atık depolama alanı yer seçimi alan araştırması için Mersin Büyükşehir Belediyesi öncülüğünde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar ışığında 4 alternatif alan belirlenmiştir (Şekil 8). Alan 1 için depolama kapasitesi ömrü 30 yıl, Alan 2 için 20 yıl, Alan 3 için 10 yıl ve Alan 4 için 10 - 20 yıl olarak belirlenmiştir.

Katı atıkların düzenli depolanması amacıyla seçilen alternatif bölgelerin özellikleri ve teknik açıdan uygunluklarının tespiti için yapılan değerlendirmelere ait sonuçlar karşılaştırmalı olarak Çizelge 1'de görülmektedir. Mühendislik ve ekonomik açıdan en uygun iki alanın Alan 1 ve Alan 2 olduğu belirlenmiştir.

Karşılaştırmalı değerlendirmede, Alan 1 için tercih edilir özelliklerin (yerleşim yerine uzaklık, jeoloji, arazi kullanımı, mülkiyet durumu vb.) daha fazla olması, bu bölgenin depolama alanı olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymuştur. Bu kararda, yörede çalışan çimento hammadde ocağının kazılarla doğal bir depolama alanı oluşturması da etkili olmuştur. Bu değerlendirmeden sonra Alan 1 uygunluk açısından, ayrıntılı mühendislik çalışmaları ile detaylı olarak incelenmiştir.



Alan 1. Çimento hammadde çalışma sahası (Bağcılar batısı)



Alan 2. Tarım arazileri ve elektrik iletim hattı (Esenli köyü KD'su)



Alan 3. Yaygın tarım arazileri (Dalakderesi güneyi)



Alan 4. Arazinin eğimli topografik görünümü (Musalı köyü doğusu)

Şekil 8. Alternatif alanlar olarak incelenen 4 ayrı bölgenin genel görünümleri ve tipik özellikleri.

Çizelge 1. Alternatif olarak belirlenen 4 alanın karşılaştırmalı değerlendirilmesi

Seçim Kriterleri	ALTERNATİF ALANLAR
	ALAN 1 (Bağcılar Batısı)
Konum ve Yerleşim Yerlerine Uzaklık	Yerleşim merkezine 20 km mesafededir. Bağcılar Beldesi, Sarıbrahımlı Mahallesi'ne 1 km. doğuda. Burhan Köyü'ne 1,5 km ve Mersin 2. OSB'ye 400 m. mesafede yer almaktadır.
Jeoloji ve Topoğrafya	Bölge Handere formasyonu ve çoğunlukla kilişlerden oluşmuştur. Yeraltı suyu bakımından fakirdir. Tektonik olarak aktif değildir. Çimento fabrikası tarafından taş ve kil ocağı olarak kullanıldığından büyük hacimli geniş çukurlar oluşmuştur.
Ulaşım	Hiçbir yerleşim yerinden geçmeyen mevcut yolu bulunmaktadır.
Hakim Rüzgar Yönü	K-KD olup hakim rüzgar yönünde yerleşim yoktur
Arazi Kullanımı	Arazinin büyük kısmı bölgede yer alan çimento fabrikası tarafından kalker-kil ocağı olarak kullanılmıştır. Geri kalan kısmı ise hazine arazisidir.
Mülkiyet Durumu	Şahıs arazisi yoktur.
Maliyet	Proje, inşaat ve hafriyat maliyeti vardır ancak arazinin yapısı nedeni ile daha düşük olacaktır.
Malzeme Temini	Örtü malzemesi bulunmaktadır.
Yüzeysel Suların Kirlenme Riski	Yok
Doğal Afet Riski	Yok
Yeraltı Suyu Derinliği	> 100 m
Genel Görünüş ve Çevresel Durum	Doğal bitki yapısı, çimento fabrikası tarafından taş-kil ocağı olarak kullanımından dolayı kalmamıştır, tarıma ve diğer kullanımlara uygun değildir. Arazide yer yer büyük çukurlar vardır.
Seçim Kriterleri	ALTERNATİF ALANLAR
	ALAN 2 (Esenli Köyü KD)
Konum ve Yerleşim Yerlerine Uzaklık	Yerleşim merkezine olan uzaklık 21 km'dir. Hebilli Köyü, Kale Mahallesi'ne 1 km. daha kuzeyde yer alan Esenli Köyü'ne 750 m. mesafededir.
Jeoloji ve Topoğrafya	Bölge Güvenç Formasyonu (kumtaşı, kilitaşı, çakıltası) birimlerinden oluşmuştur. Yeraltı suyu bakımından fakirdir. Bölge tektonik olarak aktif değildir (10)
Ulaşım	Mevcut yolu Dikilitaş, Akdam ve Hebilli ve Esenli'den geçmektedir. Ulaşım yolunun yeniden planlanması ve yapılması gerekmektedir (10)
Hakim Rüzgar Yönü	Rüzgar yönü K-KD olup hakim rüzgar yönünde yerleşim yoktur
Arazi Kullanımı	Arazinin küçük bir kısmı daha önce taşocağı olarak kullanılmış, diğer kısımlar ise şahıs arazilerinden oluşmaktadır. Arazinin ortasından elektrik hattı geçmektedir ve tavuk çiftliği mevcuttur.
Mülkiyet Durumu	%95'i şahıs arazisidir.
Maliyet	Kamulaştırma, yol, proje ve inşaat maliyeti vardır. Hafriyat maliyeti daha büyük olacaktır.
Malzeme Temini	Örtü malzemesi bulunmamaktadır.
Yüzeysel Suların Kirlenme Riski	Yok
Doğal Afet Riski	Yok
Yeraltı Suyu Derinliği	25 m
Genel Görünüş ve Çevresel Durum	Arazinin tamamına yakını tarım arazisidir.

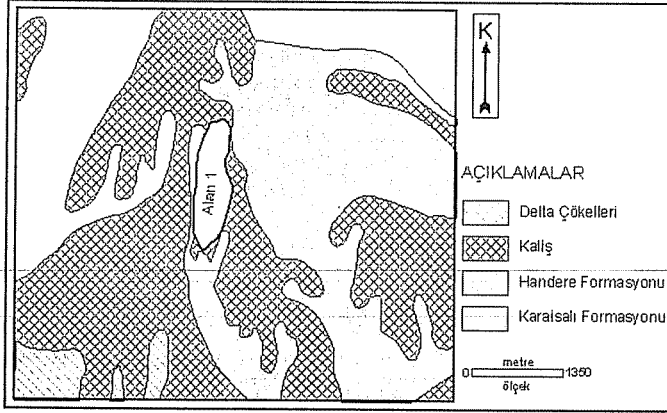
*DÜZENLİ KATI ATIK DEPOLAMADA YER SEÇİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER VE
ALTERNATİF ALANLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ: MERSİN İLİ ÖRNEĞİ*

Seçim Kriterleri	ALTERNATİF ALANLAR
	ALAN 3 (Doruklu güneyi)
Konum ve Yerleşim Yerlerine Uzaklık	Yerleşim merkezine olan uzaklık 17 km olup en yakınında yer alan güneyinde 1.5 km de Dorukkent, kuzeyde 300m uzaklıkta Doruklu Köyü bulunmaktadır.
Jeoloji ve Topoğrafya	Topografik olarak kuru dere yataklarından oluşan arazide heyelan riski bulunmaktadır.
Ulaşım	Mevcut yol yerleşim yerlerinden geçmektedir. Ulaşım için dar ve virajlı olan yol uygun değildir.
Hakim Rüzgar Yönü	K-KD olup hakim rüzgar yönünde yerleşim yoktur
Arazi Kullanımı	Tamamı tarımsal amaçlı olarak kullanılmaktadır.
Mülkiyet Durumu	Mevcut durumda tarım arazisi olarak kullanılan bölgedir. Seçilen arazi eğimli bir yapıda olup, vadi içerisinde küçük bir alanı içermektedir. Vadinin her iki tarafında da üzüm bağları yer almaktadır.
Maliyet	Kamulaştırma, yol, proje ve inşaat maliyeti vardır. Hafriyat maliyeti daha büyük olacaktır.
Malzeme Temini	Örtü malzemesi bulunmaktadır.
Yüzeysel Suların Kirlenme Riski	Yok
Doğal Afet Riski	Heyelan riski mevcuttur.
Yeraltı Suyu Derinliği	15-30 m
Genel Görünüş ve Çevresel Durum	Arazinin tamamına tarım arazisidir.
Seçim Kriterleri	ALTERNATİF ALANLAR
	ALAN 4 (Musalı Köyü güneyi)
Konum ve Yerleşim Yerlerine Uzaklık	Şehir merkezine uzaklık 25 km olup, en yakınında yer alan güney doğusunda 750 m uzaklıkta Çelebili köyü, kuzeyde 600 m uzaklıkta Musalı köyü bulunmaktadır.
Jeoloji ve Topoğrafya	Zemin çöp depolama için elverişli bir arazidir.
Ulaşım	Mevcut yol yerleşim yerlerinden geçmektedir. Ulaşım için dar ve virajlı olan yol uygun değildir. Ayrıca söz konusu alan katı atık transferi için ekonomik taşıma menzili (20 km) içerisinde bulunmamaktadır.
Hakim Rüzgar Yönü	K-KD olup hakim rüzgar yönünde Musalı Köyü bulunmaktadır.
Arazi Kullanımı	Büyük ölçüde tarımsal amaçlı olarak kullanılmaktadır.
Mülkiyet Durumu	Mevcut durumda tarım arazisi olarak kullanılan bölgenin büyük çoğunluğu şahıs arazisidir.
Maliyet	Kamulaştırma, yol, proje ve inşaat maliyeti vardır.
Malzeme Temini	Atıkların günlük toprakla örtülme işlemi için gereken malzeme etrafta bulunmaktadır.
Yüzeysel Suların Kirlenme Riski	Yok
Doğal Afet Riski	Yok
Yeraltı Suyu Derinliği	40m
Genel Görünüş ve Çevresel Durum	Arazinin tamamına yakını tarım arazisidir.

4.1. Önerilen Alternatif Alanın (Alan 1) Genel Jeolojisi

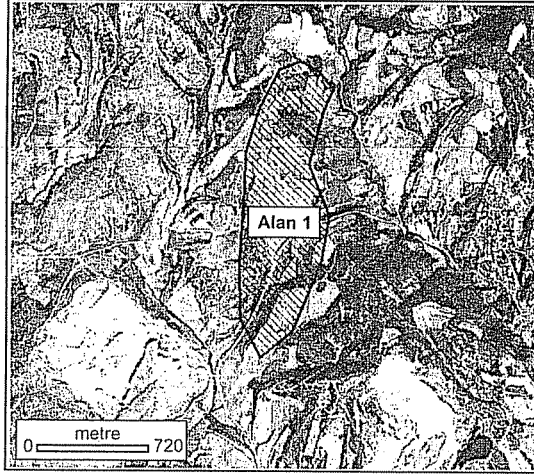
İnceleme alanı, kalış ile örtülü sırtlar ve bunların altındaki Neojen istifinin ortaya çıktığı vadi yamaçlarından oluşan bir jeoloji ortamında yer almaktadır (Şekil 9).

Handere Formasyonu'na ait killi birimler (kiltası ve marn) ile kaliş çökelleri bölgede yer alan hakim litolojidir. Handere Formasyonu altta krem ve pembemsi renkli, ince, marn-killi marn-kiltası tabakalarının ardalanmasından oluşmaktadır. Kaliş çökelleri bu birim üzerinde yer almaktadır. İstifin tavanının yakınında bu litoloji bütünü ile kızıl kahve renkli bir kiltasına dönüşmektedir. Bölgede bir çimento fabrikasına ait işletilmekte olan bir hammadde ocağı da yer almaktadır (Şekil 10).



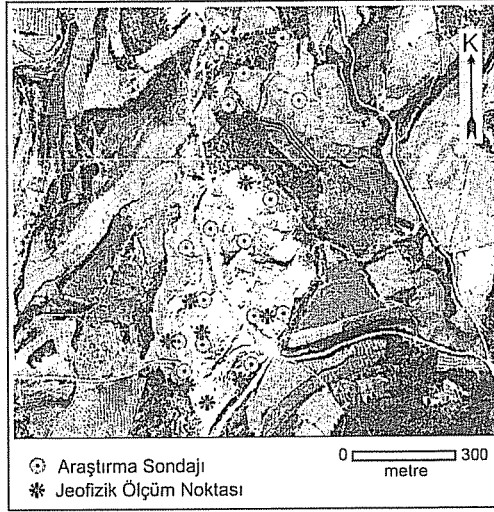
Şekil 9. Depolama alanı olarak düşünülen alanın jeoloji haritası

Tavandaki kaliş örtüsü 6-10 m arasında değişen kalınlıkta, genellikle orta - kalın tabakalı ve yer yer breşik (çakıllı) görünümlü, beyazımsı krem renklidir. İstif 8-12° arasında değişen eğimler ile GGB'ya doğru eğimli durmaktadır. Kaliş ve Handere Formasyonu tabakaları arasında düşük açılı bir uyumsuzluk bulunmaktadır.



Şekil 10. İnceleme alanının topoğrafya üzerindeki genel görünümü ve alansal yayılımı ile işletilen kil ocağı

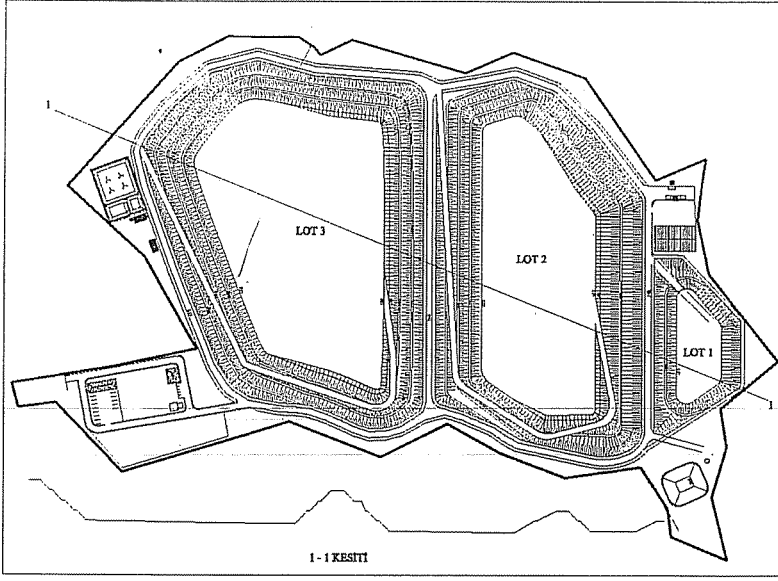
Belirlenen depolama alanının 3 etap olarak planlanması tasarlanmış ve ilk aşamada depolama yapılması düşünülen 1. etap ile ilgili mühendislik çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla bölgede araştırma sondajları ve çukurları açılmıştır (Şekil 11). Çizelge 2, tasarlanan etaplara ait alan, depolama hacmi ve hizmet sürelerini göstermektedir. Çizelge 3 ise 1. etap içerisinde oluşturulan alt bölgelere ait depolama hacmi ve kullanım ömürlerini göstermektedir. Planlanan birinci etabın da 3 ayrı depolama hücresi (lot) halinde kullanılması düşünülmüştür (Şekil 12).



Şekil 11. İlk aşamada işletilmesi düşünülen 1. etap için araştırma noktalarının dağılımı

Çizelge 2. ALAN 1 içinde yer alan etaplara ait kullanım bilgileri (12)

ALAN 1	Alan (m ²)	Depolama Hacmi (m ³)	Hizmet Ömrü (Yıl)
1. Etap	242.608	4.980.000	13.5
2. Etap	220.000	4.795.000	13
3. Etap	86.098	1.844.000	5
Toplam	548.706	11.619.000	31.5



Şekil 12. Planlanan 1. etap için kullanım bölgeleri (12)

Çizelge 3. İlk aşamada kullanılması düşünülen 1. etap içindeki alt kısımlara ait depolama hacimleri ve kullanım ömürleri (12)

1. Etap	Depolama Hacmi (m ³)	Kullanım Ömrü (Yıl)
Lot 1	130.000	0,5
Lot 2	2.100.000	6
Lot 3	2.750.000	7

4.2. Çevresel Özellikler

Önerilen katı atık depolama alanı ve çevresinde yoğun bir tarımsal faaliyet bulunmamaktadır. Bölgede çimento fabrikasına hammadde sağlayan bir ocak, uzun yıllardan beri çalışmaktadır. Ocak faaliyetleri ile bölgenin doğal topoğrafyası ile tarımsal amaçlı kullanım özellikleri de ortadan kalkmıştır. Bu ocağın meydana getirdiği çukur alanlar depolama alanının oluşturulmasına olumlu etki yapacaktır. Depolama alanı çevresinde nüfus yoğunluğu azdır. Bölge, Mersin ili yerleşim merkezine 20 km mesafededir. Katı atık depolama sahalarının yerleşim biriminden en az 1 km uzaklıkta bulunması gerekmektedir (13). Depolama alanının en yakınında yer alan Sarıbrahimli Mahallesi 1 km. doğuda yer almaktadır. Diğer yerleşim yeri olan Burhan Köyü ise 1.5 km mesafededir. Sahâ çevresinde yağışlarla yüzey sularını depolama alanına taşıyacak doğal dere yatakları azdır. Bu özellikleri ile önerilen depolama alanı uygun çevresel özelliklere sahiptir.

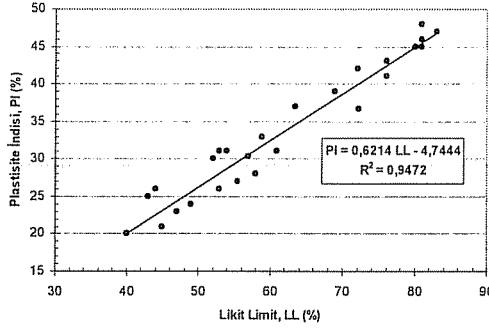
4.3. Jeoteknik Özellikler

Sondaj ve arazi çalışmaları, sondaj kuyularının açılması, numune alınması, laboratuvar deneylerinin yapılması, yüzey jeolojisi çalışmaları ve bu çalışmaların birlikte değerlendirilmesi şeklinde yürütülmüştür. İnceleme alanına ait zeminlerin cinsi ve tabaka durumlarının belirlenmesi için, toplam derinliği 328 metre olan 16 adet zemin sondajı yapılmıştır. Permeabilite deneyleri yerinde alınan örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde laboratuvarda gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar deney işlemleri ASTM standardına göre yapılmıştır. Elde edilen birimlere ait temel mühendislik özellikleri Çizelge 4’de gösterilmiştir (14).

Çizelge 4. Sondaj ve araştırma çukurları ile incelenen ince taneli zeminlere ait jeoteknik parametreler

Zemin Parametreleri			Değişim Aralığı
Zemin Sınıfı (Birleşik Sınıflandırması)	Zemin		CH, CL, MH, ML
Doğal Su Muhtevası (%)			19.1 – 65.1
Doğal Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)			18.0 – 22.9
Likit Limit (%)			40 – 83
Plastik Limit (%)			22 – 46
Plastisite İndisi			20 - 48
Çakıl (%)			0.9 – 6.3
Kum (%)			6.2 – 17.0
Silt – Kil (%)			51.0 – 93.8
Permeabilite Katsayısı (cm/s)			$9.9 \cdot 10^{-5}$ – $6.8 \cdot 10^{-6}$
Geçirimsizlik Durumu			Az geçirimli – Geçirimsiz
V _p (m/s)			934 – 1100
V _s (m/s)			492 – 680

İnce taneli çökellerin fiziksel ve mekanik davranışlarına etki eden en önemli parametrelerden biri kıvam özellikleridir. Handere Formasyonuna ait ince taneli çökeller üzerinde yapılan kıvam limiti deneyleri; likit limit ile plastisite indisi arasında anlamlı bir ilişkinin olduğunu ortaya koymuştur (Şekil 13).



Şekil 13. İncelenen bölgede yer alan ince taneli zeminlerde plastisite indisi değerlerinin likit limit değerlerine bağlı olarak değişimi

Elde edilen plastisite indisi değerlerine ve Leonards sınıflamasına göre depolama alanı içerisinde yer alan ince taneli zeminler “Plastik – Çok Plastik” olarak tanımlanmışlardır (15). Bu birimlerin özellikle katı atık depolama alanı tabanı için uygun özellikler taşıdığı düşünülmektedir.

4.4. İnceleme Alanının Uygunluk Açısından Değerlendirilmesi

Yapılacak mühendislik hesaplamalarına ve özellikle de şev duraylılığı analizlerine esas teşkil edecek parametrelerin belirlenmesi amacıyla sondajlardan alınan örselenmemiş örnekler üzerinde üç eksenli sıkışma, tek eksenli sıkışma ve kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Deneysel olarak elde edilen kohezyon (c_u), içsel sürtünme açısı (ϕ), doğal birim hacim ağırlığı (γ_n) ve güvenlik katsayısı 3 için hesapla bulunan maksimum izin verilebilir taşıma gücü (σ_a) değerleri minimum ve maksimum olarak Çizelge 5’de verilmiştir.

Şev stabilitesi amaçlı yapılan hesaplamalarda, doğal birim hacim ağırlığı değerleri üstteki kalış tabakası için 21.5 kN/m^3 ve alttaki kıltaşı-marn tabakası için ise 18 kN/m^3 olarak alınmıştır.

Çizelge 5. İncelenen bölgede yer alan birimlerin mekanik özellikleri

	c_u (kPa)	ϕ (degree)	γ_n (kN/m ³)	σ_a (kPa)
Yumuşak	11 – 80	5 - 24	19.2 – 23.0	8.4 – 74.4
Kalış				
Kıltaşı - Marn	17 – 230	0 - 27	18.0 – 22.9	10.2 – 52.0

Yamaç duraylılığı değerlendirmelerinde, kazı şevlerinin topluca ve dairesel bir kayma yüzeyi boyunca yenilmeye karşı güvenliği araştırılmıştır. Bu veriler daha sonra yapılan kesme kutusu deney sonuçları ile birlikte ele alınıp kısa süreli değerlendirmeler için kullanılacak drenajsız kayma dayanımı parametreleri, $c_u = 60 \text{ kPa}$ ve $\phi = 25^\circ$ olarak elde edilmiştir. Yapılan analizler ile elde edilen jeoteknik değerlendirmeler Çizelge 6’da özetlenmiştir.

Çizelge 6. Yapılan jeoteknik değerlendirmeler ve elde edilen sonuçlar

Jeoteknik Parametre	Jeoteknik Değerlendirme
Zemin Taşıma Gücü	Problemsiz
Oturma	Problemsiz
Kazılabilirlik	Mümkün
Yeraltı Suyu Etkileri	Etkisiz
Kazı Şev Stabilitesi	Stabil

Katı atık depolama alanının zemine ait bazı temel fiziksel özellikler ile çevresel koşullara göre ortaya konmuş olan uygunluk değerlendirilmesi Bagch kriterlerine göre yapılmıştır (Çizelge 7) (16).

Çizelge 7. Önerilen katı atık depolama sahası için zemin fiziksel özellikleri ile çevresel özelliklerin uygunluk değerlendirmesi

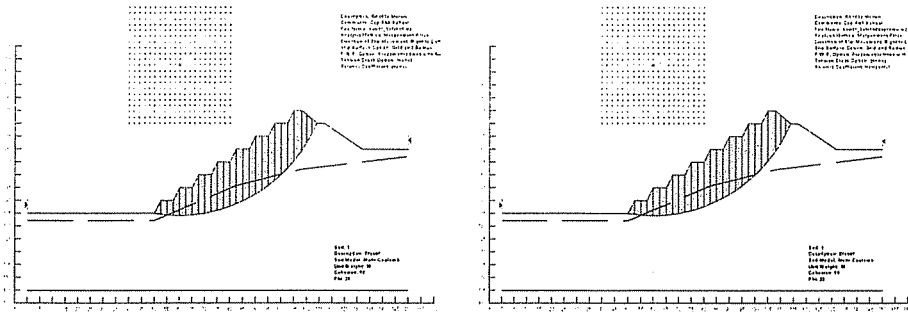
Parametre	Kriter (Bagch,1994)	Elde edilen değer	Uygunluk
Su İçeriği (%)	15 - 20	13 - 35	Kısmen uygun
Likit Limit (%)	20 - 40	40 - 83	Kısmen uygun
Plastik Limit (%)	10 - 20	22 - 46	Kısmen uygun
Geçirimlilik (m/s)	$< 10^{-8}$	$2.03 \cdot 10^{-6}$	Kısmen uygun
Geçirimsiz temel kalınlığı (m)	> 3	> 3	Uygun
Yeraltı suyu derinliği (m)	> 3	100	Uygun
Nehire uzaklık (m)	> 90	> 100	Uygun
Göl veya havuza uzaklık (m)	> 300	> 300	Uygun
Otoyola uzaklık (m)	> 300	> 300	Uygun
Milli parka uzaklık (m)	> 300	> 300	Uygun
İçme su kuyusuna uzaklık (m)	> 365	> 400	Uygun

4.5. Kazı Şevlerinin Duraylılığı

Depolama alanlarının değerlendirilmesinde yamaç ve şev duraylılığının çözümlenmesi ve buna dayalı bir optimizasyon yapılması gerekmektedir. Değerlendirmeye konu depolama alanının geometrisi, lotların konumları, seçilen kotlar, şev basamaklarının yükseklikleri, şevlerdeki basamak sayıları ve basamak aralarının genişlikleri ele alınan farklı parametreler kullanılarak değerlendirilmiştir.

Depolama alanındaki jeoloji istifi önceki bölümlerde de ayrıntılı olarak açıklandığı gibi esas olarak kil, kiltaş ve marn tabakalarından oluşmaktadır. Yine saha içinde varlıkları izlenen normal faylar ve bazı ters faylar ve bunların şevlere olumlu ve olumsuz etkileri de yok sayılmıştır. Çünkü bu süreksizliklerin uzanımı ile dar açılı duracak hiçbir kazı şevi bulunmamaktadır.

Üzerinde çalışılan kazı şevlerinin tümünün bir kerede kazılacağı, gereken yerde dolgu ile tamamlanacağı ve atık ile bütünüyle doldurulana kadar en az 10 yıllık bir süre



Şekil 15. Toplu şevlerde yapılan stabilite analizi değerlendirmeleri

Eğimi en yüksek (56°) şev için toplu güvenlik katsayısı $G_s = 1.50$ olarak bulunmuştur. Bu kesit için, öteki tüm geometri ve zemin özellikleri aynı kalmak koşulu ile deprem yükleri altında yatay yer ivmesi katsayısının $k_h = 0.10$ alındığı koşullarda ise güvenlik katsayısı 1.26 olarak elde edilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile günlük 650 ton katı atık üreten 778.000 nüfuslu bir yerleşim yeri için 2050 yılına kadar depolama yapabilecek bir alternatif katı atık depolama yerinin seçimi işlemi gerçekleştirilmiştir.

İnceleme alanında jeolojik, morfolojik, hidrojeolojik, çevresel faktörler, potansiyel kitle hareketleri gibi özellikler dikkate alınarak belirlenmiş 4 alternatif alan içinden uygun olan depolama alanının seçimi yapılmıştır.

Seçilen en uygun alanda detaylı araştırmalar yapılarak; arazinin jeolojisi, jeoteknik özellikleri, topografyası ve çevresel etkenleri göz önüne alınarak katı atık düzenli depolama alanının projelendirilmesi yapılmıştır.

Mersin Büyükşehir Belediyesi Katı Atık Düzenli Depolama Sahası için yapılmış olan sondajlı zemin incelemesi ile derlenen veriler kullanılarak yapılan değerlendirmede bölgenin Neojen yaşlı Handere Formasyonu'na ait kiltası, siltaşı, marn tabakaları üzerinde bulunduğu belirlenmiştir. Bu birimin doğal birim hacim ağırlığı 18.0 ile 22.9 kN/m^3 , kohezyonu 17 – 230 kPa ve içsel sürtünme açısı 0° – 27° arasında değiştiği görülmüştür.

Tek tek basamaklar ve topluca yüksek kazı şevlerinin dairesel bir kayma yüzeyi boyunca yenilmeye karşı güvenlik sayıları statik durum için 3.83 ve 1.50 olarak bulunmuştur.

Katı atık depolama yeri seçilmeden önce farklı alternatif alanlara ait tüm teknik özelliklerin ayrıntılı olarak incelenmesi gerekmektedir. Bu konuda önceden yapılmış uygulamaların başarısı, yapılacak diğer uygulamalar için de yol gösterici olacaktır.

6. KAYNAKLAR

1. Abacı,Ş., "Groundwater Quality Problems for Domestic Use", *Int. Conf. on Water Problems in The Mediterranean Countries, Bildiriler Kitabı*, s.799-805, K.K.T.C., 1997.
2. Demirkol,C., Yetiş,C., Lagap,H,H., Ünlügenç,U.C., "Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Kozan K-20 Paftası, 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi", MTA Jeoloji Etütleri Dairesi Yayını, 19 s., Ankara, 1991.
3. İlker,S., "Adana Baseni Kuzeybatısının Jeolojisi ve Petrol Olanakları", T.P.A.O., Ankara, 1975.
4. Schmidt,G.C., "Stratigraphic Nomenclature For The Adana Region Petroleum District", 7. Petroleum Administration Bull., 6, Ankara, s. 47-63, 1961.
5. Şahin,Ş., Koç,İ., Böke,N., Abasıkeleş,G., "İçel İlinin Arazi Kullanım Potansiyeli", MTA Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü, Adana, 1999.
6. Yetiş,C., Demirkol,C., "Adana Baseni Batı Kesiminin Detay Jeoloji Etüdü", MTA Derleme Rapor No. 8037, 187s., Ankara, 1986, Yayınlanmamış.
7. Şenol,M., Şahin,Ş., Duman,T., "Adana-Mersin Dolayının Jeoloji Etüd Raporu", MTA Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü, Adana, 1998.
8. Hatipoğlu,Z., "Mersin Tarsus Kıyı Akiferinin Hidrojeokimyası", Hacettepe Ün. Fen Bilimleri Ens., Doktora Tezi, Ankara, 2004.
9. Japan International Cooperation Agency JICA., "The Study on Regional Solid Waste Management For Adana-Mersin In The Republic of Turkey", Progress Report, Kokusai Kogyo Co., Ltd., Mersin, 1998.
10. Karaca,C., "Mersin Kenti İçin Esenli Köyü ve Civarının Katı Atık Depolama Alanı Olarak Jeolojik ve Jeoteknik Yönden Değerlendirilmesi", Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Yüksek Lisans Tezi, Mersin, 2002.
11. Nazlıcan,H., "Mersin Büyükşehir Belediyesi Katı Atık Düzenli Depolama Alanı İmar Planına Esas Jeolojik- Jeoteknik Etüt Raporu", Mersin, 2006.
12. İO Çevre Çözümleri, "Mersin Büyükşehir Belediyesi, Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi Uygulama Projesi", İstanbul, 2006.
13. Şimşek,C., Filiz,C., "Investigation of the geological and hydrogeological of the waste dispose site of Torbalı İzmir", DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, cilt :7 2., 39-56, 2005.
14. ASTM, "ASTM standards of falling – head permeability tests", American Society for Testing and Materials Standards, 1984.
15. Leonards,G.A., "Foundation Engineering", McGraw-Hill Book Company, 1136s., New York, 1962.
16. Bagch,A., "Design, construction and monitoring of landfills", 2nd Edition, Wiley Interscience Publication, New York, 1994.

DÜZAĞAÇ KUVARSİT YATAĞININ (KOZAN-ADANA) CAM SANAYİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Nil YAPICI ve Mesut ANIL

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

ÖZET : Bu çalışmada, Adana M35 c4 paftasında yer alan ve bölgede Şafaktepe formasyonu içerisinde yüzlek veren kuvarsitlerin cam sanayiinde kullanılabilirliğini araştırılmıştır. Camış Madencilik A.Ş.'ne ruhsatlanmış alanı da içine alacak şekilde yakın çevrenin ayrıntılı jeolojik incelemesi yapılmış ve ruhsat sahasından alınan kayaç örneklerinin sedimanter petrografik incelemeleri gerçekleştirilmiş ve kuvarsitin formasyon içerisindeki konumu ortaya konmuştur. Bu bölgede Şafaktepe formasyonu, dolomit, kireçtaşı ve yer yer oldukça kalın katmanlı kuvarsit arakatmanlıdır. Formasyonu ifade eden kuvarsit, kireçtaşı ve yer yer dolomit birbiri ile geçişlidir. Taban kesimlerinden başlayıp üst kesimlere kadar orta-kalın katmanlı olarak gözlenen kuvarsit düzeyi, ayrılmış yüzeyi açık gri, tane kırık yüzeyi bej, kirli beyaz, ince-orta kristalen kuvars taneli, seyrek demirli, %1'den az opak mineralli, belirgin orta-kalın tabakalı, yer yer belirgin laminalıdır.

Yarıkantitatif element analiz sonuçlarına göre kuvarsitlerden yapılan analiz sonucuna göre, bazı elementlerin bileşimleri; SiO₂ % 90,84, Al₂O₃ %3,69, Fe₂O₃ % 0,33, TiO₂ %0,19, CaO % 0,14, Cr₂O₃ % 0,0095 olarak belirlenmiştir. Örnekler yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcıdan geçirilmiş ve bileşimlerin; SiO₂ % 94,56 , Al₂O₃ % 1,9, Fe₂O₃ % 0,18, TiO₂ % 0,15, CaO % 0,12, Cr₂O₃ % 0,007 olarak değiştiği gözlenmiştir. Elek analiz sonucuna göre, numunenin %90'ı d(0.90), %50' si d(0.50), %10'u d(0.10), boyut aralığından geçmiş ve bunlara ait boyut dağılım eğrisi çizilmiştir.

Sonuç olarak, Düzağaç kuvarsit yatağının cam sanayinde istenen standartlara manyetik ayırıcıdan sonra uygun olduğu anlaşılmıştır. Diğer yandan basit bir zenginleştirme işlemi (yıkama) sonucunda bile ocaktan çıkarılan kuvarsitin cam sanayinde pencere tipi cam üretiminde kullanılabildiği görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kuvarsit, Cam Sanayi, Laboratuar, Kozan/ADANA

THE RESEARCH OF USABILITY IN GLASS INDUSTRY OF DÜZAĞAÇ QUARTZITE (KOZAN-ADANA) DEPOSITS

ABSTRACT : The main aim of this study is to research usability of quartzite in glass industry, mostly seen on Safaktepe formation in Adana M35 c4 map. However, the detailed geological, sedimentologic and petrographic rock investigations have been made in Camış Mining Co. licensed area and quartzite position in formation has been clearly determined. Şafaktepe Formation have dolomite, limestone and rare thick layer

of quartzite beds in this region. Quartzite, limestone and rare dolomite units have crossing upwards between each other. In this study area Quartzite unit are mainly medium to thick bedded, sometimes laminated, light gray-beige coloured, fine-medium quartz grained, rare Fe_2O_3 and less than 1% opaque minerals from bottom to top.

According to results of semi quantitative element analysis, some elements in quartzite are given below: SiO_2 % 90,84, Al_2O_3 %3,69, Fe_2O_3 %0,33, TiO_2 %0,19, CaO % 0,14, Cr_2O_3 % 0,0095. Later, samples have conducted with high violence magnetic separator and the results have observed; ; SiO_2 % 94,56 , Al_2O_3 % 1.9, Fe_2O_3 % 0,18, TiO_2 %0,15, CaO % 0,12, Cr_2O_3 % 0,007 . % 90 of samples have sieved in $d(0.90)$, %50 of samples sieved in $d(0.50)$ and at last % 10 of samples have sieved in $d(0.10)$ grain size. Also, grain size curve of these results have been drawn.

As a result, Düzğaç quartzite deposit may have been reached the available standards in glass industry after conducted with magnetic separator. On the other hand, It is seen that this quartzite type could be use to produce window glass by making only simple mineral processing like washing on raw material in glass industry.

Key Words: Quartzite, Glass industry, Laboratory, Kozan/ADANA

1. GİRİŞ

Bir çökeltme ortamında, genelde yatay düzlemler boyunca biriken ufak kuvars kristal taneleri geniş alanlara yayılır ve santimetreden başlayıp, metrelere kadar varan kalınlıklar gösterir. Kuvars tanelerinin arasındaki boşluklarda, başlangıçta bir birleştirici yoktur; bu kütleler kum çökelleridir. Ancak zamanla bu boşluklar, doğal çimento olarak nitelendirilen birleştirici maddelerle doldurulurlar. Doğal çimento maddesi silisyum dioksitten (SiO_2) ibaretse, yani kuvars kristalleri yine kuvars olan bir madde ile birleşmekteyse, oluşmuş kayaca “Kuvarsit” veya “Orto - Kuvarsit” denmektedir. Bu tür kuvarsitin doğal çimentosu çoğunlukla amorfudur. Bunların daha sonra metamorfizma geçirmesi durumunda çimento maddesi olan amorf kuvars tamamen kristalleşerek Para - Kuvarsit olarak adlandırılan ikinci tür kuvarsit meydana gelir. Kuvarsitin kimyasal bileşimi, kuvars, kumtaşı (kuvarslı gre) ve kuvars kumu gibi SiO_2 olup, az miktarda feldspat, mika, manyetit, hematit, granat ve rutil mineralleri ile kil ve/veya kireçtaşı noktacıları bulunabilir. Kuvarsit sert, sağlam ve aşındırıcı bir kayadır. Bu nedenle istihracı ve öğütülmesi oldukça güç ve pahalıdır. Kuvarsit üretimi, aynı kimyasal bileşimde bulunan kuvars kumu ve kumtaşından ayrıca daha saf olan kuvarstan sonra tercih edilmektedir¹.

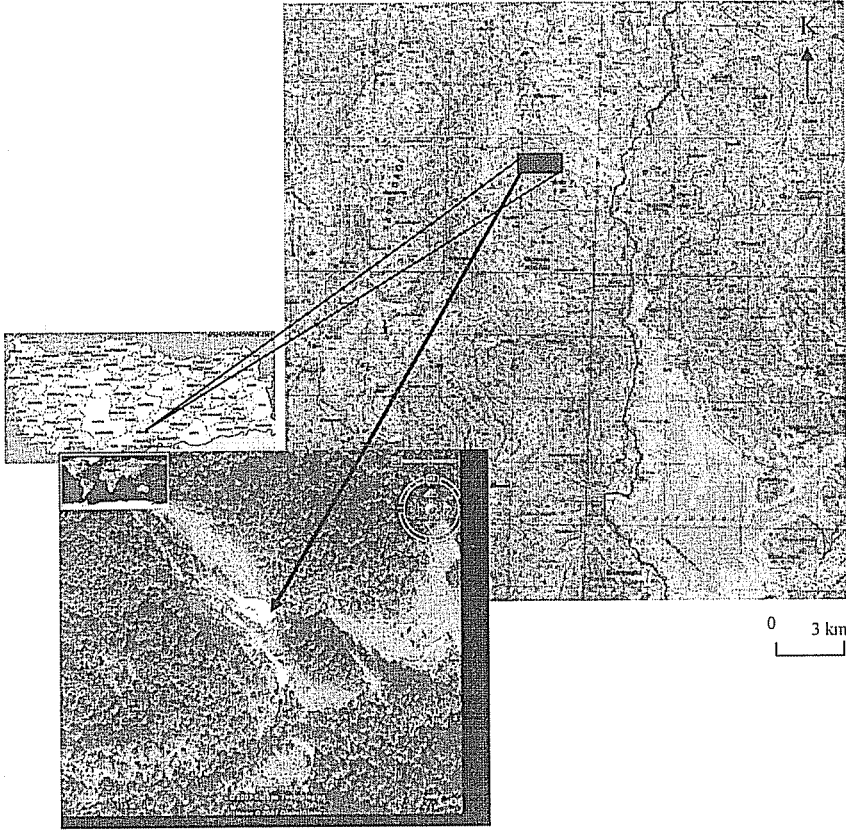
Cam üretiminde kullanılan en önemli girdiler, kum, soda, dolomit, kuvars gibi maddelerdir. Genel olarak, cam üretiminde kullanılacak kuvarsit’deki SiO_2 içeriğinin %99’dan az olmaması istenmektedir. Ancak önemli olan kriter, safsızlıkların miktarının kararlı olmasıdır. Bu durumda %96’ya kadar inebilen bir SiO_2 miktarı da kabul edilebilmektedir. Cam sanayi için genellikle %0.02-0,1 Fe_2O_3 arasında değişen ve kararlı bir bileşime sahip kumlar tercih edilmektedir. Kullanılan kumun tane boyutu erime hızının kontrol edilmesi açısından çok önemlidir. Fazla iri taneli kum tamamen erimezken, çok ince taneli kum da korozyona sebep olabilmektedir. Bu nedenle bileşimi kararlı, dar bir tane boyutu dağılımına sahip kumlar cam üretiminde kullanılmaktadır².

Genel olarak cam yapımında kullanılacak kumun tane boyutunun 32 mesh (0,5 mm) ile 200 mesh (0,074 mm) arasında olması istenmektedir. Bulunması gereken özellikler;

- +32 mesh en çok %5,
- -32/+200 mesh en çok %80
- -200 mesh en çok %15' dir.

Düz camda tane çapının 1 mm - 125 mikron arasında, ortalama boyutunun ise yaklaşık 250 mikron olması gerekmekte ve ayrıca ateşe dayanımları nedeniyle, kromit, silimonit ve korundum gibi safsızlıklar istenmezken, nem miktarının ise %0,5'i aşmaması gerekmektedir².

Cam sanayi için kullanılabilceği düşünülen kuvarsitlerin bulunduğu çalışma alanımız, Adana M35 c4 paftasında yer almakta ve Kozan-Feke karayolunun 17. km' sinde karayoluna 1 km' lik bir mesafede bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası ve ocak sahasının uydu görüntüsü.

Tüm bu bilgiler ışığında, çalışmanın amacı, bölge kuvarsitlerinin petrografik, kimyasal ve tane iriliğinin incelenmesi ve hangi tip cam yapımında kullanılacaklarının ortaya çıkarılmasıdır.

2. BÖLGESEL JEOLOJİ

Çalışma alanı, Geyikdağı Birliği şelfe çökelmiş çeşitli kırıntılar ve karbonatlardan oluşmuştur. Muhtemelen Alt Kambriyenden başlayan bu istif, çok sayıda uyumsuzlukla Lütésiylene kadar sürmektedir^{2,3}. Birimlerin çoğu metamorfizma göstermemektedir. Çalışma alanımızın da içinde bulunduğu, 1/25 000 ölçekli jeolojik harita daha önce yapılan haritalardan faydalanılarak basitleştirilmiştir (Şekil 2). Bölgenin düşey stratigrafik kesiti ise Şekil 3'de verilmiştir.

Çalışma sahasındaki kuvarsit yataklarının bulunduğu formasyon olan Şafaktepe, bölgede, Güvendik mahallesi kuzeyinde, Danalı Tepe (647 m) ve Arılık Tepe (580 m) mevkinde yüzlek vermektedir (Şekil 2- 3). Şafaktepe formasyonu, tektonizmanın dokanak ilişkilerini etkilemediği yerlerde (çalışma alanımızın kuzeydoğusu) altındaki Alt Devoniyen yaşlı Ayıtepe formasyonu ve üstündeki Gümüşali formasyonu ile uyumludur³.

2.1. Şafaktepe Formasyonu

Birim ilk defa Demirtaşlı (1967) tarafından Doğu Toros orojenik kuşağında yer alan Tufanbeyli (Adana) ilçesi yakınlarındaki Şafak Tepe mevkinde ayırtılıp, sınıflandırılmıştır.

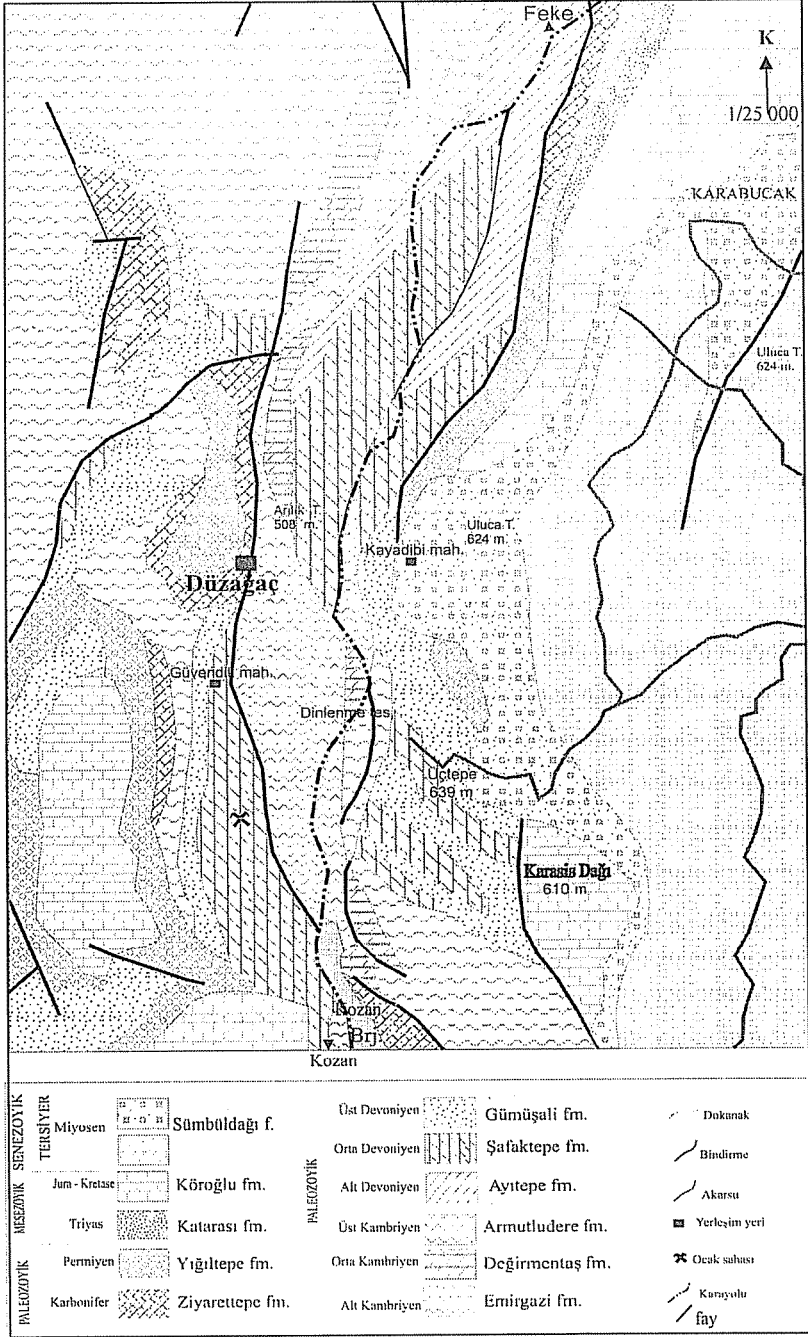
Bu formasyon, bölgede dolomit, kireçtaşı ve yer yer oldukça kalın katman sunan kuvarsit birimiyle belirgindir (Şekil 2). Formasyonu ifade eden kuvarsit, kireçtaşı ve yer yer dolomit birbiri ile geçişli olarak bulunmaktadır. Taban kesimlerinden başlayıp üst kesimlere kadar orta-kalın katmanlı olarak gözlenen kuvarsit, ayrılmış yüzeyi açık gri, tane kırık yüzeyi bej, kirli beyaz, ince-orta kristalen kuvars taneli, seyrek demirli, %1'den az opak mineralli, belirgin orta-kalın tabakalı, yer yer belirgin laminalı özellik sunmaktadır. Özellikle bazı kısımlarda laminalı görünüm oldukça barizdir (Resim 1). Formasyonun diğer bir birimi olan kireçtaşı, üstlere doğru dolomite geçiş göstermektedir. Yer yer kalın katmanlı sert, sağlam, keskin köşeli, ayrılmış yüzey rengi koyu gri, gri, taze kırık yüzeyi gri renkli olan kireçtaşı mikritik bir görünüm sunmaktadır. Bölgede, kuvarsit ile yer yer ardalanmalı olan dolomitin ayrışma yüzeyi gri-siyah renkli, taze kırık yüzeyi ise koyu gri-kahverengi olup, orta-kalın katmanlı, eklemli-çatlaklı, çatlaklarında kalsit dolgulu ve düzgün tabakalı bir yapı sunar (Resim 2). Çalışma sahamızda Şafaktepe formasyonu içerisinde bulunan kuvarsit yataklanmasının, ocak ve çevresindeki yatay stratigrafik kesiti Şekil 4'de, düşey stratigrafik kesiti Şekil 5 ve ocak görüntüsü ise Resim 3'de verilmiştir.

Kuvarsitin kimyasal bileşimi, kuvars, kumtaşı (kuvarslı gre) ve kuvars kumu gibi SiO₂ olup, ancak kuvarsit içerisinde çeşitli miktarlarda feldspat, mika, kil, manyetit, hematit, granat, rutil, kireçtaşı v.b. bulunabilir. Bileşiminde % 95'den fazla SiO₂ bulunan kuvarsitlere "Ortokuvarsit" denilmekte olup, sanayide genellikle ortokuvarsitler kullanılmaktadır.

Çalışma alanımızdan getirilen toplam 45 adet yan kayaç ve kuvarsit örneğinden yaptırılmış ince kesitlerin polarizan mikroskopta mineralojik incelemeleri yapılmıştır.

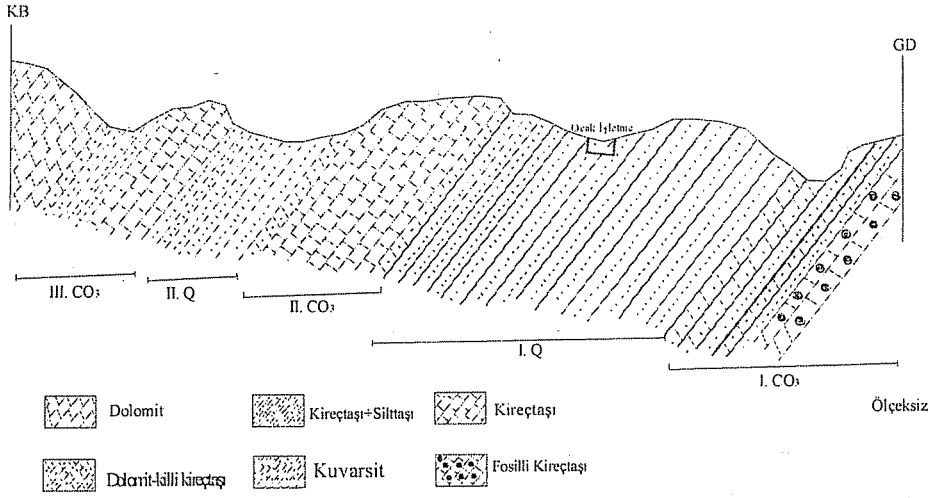
Ayrıca laboratuvarda hazırlanan örneklerden, TÜBİTAK/MAM'da XRD analizi yaptırılmış, kalitatif fazları tespit edilmiştir.

DÜZAĞAÇ KUVARSİT YATAĞININ (KOZAN-ADANA) CAM SANAYİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

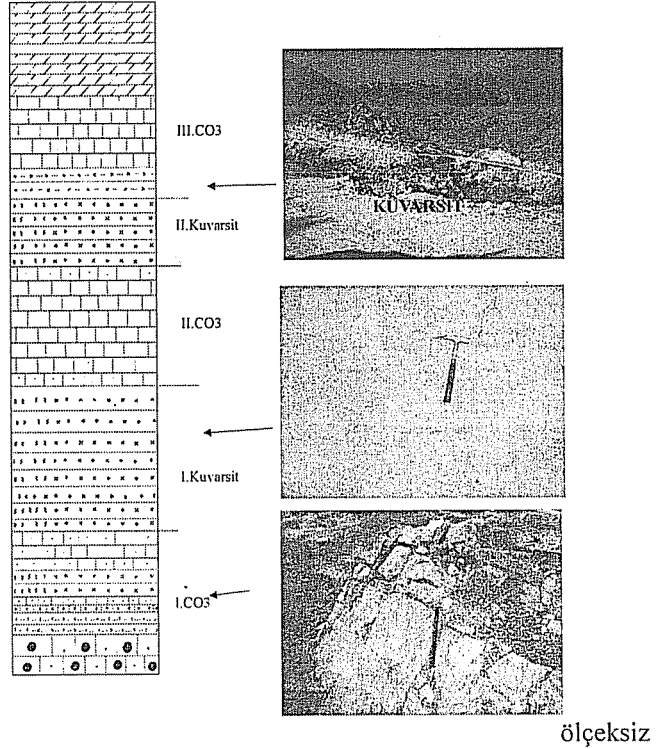


Şekil 2. Çalışma Alanı ve Yakın Dolayının Jeoloji Haritası⁽³⁾.

DÜZAĞAÇ KUFARSİT YATAĞININ (KOZAN-ADANA) CAM SANAYİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI



Şekil 4. Çalışma alanına ait yatay stratigrafik kesit



Şekil 5. Çalışma alanına ait düşey stratigrafik kesit



Resim 1. Yer yer belirgin lamine alt seviyelerde arenitleşmenin görüldüğü kuvarsit



Resim 2. Kuvarsitlerle geçişli olarak görülen, sert, sağlam görünümlü dolomit.



Resim 3. Kuvarsit ocağının genel görünümü.

Bölgede bulunan kuvarsit, dolomitlerle geçişli bir görünüm sunmaktadır. Orta Devoniyeni temsil eden Şafaktepe formasyonu içerisinde kuvarsitlerle geçişli bulunan bu karbonatlı seviyeler, dolomit ve kireçtaşı olarak iki temel fasiyes topluluğu içerir. Mikroskopik incelemeler sonucunda, kireçtaşı örneklerinde, kalsit kristalleri mikritik görünümlü olup, yer yer sitalolitlerin egemen olduğu görülmüştür. Kesitlerde damar dolgusu şeklinde daha iri kalsit kristallerine de rastlanılmıştır (Levha 1; Resim 1). Örneklerde belirgin bir fosilleşme tespit edilmemiştir. Formasyonun daha üst zonlarında dolomitleşme ise daha belirgin olarak karşımıza çıkmaktadır. Daha masif görünümleri, sert, gri renkleri, kokuları ve asite karşı daha az reaksiyonları ile kireçtaşlarından ayrılmaktadır. İnce kesit görünümleri köşeleri daha belirgin tek nikol görünümleri bariz iri kristalleri ve renkleri ile ayırtmandır.

Dolomitleşme dokusu tekdüze olan örnekler bu grup içerisinde toplanmıştır. Bunlar, çoğunlukla açık renkli olup dolosparit bir mozaikle temsil olunurlar. (Levha 1; Resim 2). Geçiş zonlarında alınan kayaç örneklerinden yaptırılmış kesit incelemeleri sonucunda ise kumlu kireçtaşlarına rastlanılmıştır. İncelemelerde kalsitten oluşan matris içerisinde özşekilli kuvars kristalleri dağınık olarak gözlenilmiştir (Levha 1; Resim 3).

Kuvarsitlerden alınan ve ince kesitleri yaptırılan kayaçların incelemesi sonucunda; ana mineral olan kuvars, eşboyutlu, özşekilli, yarı özşekilli olarak, rengi ve parlaklığıyla belirgindir. Kısmen yönelme gösteren kuvars taneleri paralel sönme de göstermektedir.

Kesitin %90-95' ini kaplamaktadır (Levha 1; Resim 4-5). Matriks, az miktarda, iri kuvars taneleri arasında yine SiO₂ den oluşmuş hamur maddesinden oluşmuştur.

Opak mineraller yer yer nadir olarak gözlenmekte olup, yine kısmen kuvarslara eşlik eden feldspat minerallerine rastlanılmıştır (Levha 1; Resim 6).

Mikroskop altında belirgin olmamakla beraber, yaptırılan X-ışını difraksiyon (XRD) analizi sonucunda ana mineral olarak kuvars (SiO₂), az miktarda Klinozoisit (Ca₂Al₃(SiO₄)(Si₂O₇)O(OH)) ve yine az miktarda Skolesit (CaAl₂Si₃O₁₀H₂O) mineraline rastlanılmıştır.

Çalışmalar sonucu %85-90 kuvars, %5-7 arasında feldspat,%1-2 arasında opak mineral, ve %2-5 arasında kil boyutunda tane belirlenmiştir. Taneler genellikle az yuvarlaktır.

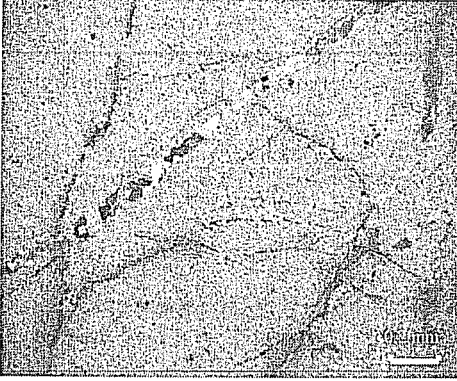
3. KUVARSİTLERİN KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI

Çalışma alanındaki kuvarsit yatağının taban ve tavana doğru sistematik olarak alınan 10 adet örnekten TÜBİTAK/MAM'a Philips PW-2404 model dalga boyu dağılımlı X-ışını Flüoresan Spektrometre cihazı ile yaptırılmış kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de gösterilmiştir.

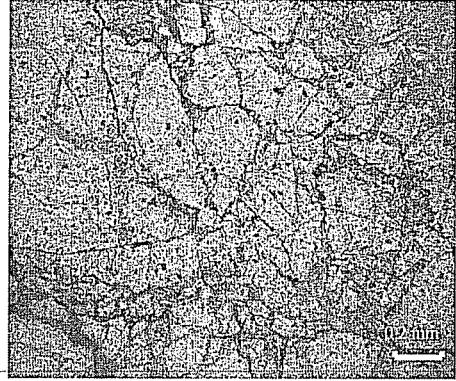
Çizelge 1. Düzağaç yöresinden alınmış kuvarsitlere ait kimyasal analiz sonucu (% olarak)

Kim. Bileşim	1. seviye	2. seviye	3. seviye	4. seviye	5. seviye	6. seviye	7. seviye	8. seviye	9. seviye	10. seviye
SiO ₂	90,210	91,742	91,953	91,587	91,785	92,384	91,363	90,354	88,654	88,341
Al ₂ O ₃	4,024	3,352	3,201	3,320	3,474	3,201	3,352	3,985	4,781	4,255
Fe ₂ O ₃	0,362	0,351	0,317	0,298	0,282	0,281	0,320	0,374	0,382	0,401
BaO	0,131	0,132	0,123	0,114	0,105	0,104	0,112	0,133	0,141	0,154
CaO	0,122	0,131	0,132	0,131	0,112	0,107	0,115	0,163	0,184	0,188
Cr ₂ O ₃	0,012	0,013	0,010	0,008	0,011	0,009	0,011	0,009	0,005	0,007
CuO	0,005	0,002	0,001	0,003	0,002	0,002	0,003	0,007	0,005	0,008
K ₂ O	3,210	2,854	2,802	2,643	2,582	2,553	2,685	2,895	3,562	2,614
MgO	0,541	0,482	0,461	0,383	0,323	0,415	0,594	0,617	0,646	0,631
MnO ₂	0,007	0,005	0,006	0,006	0,002	0,003	0,005	0,007	0,007	0,008

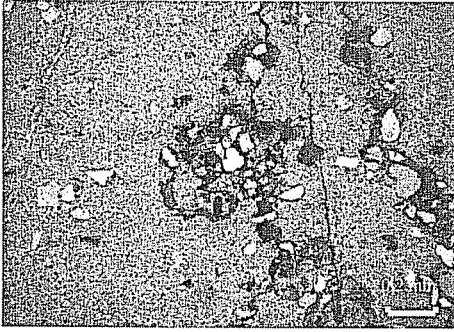
LEVHA 1



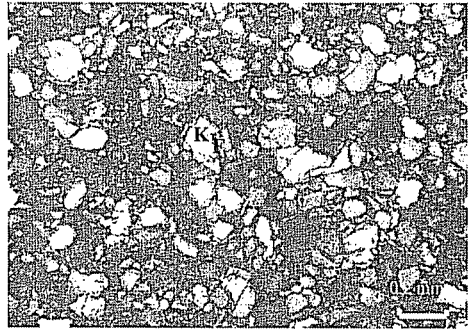
Resim 1. Mikritik görünümlü kalsit kristallerinin yoğun olduğu kireçtaşı



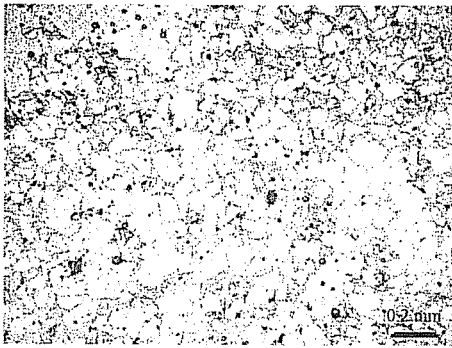
Resim 2. Dolosparitik mozaikle temsil olunan dolomit kristalleri



Resim 3. Kumlu kireçtaşı; kuvars tanelerinin kalsitten oluşmuş matriks içerisindeki görünümü.



Resim 4. Kuvarsit kristalleri arasında gözlenen feldspat taneleri, (K:kuvars, F: feldspat)



Resim 5. Kuvars kristallerinin tek nikol görüntüsü.



Resim 6. Yarıöşekli kuvars kristalleri

Çizelge 1'in devamı

Na ₂ O	0,071	0,045	0,033	0,032	0,028	0,036	0,055	0,058	0,064	0,066
P ₂ O ₅	0,211	0,256	0,225	0,198	0,196	0,181	0,205	0,226	0,283	0,321
Rb	0,008	0,007	0,007	0,006	0,006	0,007	0,007	0,009	0,009	0,011
SO ₃	0,021	0,020	0,019	0,018	0,018	0,02	0,021	0,021	0,022	0,035
SrO	0,017	0,017	0,016	0,016	0,016	0,015	0,015	0,017	0,018	0,021
TiO ₂	0,201	0,200	0,198	0,187	0,185	0,183	0,189	0,195	0,201	0,208
ZnO	0,006	0,004	0,005	0,004	0,003	0,003	0,006	0,005	0,008	0,012
ZrO ₂	0,027	0,028	0,025	0,27	0,025	0,028	0,027	0,025	0,028	0,029
K.K*	0,814	0,359	0,466	0,768	0,845	0,468	0,970	0,900	1,00	0,680

* Kızdırma kaybı

Çalışma alanımızdaki kuvarsitlerin kimyasal analiz sonuçları cam sanayi için gerekli sınır değerleri tam olarak karşılamamaktadır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Cam Sanayi için gerekli sınır değerler

%	Optik Cam	Kaliteli Dekoratif Cam	Cam Kap
SiO ₂	99,5	99,5	98,5
Fe ₂ O ₃	0,08	0,013	0,03
TiO ₂	0,03	-	-
CrO ₂	0,002	0,0002	0,0006

Ancak basit bir zenginleştirme yöntemi ile olması gereken standartları sağlayacağı da açıktır. Özellikle Fe, Ti oranındaki fazlalığın düşürülmesi gerekmektedir.

Bu amaç doğrultusunda, oranlar, bölümümüzde bulunan Yüksek Alan Şiddetli Eriez Yaş Manyetik Ayırıcısı kullanılarak mevcut demir oranı düşürülmeye çalışılmıştır. Öncelikle, araziden getirilen kuvars kumu örneği öğütme yapılarak - 0,5 mm tane boyutuna indirgenmiştir. Cam sanayinde + 0,106 mm kullanılmadığı için şlam atma (killi ve gang minerallerin sulu ortamda uzaklaştırılması) yapılmıştır^{5,6}.

Daha sonra yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcıdan geçirilmiştir. Burada kuvars kumu içerisindeki Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂ v.b. kirletici vasfı yüksek mineraller uzaklaştırılma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Besleme malı deney koşulları;

Tane Boyutu: -0,5 mm + 106 mm

Numune miktarı: 100 gr

Manyetik alan şiddeti: 10 000 gauss

Verilen deney koşullarına göre yapılan deney sonrasında elde edilen konsantre ve artık malının ayrı ayrı kimyasal analizleri yapılmıştır. Analiz için 1, 8 ve 9. seviye

örnekleri seçilmiş (Kuars oranı düşük, Fe oranı yüksek olduğu için) ve her seviye örneği için deney tekrarlanmıştır. Sonuçlar ise Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Deney sonrası konsantre ve artık malın kimyasal analiz sonuçları

Kimyasal Bileşim		1. Seviye	8. Seviye	9. Seviye
SiO ₂	Konsantre	95,47	97,25	90,96
	Artık	78,23	79,56	72,69
Al ₂ O ₃	Konsantre	2,1	1,9	1,7
	Artık	5,1	4,87	4,98
Fe ₂ O ₃	Konsantre	0,15	0,23	0,18
	Artık	0,59	0,43	0,47
BaO	Konsantre	0,098	0,123	0,131
	Artık	0,085	0,108	0,129
CaO	Konsantre	0,101	0,125	0,147
	Artık	0,169	0,138	0,157
Cr ₂ O ₃	Konsantre	0,011	0,008	0,003
	Artık	0,007	0,004	0,002
K ₂ O	Konsantre	1,98	1,31	2,04
	Artık	2,05	2,45	3,01
MgO	Konsantre	0,32	0,45	0,58
	Artık	0,21	0,28	0,29
MnO ₂	Konsantre	0,006	0,007	0,006
	Artık	-	-	-
Na ₂ O	Konsantre	0,068	0,052	0,059
	Artık	-	-	-
P ₂ O ₅	Konsantre	0,121	0,112	0,102
	Artık	-	-	-
Rb	Konsantre	0,004	0,002	0,002
	Artık	-	-	-
SO ₃	Konsantre	0,019	0,018	0,019
	Artık	-	-	-
SrO	Konsantre	0,008	0,007	0,008
	Artık	-	-	-
TiO ₂	Konsantre	0,158	0,147	0,129
	Artık	-	-	-
ZnO	Konsantre	0,006	0,004	0,003
	Artık	-	-	-
ZrO ₂	Konsantre	0,027	0,022	0,024
	Artık	-	-	-

Bu durumda manyetik ayırıcıdan geçen malzemenin kimyasal analiz sonuçlarından da anlaşılacağı gibi kuvars kumunun cam sektöründe kullanılabilirliği artmıştır.

4. KUVARSİTLERİN TANE BOYU ANALİZLERİ

Cam sanayi için diğer önemli bir parametre tane boyutudur. Genel olarak cam yapımında kullanılacak kumun tane boyutunun 32 mesh (0,5 mm) ile 200 mesh (0,074 mm) arasında olması istenmektedir. Araziden getirilen kuvarsitlerin boyut analiz işlemleri için ilk önce kurutma işlemleri yapılan malzemenin örselenerek tane serbestleşmesi gerçekleştirilmiştir. Kum haline gelen örneklerin fiziksel analizleri yapıldığında taneler -0.425+0.300 mm fraksiyonunda toplanmışlardır (Çizelge 4). Bu oran, cam sektörü için istenilen boyutlardadır.

Ayrıca, laboratuvarında hafif oranda kırma-elemeden geçirildikten sonraki tane boyutu için MAM/TÜBİTAK'a yaptırılan analiz sonuçlarındaki değerler, diğer oranlara göre çok daha iyi durumdadır. Buna göre:

$$d(0,10) = 0,00239 \text{ mm}$$

$$d(0,50) = 0,0389 \text{ mm}$$

$$d(0,90) = 0,106 \text{ mm}$$

boyut analizlerinde; $d(0.10)$ = numunenin %10'u , $d(0.50)$ = numunenin %50'si, $d(0.90)$ = numunenin %90'ı geçmiştir.

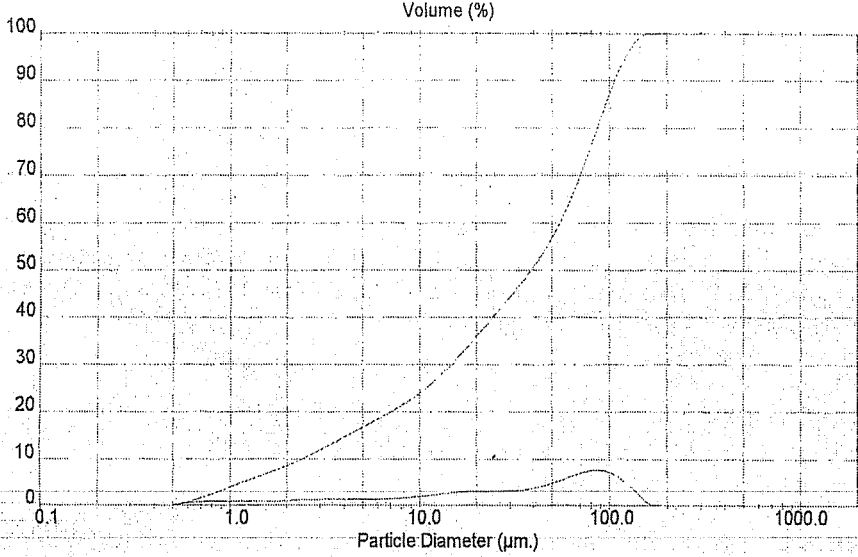
Çizelge 4. Düzağaç yöresi kuvars kumlarından alınan örneklerin tane boyut dağılımları

Elek açıklığı (mm)	Ağırlık Ortalama (%)	Σ EÜ (%)	Σ EA (%)
+2.500	0,14	0,14	100
-2.500+1.150	8,2	8,1	98,7
-1.500+0.500	9,8	8,5	86,7
-0.500+0.425	15,8	31,3	90,8
-0.425+0.300	29,3	95,8	33,5
-0.300+0.100	21,5	65,00	55,6
-0.100+0.075	9,5	98,00	4,8
-0.075	5,3	100	5,3

Örneklere ait tane boyut dağılım eğrisi Şekil 6'da verilmiştir.

5. SONUÇLAR

Çalışma sahasındaki kuvarsit yataklarının bulunduğu Şafaktepe formasyonu, tektonizmanın dokanak ilişkilerini etkilemediği yerlerde, altındaki Alt Devonyen yaşlı Ayıtepe formasyonu ve üstündeki Gümüşali formasyonu ile uyumludur. Formasyonu ifade eden kuvarsit, kireçtaşı ve yer yer dolomit birbiri ile geçişli bulunmaktadır. Mineralojik incelemeler sonucu, %85-90 kuvars, %5-7 arasında feldspat, %1-2 arasında opak mineral, ve %2-5 arasında kil boyutunda tane belirlenmiştir. Taneler genellikle az yuvarlaktır. Yaptırılan X-ışını difraksiyon (XRD) analizi sonucunda ana mineral olarak kuvars (SiO_2), az miktarda Klinozoisit ($\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$) ve yine az miktarda Skolesit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})$) mineraline rastlanılmıştır.



Şekil 6. Örneklere ait tane boyut dağılım eğrisi

Çalışma alanındaki kuvarsit yatağının taban ve tavana doğru sistematik olarak alınan 10 adet örnekten TÜBİTAK/MAM'a, dalga boyu dağılımlı X-Işını Flüoresan Spektrometre cihazı ile yaptırılmış kimyasal analiz sonuçlarının bazıları; SiO_2 % 90,84, Al_2O_3 %3,69, Fe_2O_3 %0,33, TiO_2 %0,19, CaO % 0,14, Cr_2O_3 % 0,0095 olarak tespit edilmiştir. Mevcut oranların iyileştirilmesi ve özellikle mevcut demir oranı düşürülmesi için bölümümüzde bulunan Yüksek Alan Şiddetli Eriez Yaş Manyetik Ayırıcısı kullanılmıştır. SiO_2 % 94,56, Al_2O_3 % 1,9, Fe_2O_3 % 0,18, TiO_2 %0,15, CaO % 0,12, Cr_2O_3 % 0,007 olarak değiştiği gözlenmiştir. Bu durumda manyetik ayırıcıdan geçen malzemenin kimyasal analiz sonuçlarından da anlaşılacağı gibi kuvars kumunun cam sektöründe kullanılabilirliği artmıştır. Genel olarak cam yapımında kullanılacak kumun tane boyutunun 32 mesh (0,5 mm) ile 200 mesh (0,074 mm) arasında olması istenmektedir. Yapılan tane boyu analiz sonuçlarında taneler, -0,425+300 mm fraksiyonunda toplanmışlardır. Ayrıca örneklerin, kırma-elemeden geçirildikten sonra MAM/TÜBİTAK'a yaptırılan tane boyu analiz sonuçlarındaki değerler ise çok daha iyi durumdadır. Buna göre:

$$d(0,10) = 0,00239 \text{ mm}$$

$$d(0,50) = 0,0389 \text{ mm}$$

$$d(0,90) = 0,106 \text{ mm}$$

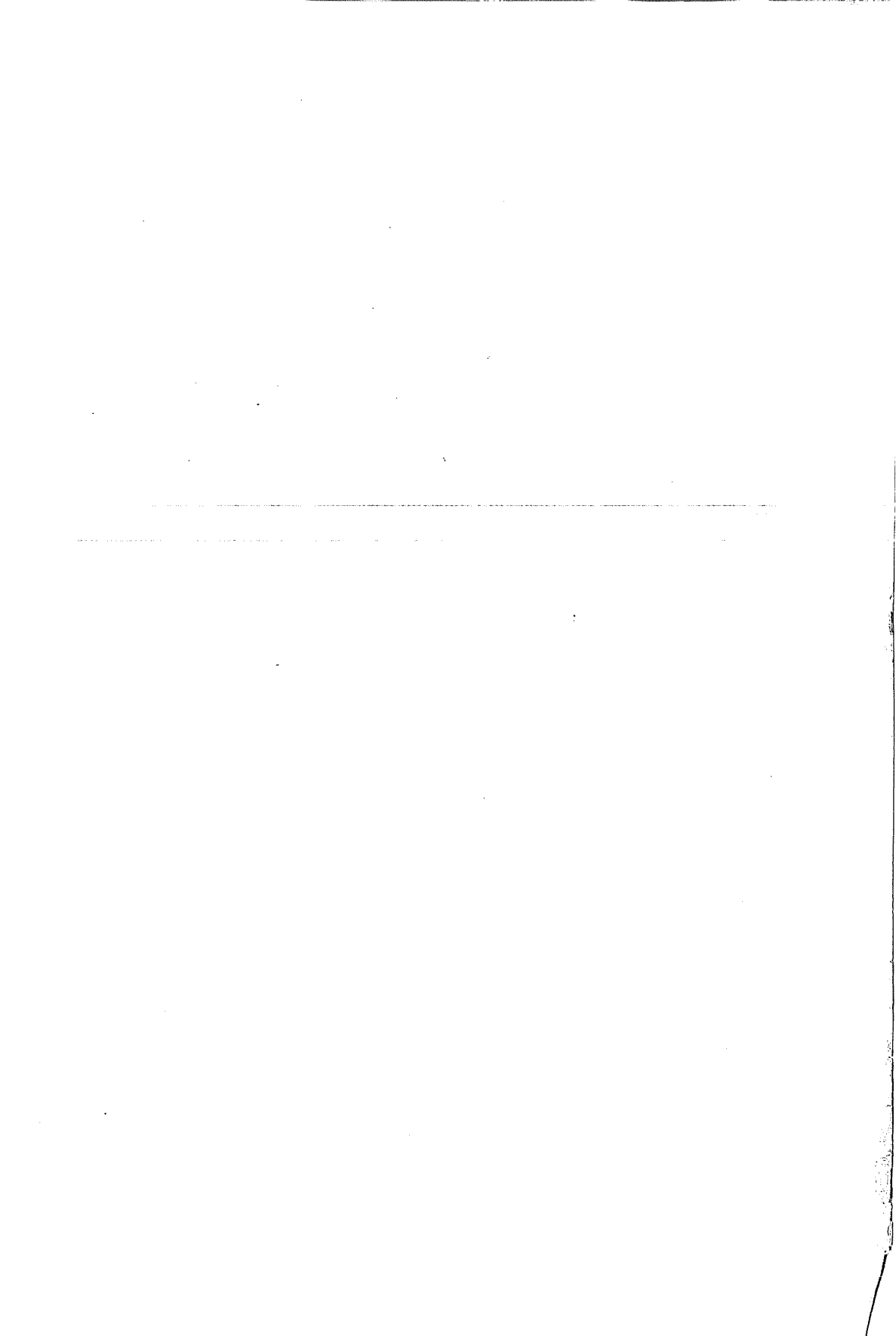
boyut analizlerinde; $d(0,10)$ = numunenin %10'u, $d(0,50)$ = numunenin %50'si, $d(0,90)$ = numunenin %90'ı geçmiştir. Bu durumda, basit bir zenginleştirme işlemi ile rahatlıkla bölgemizdeki kuvarsit, Pencere Camı, Adi Kalın Cam, Yeşil-Siyah Cam, Yeşil Cam, Sarı Cam yapımında kullanılabilir.

6. KATKI BELİRTME

Bu çalışma, MMF2005BAP8 kodlu Ç.Ü. Bilimsel Araştırmaları Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Yazarlar, arazi çalışmaları sırasında büyük yardımlarını gördüğü Ç.Ü. Müh.Mim.Fak. Jeoloji Müh. Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Cengiz YETİŞ'e teşekkür ederler.

7. KAYNAKLAR

1. Taş,A., Öner,F. ve Eren,M., "Aydıncık (İçel) yöresindeki kuvarsitlerin mineralojisi, jeokimyası ve hammadde potansiyeli", 53. TJK Bildiri Özleri, 50, Ankara, 2000.
2. Kurşun,İ. ve İpekoğlu,B., "Türkiye Kuvars Kumu Potansiyeline Genel Bir Bakış", Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Nisan 1995, İzmir, 1995.
3. Abdülkadir Ayhan, 1976-1980, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
4. Güneşli,H., "Horzum (Kozan/Adana) Bölgesinin jeolojisi ve Tektoniği", Ç.Ü. Müh. Fak. Doktora Tezi, 128 s.,Adana, 1995.
5. Önal,G., "Cevher Hazırlamada Flotasyon Dışındaki Zenginleştirme Yöntemleri", İ.T.Ü. Yayınları, 1156, İstanbul, 1980.
6. Yalçın,T., Ateşok,G., "Demir Cevherlerinin Zenginleştirilmesi", Madencilik Dergisi, s.20-32, Ankara, 1979.



YAZIM KURALLARI

Gönderilecek makaleler, Mühendislik Bilimleri ile ilgili başka hiçbir yerde yayınlanmamış, orijinal bir araştırma niteliğinde olmalıdır. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilemez. Yazı dili Türkçe ve İngilizce'dir. Dergi ofset 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 ifadedi 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 yayınlanmasında yayın kurulu yetkilidir. Şekil ve grafikler çini mürekkep ile aydinger kağıdına veya beyaz kuşe kağıda çizilmeli, resimler parlak fotoğraf kartına siyah-beyaz ve net basılmış olmalıdır.

Çalışma herhangi bir kurumun desteği ile yapılmış ise, bu ilk sayfanın altına * işaretini takip edecek şekilde dipnot olarak 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 sona da başlangıç ve bitiş sayfaları tire ile ayrılarak verilmelidir. Kaynak bir kitap ise yazar adının ilk harfi, soyadı, kitap adı (kelime harfleri büyük), yayınevi, yayın yeri, yayın yılı ve sayfa numarası verilmelidir. Dergiye gönderilen yazılar yayımlansın veya yayınlanmasın iade edilmez. Makaleleri yayınlama yetkisi dergi yayın kuruluna aittir.

Yayınlanması istenen makaleler aşağıdaki adrese gönderilir:

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Dergi Yayın Kurulu Başkanlığı
01330 Balcalı-ADANA
Tel : (322) 338 63 57 Fax : (322) 338 61 26

Etil ve Metil Alkolün Bir Benzinli Motorda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Motor Titreşimine Olan Etkisinin Frekans Analizi Yöntemi ile Araştırılması <i>The Investigation of Engine Vibration of Using Ethyl and Methyl Alcohol as an Alternative Fuel in a Gasoline Engine by Frequency Analysis Management</i> Deniz ÜSTÜN, Serhan YAMAÇLI, Ali KESKİN, Mustafa ÖZCANLI, Özden BAŞTÜRK	223
Adana'da 1930'lardan Günümüze, Sosyal, Kültürel ve Ekonomik Değişimler Bağlamında Konut Mimarisinin Gelişimi <i>The Development of Residential Architecture in Adana in Relation to Social, Cultural and Economical Changes, From The 1930s Until Today</i> Onur ERMAN, Figen KARAMAN, Duygu SABAN, İpek DURUKAN.....	235
HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) Bilgisayar Modellemesi Kullanılarak Anoksik Tank Hidroliğinin İncelenmesi <i>Investigation of Anoxic Tank Hydraulics by Using CFD (Computational Fluid Dynamics) Modelling</i> Kevser DEMİRÖZ, Fuat BUDAK.....	249
Kozlar (Mut-Mersin) Dolayının Stratigrafisi <i>Stratigraphy of The Kozlar (Mut-Mersin) Area</i> Orkun ÖZKALE, Cengiz YETİŞ, Deniz ERDOĞAN İBİLİOĞLU	261
İnce Taneli Zeminde Konsolidasyonlu-Drenajsız Kesme Sırasında Boşluk Suyu Basıncı Değişimi <i>Pore Pressure Changes During Consolidated Undrained Shear of a Fine Grained Soil</i> Ali GÖKOĞLU, Hasan ÇETİN.....	275
Farklı İki Kalgon (Sodyum Hegzametafosfat)'la Yapılan Hidrometre Analizlerinin Karşılaştırılması <i>Comparing of Hydrometr Analysis Done with Two Different Calgon (Sodium Hexametaphosphate)</i> Ali GÖKOĞLU, Ali ÖZVAN.....	285
Düzenli Katı Atık Depolamada Yer Seçimini Etkileyen Faktörler ve Alternatif Alanların Değerlendirilmesi: Mersin İli Örneği <i>Factors Affecting The Site Selection of Sanitary Waste Storage Facilities and Assessment of Alternative Areas: A Case Study of The City of Mersin</i> Cumhur KARACA, İbrahim ÇOBANOĞLU, Şaziye BOZDAĞ.....	291
Düzağaç Kuvarsit Yatağının (Kozan-Adana) Petrografik, Jeokimyasal Özellikleri ve Cam Sanayinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması <i>Petrographical and Geochemical Characteristics of Düzağaç Quartzite (Kozan-Adana) Deposits and The Research of Usability in Glass Industry</i> Nil YAPICI, Mesut ANIL.....	309

Düzenli Akımda Tabana Yakın Yatay Silindir Yüzeyinde ve Tabanda Kayma Gerilmesi Dağılımlarının Deneysel İncelenmesi <i>Experimental Study of Shear Stress Distributions on The Surface of Near-Bed Horizontal Cylinder and on The Bed in Steady Flow</i> A.Alper ÖNER, M.Salih KIRKGÖZ	93
Tabana Yakın Bir Silindir Etrafındaki Akımın Farklı Türbülans Modelleri ile Sayısal Modellenmesi <i>Numerical Modeling of Flow Around a Cylinder Near Bottom Using Different Turbulence Models</i> M.Sami AKÖZ, A.Alper ÖNER, M.Salih KIRKGÖZ	107
Kamu İhale Sistemindeki Değişikliğin İnşaat Yatırımlarının Süre ve Maliyetine Yansımaları <i>Reflections of Recent Changes in Public Tender System on Time and Cost of Construction Investements</i> M.Emin ÖCAL, Nuray TURHAN	119
Binalarda Kısa Kolon Etkisinin İncelenmesi <i>Investigation of Short Column Effect of Buildings</i> İsmail H.ÇAĞATAY, Sena GÜZELDAĞ	133
Betonarme Yapıların SAP2000N ile Tasarımı <i>Design of The Reinforced Concrete Structures by Using SAP2000N</i> Hacer BİLİR, İsmail H.ÇAĞATAY	141
Erzurum Timar ve Dazlak Poinzalarının Katkılı Çimento ve Hafif Agregalı Beton Üretiminde Kullanımı <i>The Use of Erzurum Timar and Dazlak Pumices as Cement Admixtures and Lightweight Aggregate Concrete Production</i> Hanifi BİNİCİ, Hüseyin TEMİZ, İsmail H.ÇAĞATAY	153
Geniş Başlıklı Dikdörtgen Savak Arkasında Oluşan Dalgalı Hidrolik Sıçramanın Sayısal Analizi <i>Numerical Investigation of Undular Hydraulic Jump Behind Rectangular Broad-Crested Weir</i> Selahattin KOCAMAN, Hatice ÖZMEN-ÇAĞATAY	165
Değişik Yükseklikteki Plakaların Silindir Arkasındaki Akış Yapısına Etkisi <i>The Effect of Various-Height Plates on Flow Characteristics Behind a Cylinder</i> Hüseyin AKILLI, Bengi GÖZMEN, Beşir ŞAHİN	175
Değişken Kesitli Elastik Çubukların Dinamik Yükler Altındaki Davranışının Laplace Transform Metodu ile Analizi <i>Analysis of Behaviour of an Elastic Bar with Varying Cross-Section Under Dynamic Loads with Laplace Transform Method</i> Kerim Can ÇELEBİ, Naki TÜTÜNCÜ, İbrahim KELEŞ	185
Üniform ve Üniform Olmayan Çubukların Mod-Süperpozisyon Metoduyla Serbest Titreşim ve Dinamik Analizi <i>Free Vibration and Dynamic Analysis of Uniform and Non-Uniform Rods Using Mode-Superposition Method</i> Kerim Can ÇELEBİ, Naki TÜTÜNCÜ, İbrahim KELEŞ	197
Buz Oluşumuna Silindir Pozisyonunun Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi <i>Numerical Investigation of The Effect of The Position of The Cylinder on Ice Formation</i> Nesrin SÖNMEZ, Ertan BUYRUK, Ahmet FERTELLİ	213