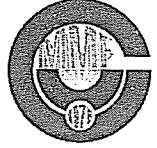




ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ



ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT
VOL

20

SAYI
NO

1

Haziran
June

2005

ISSN 1019-1011

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Analysis of Frames with Nonlinear Flexible Connections <i>Nonlinear Esnek Bağlantılı Çerçevelerin Analizi</i> Orhan AKSOĞAN, S.Seren AKAVCI, Halil GÖRGÜN.....	1
Effect of Variable Properties on the Flow of on Non-Isothermal Fluid <i>Değişken Akışkan Özelliklerinin İsothermal Olmayan Akış Üzerindeki Etkileri</i> Coşkun ÖZALP, Selim DUMAN, Ahmet PINARBAŞI.....	13
Değişken Dış Hava Şartlarının İklimlendirme Sistemi Cihaz Kapasitesine Etkisi <i>Influence of Variable Outdoor Air Conditions on Operating Capacity of Air Conditioning Systems</i> Tuncay YILMAZ, Mehmet Azmi AKTACİR.....	23
İki Sıra Boşluklu Deprem Perdelerinde Tek Güçlendirici Kiriş Konumunun Perde Yanal Yerdeğiştirmesine Etkisi <i>The Effect of the Level of a Single Stiffening Beam on the Lateral Displacement of Two-Bay Coupled Shear Walls</i> Engin EMSEN, Orhan AKSOĞAN, Murat BİKÇE.....	39
İki Eksenli Eğilme ve Eksenel Basınç Altında Betonarme Kolon DeneYleri <i>Tests on Reinforced Concrete Columns under Biaxial Bending and Axial Load</i> Cengiz DÜNDAR, Serkan TOKGÖZ, Tark BARAN, İlker Fatih KARA.....	53
Suya Doygun Olmayan Zeminlerin Üç Eksenli Parametrelerinin Belirlenmesi <i>Determination of Triaxial Parameters for Unsaturated Soils</i> Mehmet Arslan TEKİNSOY, Cafer KAYADELEN, Taha TAŞKIRAN.....	65
Fındık Yağı Biyodizeli Üretimi ve Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Araştırılması <i>Investigation of Hazelnut Oil Biodiesel Production and Usability as Alternative Fuel for Diesel Engine</i> Ali KESKİN, Kadir AYDIN.....	75
Tall Yağı Biyodizeli Üretimi ve Bunun Dizel Motor Performansı ve Emisyonları Üzerindeki Etkileri <i>Production of Tall Oil Biodiesel and the Effects on Performance and Emissions of a Diesel Engine</i> Ali KESKİN, Kadir AYDIN.....	85
Uniform Yüklü Dairesel Temel Altında Yatay Gerilme Analizi <i>Lateral Stress Analysis Below a Uniformly Loaded Circular Foundation</i> Mustafa LAMAN, Salih KESKİN.....	95

CUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ

Çukurova University, Journal of Faculty of Engineering and Architecture

Sahibi

Tuncay YILMAZ
Çukurova Üniversitesi
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanı

Editör

Mesut ANIL

YAYIN KURULU

Mesut ANIL 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.)	Sedat TEMUR (S.Ü.)
A.Feyzi BİNGÖL (F.Ü.)	Cavit DEMİRKOL (Ç.Ü.)
İlhan ERHAN (M.S.Ü.)	Aziz ERTUNC (S.D.Ü.)
Cahit HELVACI (D.E.Ü.)	M.Baki KARAMIŞ (E.Ü.)
Erdal KEREY (İ.Ü.)	Salih KIRKGOZ (Ç.Ü.)
Erdem KOC (Ç.Ü.)	Güven ÖNAL (İ.T.Ü.)
Işık ÖZPEKER (İ.T.Ü.)	Kazım PIHTILİ (F.Ü.)
Hamit SERBEST (Ç.Ü.)	Bedri TUÇ (G.Ü.)
İbrahim UZMAY (E.Ü.)	Servet YAMAN (Ç.Ü.)
Cengiz YETİŞ (Ç.Ü.)	Tuncay YILMAZ (Ç.Ü.)

(Bu Sayıda Görüşlerinden Yararlanılan Diğer Hakemler)

Hüseyin AKILLI (Ç.Ü.)	Muhammet Vefa AKPINAR (MKÜ)
Fatih ALTUN (E.Ü.)	H.Murat ARSLAN (Ç.Ü.)
Cengiz Duran ATIŞ (Ç.Ü.)	Faruk AYDIN (N.Ü.)
Adil BAYKASOĞLU (G.Ü.)	Fuat BUDAK (Ç.Ü.)
Hüsamettin BULUT (H.Ü.)	Orhan BÜYÜKALACA (Ç.Ü.)
Meltem SARIOĞLU ÇEBECİ (Ç.Ü.)	Faruk Fırat ÇALIM (M.K.Ü.)
Hanifi ÇANAKÇI (G.Ü.)	Hasan ÇETİN (Ç.Ü.)
Hakan ERDEM (N.Ü.)	Rızvan EROL (Ç.Ü.)
Hakan GÜNEYLİ (Ç.Ü.)	Tefaruk HAKTANIR (E.Ü.)
Selim İNAN (M.Ü.)	Ali KAHRAMAN (S.Ü.)
Hasan KAPLAN (P.Ü.)	Alaettin KILIC (Ç.Ü.)
Mustafa MAMAK (Ç.Ü.)	S.Noyan OĞULATA (Ç.Ü.)
Emel LAPTALI ORAL (M.K.Ü.)	Muammer ÖZGÖREN (S.Ü.)
Zeliha SELEK (Ç.Ü.)	Umur Korkut SEVİM (M.K.Ü.)
Beşir ŞAHİN (Ç.Ü.)	A.Kamil TANRIKULU (Ç.Ü.)
A.Hamza TANRIKULU (Ç.Ü.)	Mustafa TUTAR (M.Ü.)
Hakan TÜRKER (M.K.Ü.)	Gürhan YALÇIN (N.Ü.)
Ergül YAŞAR (Ç.Ü.)	Çetin YILMAZ (O.D.T.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).



İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Analysis of Frames with Nonlinear Flexible Connections <i>Nonlinear Esnek Bağlantılı Çerçevelerin Analizi</i> Orhan AKSOĞAN, S.Seren AKAVCI, Halil GÖRGÜN.....	1
Effect of Variable Properties on the Flow of on Non-Isothermal Fluid <i>Değişken Akışkan Özelliklerinin İsothermal Olmayan Akış Üzerindeki Etkileri</i> Coşkun ÖZALP, Selim DUMAN, Ahmet PINARBAŞI.....	13
Değişken Dış Hava Şartlarının İklimlendirme Sistemi Cihaz Kapasitesine Etkisi <i>Influence of Variable Outdoor Air Conditions on Operating Capacity of Air Conditioning Systems</i> Tuncay YILMAZ, Mehmet Azmi AKTACİR.....	23
İki Sıra Boşluklu Deprem Perdelerinde Tek Güçlendirici Kiriş Konumunun Perde Yanal Yerdeğiştirmesine Etkisi <i>The Effect of the Level of a Single Stiffening Beam on the Lateral Displacement of Two-Bay Coupled Shear Walls</i> Engin EMSEN, Orhan AKSOĞAN, Murat BİKÇE.....	39
İki Eksenli Eğilme ve Eksenel Basınç Altında Betonarme Kolon Deneyleri <i>Tests on Reinforced Concrete Columns under Biaxial Bending and Axial Load</i> Cengiz DÜNDAR, Serkan TOKGÖZ, Tarkan BARAN, İlker Fatih KARA.....	53
Suya Doygun Olmayan Zeminlerin Üç Eksenli Parametrelerinin Belirlenmesi <i>Determination of Triaxial Parameters for Unsaturated Soils</i> Mehmet Arslan TEKİNSOY, Cafer KAYADELEN, Taha TAŞKIRAN.....	65
Fındık Yağı Biyodizeli Üretimi ve Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Araştırılması <i>Investigation of Hazelnut Oil Biodiesel Production and Usability as Alternative Fuel for Diesel Engine</i> Ali KESKİN, Kadir AYDIN.....	75
Tall Yağı Biyodizeli Üretimi ve Bunun Dizel Motor Performansı ve Emisyonları Üzerindeki Etkileri <i>Production of Tall Oil Biodiesel and the Effects on Performance and Emissions of a Diesel Engine</i> Ali KESKİN, Kadir AYDIN.....	85
Üniform Yüklü Dairesel Temel Altında Yatay Gerilme Analizi <i>Lateral Stress Analysis Below a Uniformly Loaded Circular Foundation</i> Mustafa LAMAN, Salih KESKİN.....	95

Prefabrik Yapı Elemanı Üretiminde Kullanılan Çelik Kalıpların Titreşim Etkisinde Deneysel Olarak İncelenmesi <i>Experimental Investigation of Steel Moulds Used in the Production of Precast Concrete Units under Vibration</i> Gültekin AKTAŞ, Tarık BARAN, A.Kamil TANRIKULU.....	105
Prefabrik Yapı Elemanı Üretiminde Kullanılan Çelik Kalıpların Titreşim Etkisinde Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi <i>Theoretical and Experimental Investigation of Steel Moulds used in the Production of Precast Concrete Units under Vibration</i> Gültekin AKTAŞ, Tarık BARAN, A.Kamil TANRIKULU.....	117
Nehir Akımlarının Deterministik ve Stokastik Özelliklerinin İncelenmesi <i>Investigation of Deterministic and Stochastic Properties of Stream Flows</i> Murat ÇOBANER, Mahmut ÇETİN, Recep YURTAL.....	129
Lif Takviyeli Uçucu Küllü Betonların İşlenebilirlik Özellikleri <i>Workability Properties of Fiber Reinforced Fly Ash Concrete</i> Cengiz Duran ATIŞ, Okan KARAHAN.....	139
Islak ve Kuru Kür Edilmiş Granüle Yüksek Fırın Cürufu İçeren Betonların Basınç Dayanımı <i>Wet and Dry Cured Compressive Strength of Concrete Containing Ground Granulated Blast-Furnace Slag</i> Cengiz Duran ATIŞ, Cahit BİLİM.....	151
Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi <i>Investigation of the Mechanical Properties of High Strength Concrete</i> Şahin Tolga GÜVEL, İsmail Hakkı ÇAĞATAY.....	165
Diyarbakır Rezidüel Kilinin Köken-Mineral Yapı-Mühendislik Davranışı İlişkilerinin İrdelenmesi <i>Evaluation of Origin-Mineralogy-Engineering Behaviour of Residual Clay in Diyarbakır Province</i> Taha TAŞKIRAN, Cafer KAYADELEN.....	177
1998 Afet Yönetmeliğine Göre Yapı Düzensizlikleri ve Çözüm Önerilerinin Mimari Açından İncelenmesi <i>Irregularities of Structures According to the New Turkish Earthquake Code 1998 and Investigations of Architectural Solutions</i> Senem (BOZKURT) AKTÜRK, S.Seren (AKAVCI) GÜVEN.....	187
Kağıt Endüstrisinden Kaynaklanan Gerçek Atıksuların Mezofilik Anaerobik Arıtımı <i>Anaerobic Mesophilic Treatment of Real Wastewater Generated from Papermill Industry</i> Emine Özge PİRGÜN, Mesut BAŞIBÜYÜK.....	203
Montaj Hatlarının Değişen Koşullar Altında Yeniden Dengelenmesi <i>Assembly Line Rebalancing under Varying Conditions</i> Ebru YILMAZ, Rızvan EROL.....	213
Otomotiv Sektöründe Kurumsal Karne Uygulamasına Dayalı Performans Yönetim Sistemi Kurulması ve Değerlendirilmesi <i>Building up and Evaluation of a Performance Management System Based on Balanced Scorecard for Automotive Sector</i> İsmail DÜNDAR, Oya H. YÜREGİR.....	229

Sandal Dağı (Mersin) Güney-Doğusunun Stratigrafisi ve Karaisalı Kireçtaşının Sedimanter Petrografik Özellikleri <i>Stratigraphy of the Southern-Eastern Part of the Sandal Mountain (Mersin) Area and Sedimentary Petrographic Properties of the Karaisalı Limestone</i> Cengiz YETİŞ, İsmail DİNÇER.....	245
Niğde Merkezi SO ₂ ve Patiküler Madde (PM) Anomalisi <i>Anomaly of SO₂ and Particular Substance in Downtown Niğde</i> Mustafa Gürhan YALÇIN, Semiha İLHAN, Mustafa AKYILDIZ, Serkan İÇERLER.....	267
Kızıl (Yahyalı/Kayseri) Demir Cevherleşmesinin Jeokimyasal İncelemesi <i>The Geochemistry Investigation of the Kızıl (Yahyalı/Kayseri) Iron Mineralizations</i> Mustafa AKYILDIZ, Sibel ERGÜL.....	281
Karakılıç Köyü (Karaisalı-Adana) Kireçtaşı Mermerlerinin Teknomekanik Özelliklerinin Belirlenmesi <i>Determination of Technomechanical Properties of Karakılıç Village (Karaisalı-Adana) Limestone Marbles</i> Ercüment BILGER, Mesut ANIL.....	293

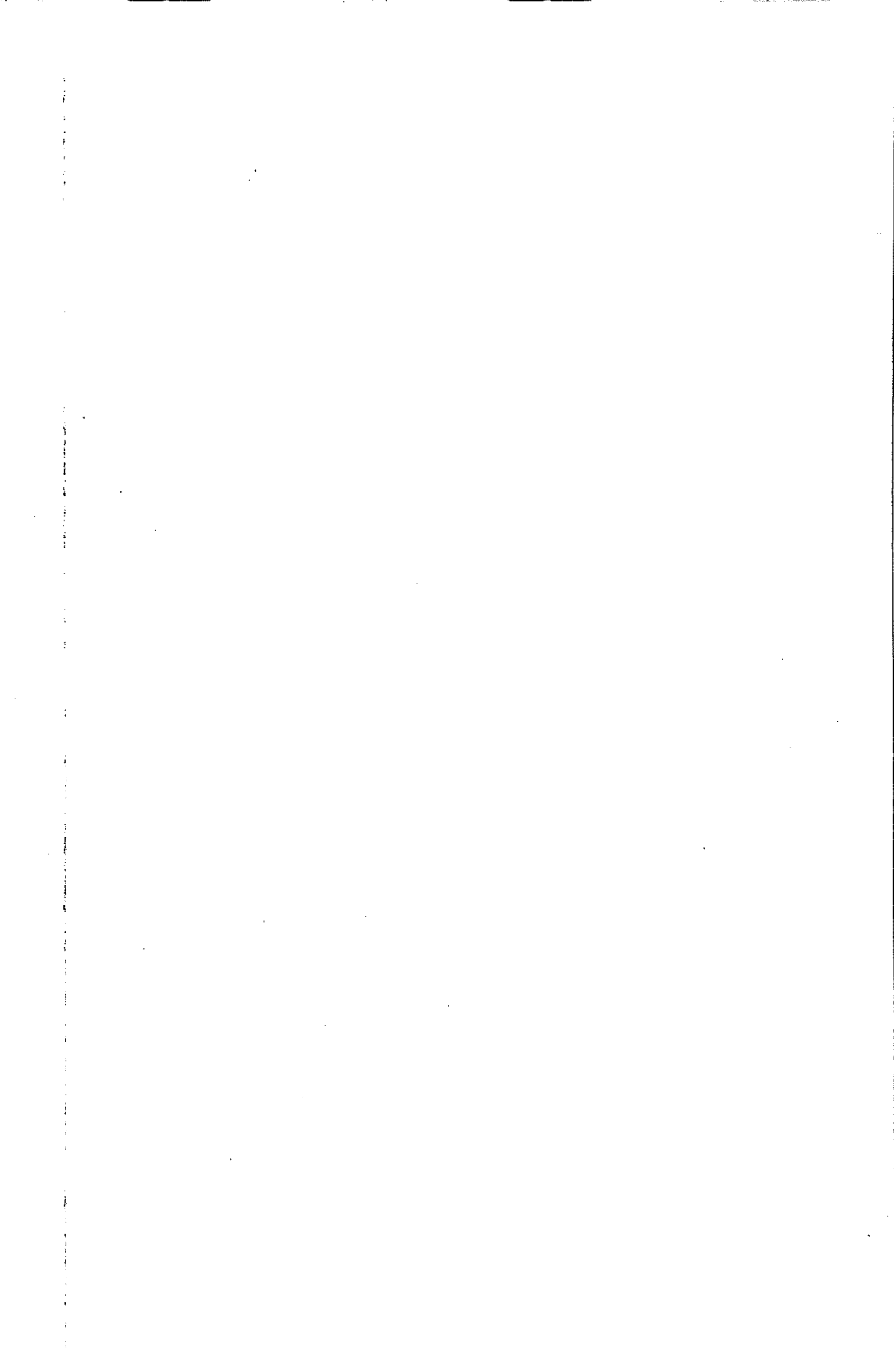


ÖNSÖZ

Fakülte Dergimizin 20. cilt 1. sayısını kısa bir gecikmeyle yayınlamış bulunuyoruz. 2005 yılına ait bu ciltde 2'si İngilizce ve 22'si Türkçe olmak üzere 24 adet makale yer almaktadır. Bundan sonra yayınlanacak olan 2005 yılı 2. sayısını da Aralık 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 Demirkıran'a ve basımını büyük bir titizlikle gerçekleştiren Üniversitemiz Matbaası yetkililerine teşekkür etmeyi görev biliriz.

Yayın Kurulu



ANALYSIS OF FRAMES WITH NONLINEAR FLEXIBLE CONNECTIONS ***Orhan AKSOĞAN***C.U., Department of Civil Engineering, Adana/Turkey***S. Seren AKAVCI***C.U., Department of Architecture, Adana/Turkey***Halil GÖRGÜN***D.U., Department of Civil Engineering, Kampus, Diyarbakir/Turkey*

ABSTRACT : *This work presents a computer-based analysis of semi-rigid steel frames. The geometric nonlinearity of the structure and the material nonlinearity of the connections are considered in the analysis. First, the stiffness coefficients of members have been obtained. Then, the stiffness matrices of members with nonlinear flexible connections have been developed based on the analytical solution of the second-order analysis equations. The King-Chen [11] model has been adopted for modeling the semi-rigid connections. An incremental and iterative Newton-Raphson solution procedure has been used for the analysis. The critical load has been searched as a suitable load parameter for the loss of stability of the system. Several examples are presented to demonstrate the validity of the analysis procedure.*

NONLİNEER ESNEK BAĞLANTILI ÇERÇEVELERİN ANALİZİ

ÖZET : *Bu çalışmada yarı rijit bağlı çelik çerçevelerin bilgisayar destekli analizi sunulmuştur. Analizde çerçevenin geometrik nonlineerliği ve bağlantıların malzeme nonlineerliği gözönüne alınmıştır. İlk olarak, çubukların rijitlik katsayıları elde edilmiştir. Daha sonra, nonlineer esnek bağlantılı elemanların rijitlik matrisleri ikinci mertebe analizi kullanılarak elde edilmiştir. Yarı rijit bağlantıların modellenmesinde King-Chen modeli kullanılmıştır. Analizde Newton-Raphson iteratif çözüm yöntemi kullanılmıştır. Kritik yük, sistemin stabilitesinin kaybolması için gerekli uygun yük parametresi olarak araştırılmıştır. Analiz yönteminin doğruluğunu sınamak için çeşitli örnekler çözülmüştür.*

* This work has been supported by Cukurova University Scientific Research Project Unit under Grant MMF.2002.BAP55

1. INTRODUCTION

In the analysis and design of frame type structures the actual behavior of beam-to-column connections is simplified to the two idealized extremes of either rigid or pinned joint behaviors. However, the experimental investigations of actual joint behavior have demonstrated that, the pinned connections do possess a certain amount of rotational rigidity, while the rigid connections exhibit some degree of flexibility. It is more reasonable to classify all connections under the classification of semi-rigid with rigid and pinned conditions being special cases.

Connection flexibility affects both the force distribution and the deformation in the beams and columns of a frame and must be accounted for in its structural analysis. In order to account for the effect of flexible connections on the behavior of a structure, a correct modeling of its flexible connections is essential. The behavior of flexible connections is usually described by their moment-rotation curves, in which the slope of the curve corresponds to the rotational rigidity of the connections.

In previous works, the linear semi-rigid model has been widely used for simplicity [1-4]. However, this model is good only for the low level loads, when the connection moment is quite small. The bilinear model to predict the behavior of connections [5] and some nonlinear models of connection behavior have been used in recent times [6,7].

Some authors have given the connection flexibility by using nonlinear exponential curves [8]. Often, many authors use the so-called corrective matrices to modify the conventional stiffness matrices which are functions of the particular non-dimensional parameters in terms of the fixity factor [9] or rigidity index [10].

In this study, the nonlinear analysis of frames with rigid end sections and nonlinear semi-rigid connections has been carried out taking into consideration the effect of geometric nonlinearity. The element matrices of members are formulated by using second order theory. Then, the analysis is carried out by an incremental procedure. A computer program has been developed in Visual Fortran to implement the foregoing analysis. In the analysis, the critical load of the system has been obtained by using a double iteration process. The calculation of the critical load is purely a search for the value of the suitable load parameter λ for the loss of stability of the system.

2. ELEMENT STIFFNESS

2.1. Effect of Semi-Rigid Joints on Flexural Stiffness

Generally, the behavior of flexible connections is expressed by its moment-rotation curves which are usually determined by experiments. Experimental results have shown that the connection moment-rotation behaviors are nonlinear over the entire range of loading. To describe the connection behavior, different mathematical models have been proposed. The chosen connection model to describe the nonlinear $M-\theta_r$ curve of semi-rigid connections is given by King-Chen [11] as follows:

$$K_r = \frac{dM}{d\theta_r} = K_r \left[1 - \left(\frac{M}{M_u} \right)^c \right] \quad (1)$$

where

- K_t : tangent stiffness of connection
- K_i : initial connection stiffness
- M_u : ultimate bending moment capacity of connection
- M : connection moment
- c : shape factor

This tangent-stiffness model is based on the concept that, connection stiffness degrades gradually from an initial stiffness, K_i , to zero, following the nonlinear relationship in Equation (1).

2.2. Effect of Axial Force on Flexural Stiffness

The linear elastic analysis assumes that the deformations are relatively small and the equilibrium equations can be formulated with respect to initial geometry. When increasing applied loads cause significant changes in the structure's geometry, the equilibrium and compatibility equations are nonlinear and the resulting stiffness matrix contains terms that are functions of axial forces and deformations. The stiffness matrix, to represent this behavior, must include the effect of geometric nonlinearity.

The tangent stiffness matrix of the second order analysis has been obtained from the solution of the linear differential equation governing the moment-curvature relation of a one dimensional member in which the axial force is taken into consideration.

When the axial force is compression, from the moment-curvature relation,

$$-EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -M_i + P x + N y \quad (2)$$

and the general solution of this equation is

$$y = A \sin(\alpha x) + B \cos(\alpha x) + \frac{M_i}{\alpha^2 EI} - \frac{P}{\alpha^2 EI} x \quad (3)$$

where $\alpha^2 = \frac{N}{EI}$ and A and B are integration constants.

When the axial force is tensile,

$$-EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -M_i + P x - N y \quad (4)$$

and the general solution of this equation is

$$y = A \sinh(\alpha x) + B \cosh(\alpha x) - \frac{M_i}{\alpha^2 EI} + \frac{P}{\alpha^2 EI} x \quad (5)$$

2.3. The General Form of Stiffness Matrix

The nonlinear stiffness matrix of a homogenous, flexibly connected, straight member having constant cross-sectional area and rigid end sections has been obtained from the solution of (3) and (5) by using the boundary conditions as [12]

$$k = \begin{bmatrix} k_{ii} & k_{ij} \\ k_{ji} & k_{jj} \end{bmatrix} \quad (6)$$

in which

$$k_{ii} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{EIu^3 H_1}{L^3 H} & \frac{EIu^2 H_2}{L^2 H} \\ 0 & \frac{EIu^2 H_2}{L^2 H} & \frac{EIu H_3}{LH} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$k_{ij} = \begin{bmatrix} -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{EIu^3 H_1}{L^3 H} & \frac{EIu^2 H_4}{L^2 H} \\ 0 & -\frac{EIu^2 H_2}{L^2 H} & \frac{EIu H_5}{LH} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$k_{jj} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{EIu^3 H_1}{L^3 H} & -\frac{EIu^2 H_4}{L^2 H} \\ 0 & -\frac{EIu^2 H_4}{L^2 H} & \frac{EIu H_6}{LH} \end{bmatrix} \quad (9)$$

In expressions (6-9),

$$H_1 = (k_A k_B + *N EI)S + \alpha EI(k_A + k_B)C$$

$$H_2 = \alpha EI k_A S - *k_A k_B (1 - C)$$

$$H_3 = (NL k_A - *k_A k_B)S + *(\alpha L)k_A k_B C$$

$$H_4 = \alpha EI k_B S - *k_A k_B (1 - C)$$

(10)

$$H_5 = -*(\alpha L)k_A k_B + *k_A k_B S$$

$$H_6 = (NL k_B - *k_A k_B)S + *(\alpha L)k_A k_B C$$

$$H = [\alpha EI(NL - *(k_A + k_B)) + *(\alpha L)k_A k_B]S + * [NL(k_A + k_B) - 2*k_A k_B]C + 2k_A k_B$$

where

- E : Young modulus
 A : Cross-sectional area of the member
 I : Moment of inertia of the member
 L : Length of the member
 k_A : Moment value necessary for the spring at the left support to rotate one radian
 k_B : Moment value necessary for the spring at the right support to rotate one radian
 N : Axial force in the member
 C : $\cos(\alpha L)$ for compressive and $\cosh(\alpha L)$ for tensile axial force
 S : $\sin(\alpha L)$ for compressive and $\sinh(\alpha L)$ for tensile axial force
 * : -1 for compressive and +1 for tensile axial force
 $u = \alpha L$

3. METHOD FOR THE STABILITY ANALYSIS

The load-displacement relation of a structure, within the limitations of small displacement and elastic stresses, is linear. However, if the member is subjected to both axial load and bending, the stiffness matrix of the structure is a function of the axial load besides other physical and geometrical properties,

$$\{P\} = \{[K] + N[K_1]\}\{D\} \quad (11)$$

where N is the axial force and $[K_1]$ is the geometric stiffness matrix. Depending on the following revised form of (11):

$$\{D\} = \underbrace{\{[K] + N[K_1]\}^{-1}}_{[K(N)]} \{P\} \quad (12)$$

One way of defining critical load of a structure is that it is the load with which the structure tends to undergo infinite displacements, which is equivalent to the loss of stability of the structure.

The point of frame instability occurs when the determinant of the overall stiffness matrix becomes equal to zero.

$$\text{Det } K(N) = 0 \quad (13)$$

In this study, the determination of the critical load has been depicted as the necessary value of the load parameter λ , which expresses the level of loading in terms of a selected representative proportional one, for the loss of stability of the system.

4. INCREMENTAL-ITERATIVE SOLUTION PROCEDURE

In the analysis of nonlinear behavior of structures, the element stiffness matrices have to be updated constantly in order to capture the state of equilibrium due to the change in structural geometry and inelastic yielding. It is therefore necessary to carry out the analysis in load incremental form.

The Newton-Raphson method which is one of the most widely used iterative procedures is chosen for the solution of nonlinear equations. In this method, an iterative

procedure is adopted to eliminate the unbalanced forces that exist at each load increment. The computational technique used to obtain the nonlinear response of a frame is shown graphically in Fig. 1. The loading is applied incrementally to the model and within each load step an iterative solution is performed until a required accuracy is attained.

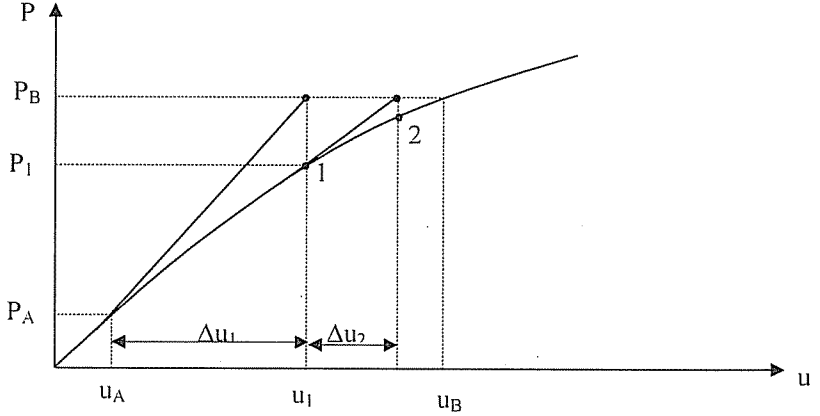


Fig. 1. The Newton-Raphson iteration procedure

The Newton-Raphson iteration procedure for each increment:

$$K_i^{j-1} \Delta d_i^j = P_i - F_i^{j-1} \quad (14)$$

$$d_{i+1} = d_i + \Delta d_i \quad (15)$$

where

K_i^{j-1} : tangent stiffness matrix

Δd_i^j : incremental structure nodal displacement vector

P_i : incremental load vector

F_i^{j-1} : structure internal force vector

i, j : number of load step and iteration

The right side of Eq. (14) is known as a vector of out-of-balance (residue) loads due to nonlinearity. The out-of-balance indicates the difference between a correct internal force at i^{th} load increment and a calculated one. The iteration continues until the out-of-balance load satisfies appropriate convergence criterion. Convergence is assumed when

$$\{R\} < \varepsilon_R \quad (16)$$

$$\Delta d_i < \varepsilon_d$$

where $\{R\}$ is out-of-balance load, ε_R and ε_d are tolerances.

5. NUMERICAL RESULTS

5.1. Four-Story Two-Bay Frame with Uniformly Distributed Loads

A four-story two-bay frame is chosen for the comparison of the maximum column moments in both rigid and semi-rigid frames given in the literature [11]. Fig. 2 shows the frame configuration, dimensions, loading and numbering of members and joints. The connections have an initial stiffness of 786732 in-kip/rad, ultimate moment of 1989 in-kip and shape factor $c = 0.555$. The results of the analysis are presented in Tables 1 and 2 together with those of King-Chen (1993). It can be observed from the tables that there is a good match between the results of the two works.

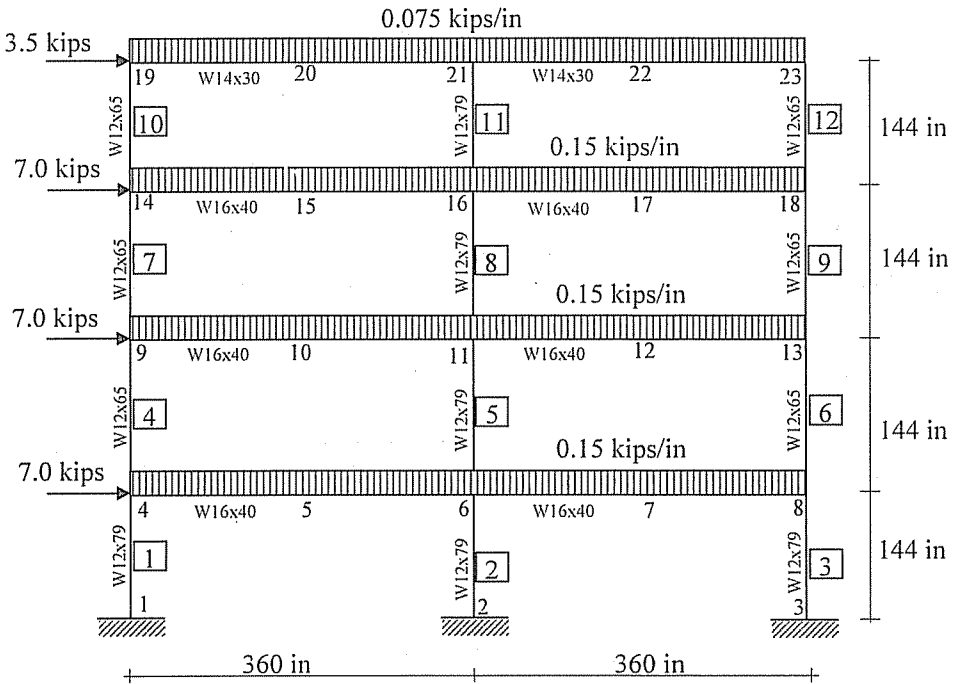


Fig. 2. The general configuration of the four-story two-bay frame

Table 1. Lateral displacements of the four-story two-bay frame (in)

Node No	Rigid Frame		Semi-Rigid Frame	
	King-Chen	Present	King-Chen	Present
4	0.30	0.27	0.37	0.40
9	0.73	0.66	0.95	1.07
14	1.04	0.94	1.40	1.60
19	1.23	1.11	1.68	1.94

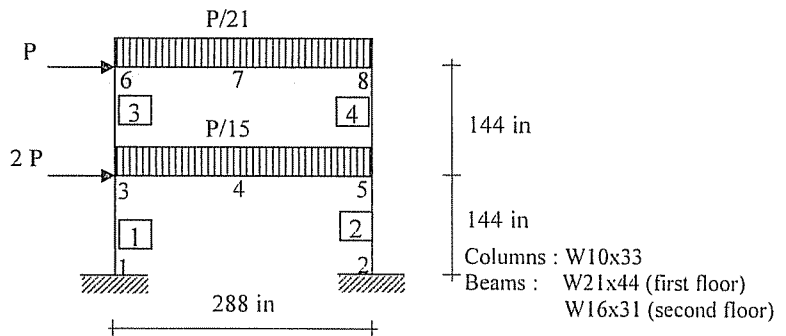
Table 2. Maximum moments in members of the four-story two-bay frame (in-kip)

Member No	Rigid Frame		Semi-Rigid Frame	
	King-Chen	Present	King-Chen	Present
1	632	546	799	858
2	1066	960	1182	1174
3	1296	1192	1398	1384
4	421	460	322	299
5	729	660	698	622
6	1142	1103	1061	1049
7	603	614	558	559
8	525	474	562	544
9	1061	1029	1012	994
10	703	704	672	705
11	221	200	269	310
12	829	820	812	845

5.2. Two-Story One-Bay Frame with Uniformly Distributed Loads

A two-story one-bay frame as shown in Fig. 3 is analyzed with rigid and semi-rigid connections and with and without geometric nonlinearity. The connections have an initial stiffness of 206667 in-kip/rad, ultimate moment of 761 in-kip with shape factor 0.525. The results of linear and nonlinear analysis are presented in Figs. 4 and 5.

For frames with rigid connections and low levels of loading, the difference between the displacements and moments of linear and nonlinear analyses is very slight (see Figs. 4-5). However, for frames with semi-rigid connections, the displacements and moments take significantly less values in the linear case than in the nonlinear one for the same load, even when it is at a low level. Furthermore, as the load level increases, it is observed that, the linear analysis yields much lower critical loads compared to the nonlinear one.

**Fig. 3.** Two-story one-bay frame with uniform and concentrated loads

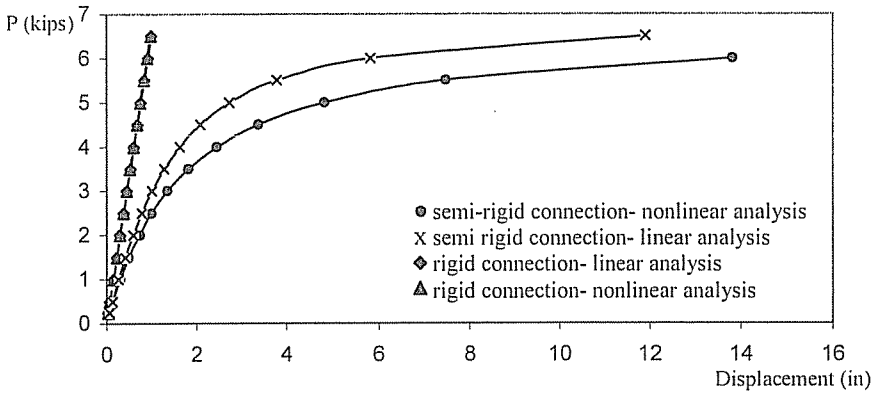


Fig. 4. The load-lateral displacement curves of node 8

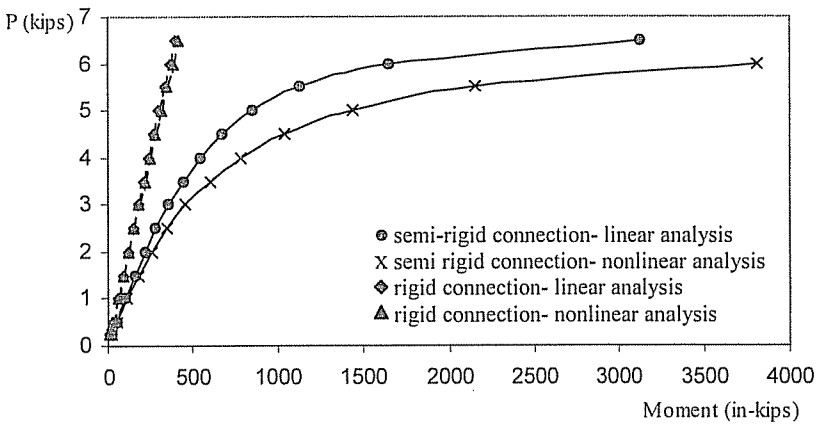


Fig. 5. The load-moment curves of node 1

5.3. A Single Bay Frame with Different Number of Storeys

This example (Fig. 6), which is selected for comparison, is taken from Sekulovic and Salatic[14]. The critical loads of bifurcation type stability loss of a single bay frame with different number of storeys found by the present method has been compared with those of Sekulovic and Salatic (Fig. 7). The figure shows the critical loads of the selected portal frames as a function of the fixity factor. The critical load is normalized by dividing it by the corresponding results for the case of fully fixed joints. The results of the present study match perfectly with those of Sekulovic and Salatic [13].

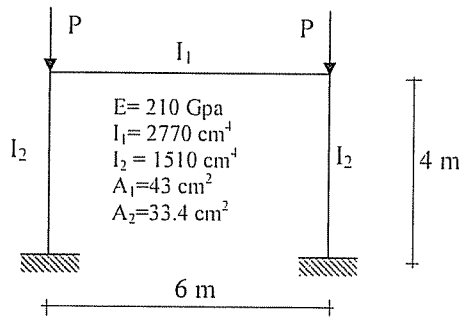


Fig. 6. The single bay frame with one storey in the example of Sekulovic and Salatic

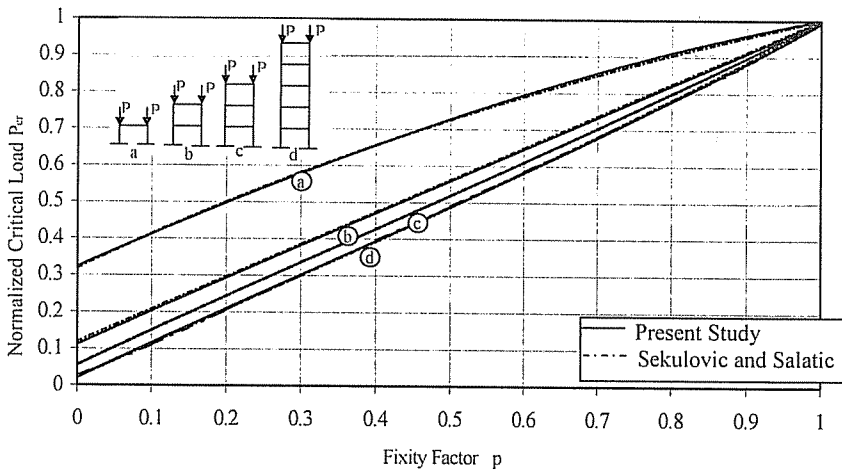
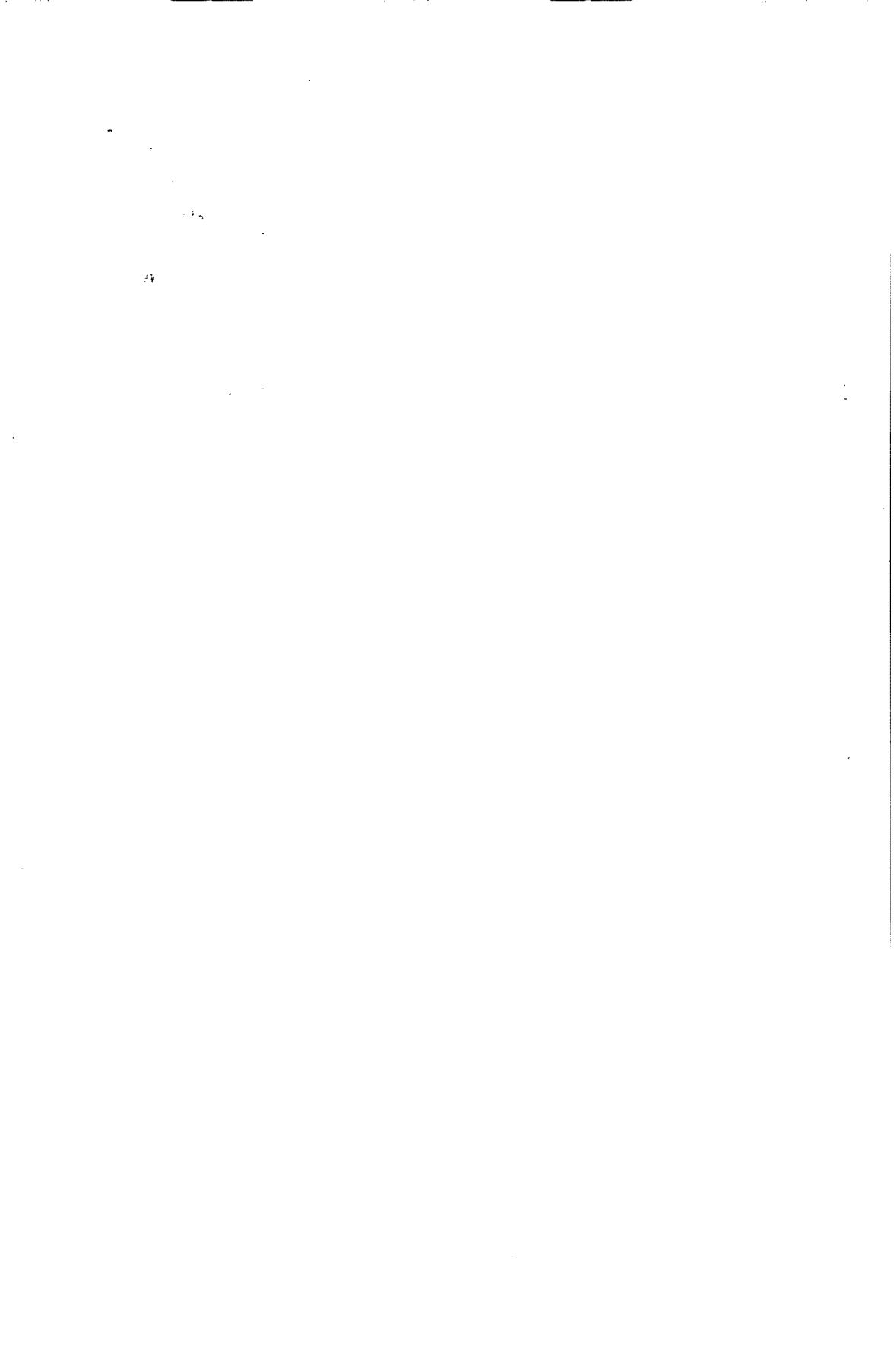


Fig. 7. Influence of connection flexibility on the critical load of the single bay frame

6. REFERENCES

1. Jones, S.W., Kirby, P.A. and Nethercot, D.A., "Columns with semi-rigid joints", *J. of Struct. Div. ASCE*, 108, 361-372, 1982.
2. Lightfoot, E. and Messurier, A.P., "Elastic analysis of frame-works with elastic connections", *J. of Struct. Div. ASCE*, 100, 1297-1309, 1979.
3. Kawashima, S. and Fujimoto, T., "Vibration analysis of frames with semi-rigid connections", *Computers and Structures*, 19, 85-92, 1984.
4. Ang, K.M. and Morris, G.A., "Analysis of three-dimensional frames with flexible beam-column connections", *Can. J. Civil Eng.*, 11, 241-254, 1984.
5. Romstad, K.M. and Subramanian, C.U., "Analysis of frames with partial connection rigidity", *J. of Struct. Div. ASCE*, 96 (ST11), 2283-2300, 1970.
6. Moncarz, P.D. and Gerstle, K.H., "Steel frames with nonlinear connections", *J. of Struct. Div. ASCE*, 107 (ST8), 1427-1441, 1981.

7. Barakat, M. and Chen, W.F., "Practical analysis of semi-rigid frames", *Eng. J. AISC*, 27 (2), 54-68, 1990.
8. Lui, E.M. and Chen, W.F., "Behavior of Braced and Unbraced Semi-Rigid Frames", *Int. J. of Solids and Structures*, 24 (9), 893-913, 1987.
9. Monforton, G.R. and Wu, T.S., "Matrix Analysis of Semi-Rigidly Connected Frames", *J. of Struct. Div. ASCE*, ST6, 13-42, 1963.
10. Yu, C.H. and Shanmugan, N.E., "Stability of Frames with Semirigid Joints", *Computers and Structures*, 23 (5), 639-648, 1986.
11. King, W.S. and Chen, W.F., "LRFD Analysis for Semi-Rigid Frame Design", *Eng. J. AISC*, 30(4), 130-140, 1993.
12. Aksogan, O., Oskouei, A.V. and Akavci, S.S., "The Nonlinear Analysis of Frames Composed of Flexibly Connected Members with Rigid End Sections", 7. Prefabrication Symposium, XI-1-21, Istanbul, Turkey, 1993.
13. Sekulovic, M. and Salatic, R., "Nonlinear Analysis of Frames with Flexible Connections", *Computers and Structures*, Vol. 79, pp. 1097-1107, 2001.



**EFFECT OF VARIABLE PROPERTIES
ON THE FLOW OF ON NON-ISOTHERMAL FLUID****Coşkun ÖZALP, Selim DUMAN and Ahmet PINARBAŞI***Çukurova University, Mechanical Engineering Department, Adana/Türkiye*

ABSTRACT : *This paper investigates the effect of variable viscosity and thermal conductivity of a non-isothermal, incompressible Newtonian fluid flowing under the effect of a constant pressure gradient in plane Poiseuille flow. The viscosity and thermal conductivity of the fluid exhibit linear temperature dependence and the effect of viscous heating is included in the analysis. Channel walls are kept constant temperatures. Discrization is performed using a pseudospectral technique based on Chebyshev polynomial expansions. The resulting non-linear, coupled boundary value problem is solved iteratively using Chebyshev pseudospectral method.*

**DEĞİŞKEN AKIŞKAN ÖZELLİKLERİNİN İSOTERMAL OLMAYAN AKIŞ
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

ÖZET : *Bu makale, sabit bir basınç gradyeni etkisi altında akan sıkıştırılamaz, izotermal, Newtoniyen bir akışkanın Poiseuille akışında, değişken ısı iletkenlik katsayısı ve viskozitenin etkisini incelemektedir. Akışkanın viskozitesi ve ısı iletkenlik katsayısı sıcaklıkla lineer olarak değişmekte olup viskoz disipasyonun etkisi de çalışmada göz önüne alınmıştır. Kanal duvarları sabit sıcaklıkta tutulmuştur. Problemi tanımlayan denklemlerin ayrıklaştırılması Chebyshev polinomu açılımlarına dayanmakta olan sanki-spektral yöntemle yapılmıştır. Sonuçta elde edilen lineer olmayan sınır değer problemi iterative olarak Chebyshev sanki-spektral metodu ile çözülmüştür.*

*Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir
(Proje No: MMF2002BAP35)

1. INTRODUCTION

For the industrial engineer, the most important property of fluids is the fact that the viscosities and thermal conductivities of the fluids change with the temperature. Since for some fluids the thermal conductivities and viscosities can change by several factors; it is evident that such enormous change cannot be ignored in channel flow calculations, lubrication problems, extruder operations and polymer processing calculations. While earlier studies focused on the isothermal flows, non-isothermal viscous flows have attracted more attention in last decades. Sorokin (1) investigated the stability of flow with thermal conductivity depending linearly on temperature. He considered a vertical plane fluid layer whose isothermal boundaries are kept at constant temperature. He assumed that the departure of fluid temperature from the mean is small and therefore the thermal conductivity is a linear function of temperature. Sorokin's results indicate that relatively small changes in the thermal conductivity caused by a variation in temperature result in flow destabilization effects.

Hossain and Munir (2) have considered a steady, two-dimensional natural convection flow of a viscous, incompressible fluid having temperature-dependent viscosity and thermal conductivity about a truncated cone. They used suitable transformations to obtain the equations governing the flow in convenient form and integrate them by using an implicit finite difference method. Perturbation solutions are employed to obtain the solution in the regimes near and far away from the point of truncation. The results are obtained in terms of the local skin friction and the local Nusselt number. Effect of viscous heating was neglected in their analysis.

Shin (3) investigated the effect of shear-rate dependent thermal conductivity of non-Newtonian fluids on the heat transfer in a pipe. The constant heat flux as thermal boundary condition was adapted in the thermally developed region. He assumed that thermal conductivity changes linearly with shear rate. He found that the increase of thermal conductivity near the wall caused heat transfer enhancement. However, he neglected the effect of viscous heating in the analysis.

In this study, we investigate the influence of variable thermal conductivity, as well as variable viscosity, of a Newtonian fluid with temperature including the effect of viscous heating. Both thermal conductivity and viscosity are assumed to be linear function of the temperature. Flow is assumed to be fully developed both hydrodynamically and thermally. Momentum and Energy balance equations are coupled due to variable viscosity. These coupled equations, along with boundary conditions, are solved using Chebyshev collocation method.

2. MATERIAL AND METHOD

We consider two-dimensional, non-isothermal, steady flow of an incompressible, Newtonian fluid in a channel. The flow is driven by a constant pressure gradient acting along the channel axis. Upper and lower walls of the channel are kept at constant temperature. Fluid viscosity and thermal conductivity depend only on the local temperature linearly. Coordinate axis was fixed at lower wall, as shown in Figure 1.

The continuity, momentum balance and energy balance equations including the effect of viscous heating can be expressed in the dimensionless form as;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

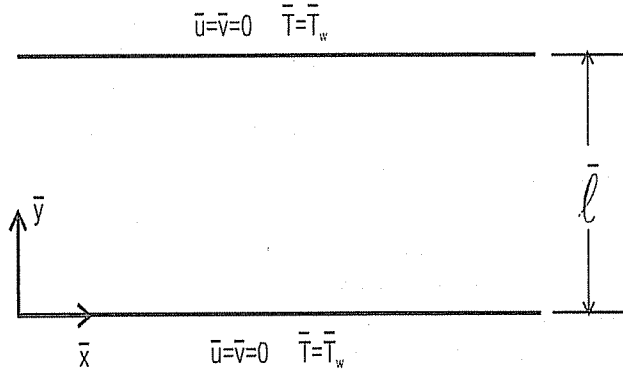


Figure 1. Schematic of flow domain.

$$-\frac{dp}{dx} + \frac{d\mu}{dy} \frac{du}{dy} + \mu \frac{d^2u}{dy^2} = 0 \quad (2)$$

$$RePr u \frac{d\theta}{dx} = \frac{dk}{dy} \frac{d\theta}{dy} + k \frac{d^2\theta}{dy^2} + Br \left[\mu \left(\frac{du}{dy} \right)^2 \right] \quad (3)$$

where Reynolds number (Re), Prandtl number (Pr) and Brinkman number (Br) are defined as $Re = \bar{\rho} \bar{U}_0 \bar{l} / \bar{\mu}_0$, $Pr = C_p \bar{\mu}_0 / \bar{k}_0$ and $Br = \bar{\mu}_0 \bar{U}_0 / \bar{k} \bar{T}_0$.

In the above equations, viscosity and thermal conductivity are assumed to be linear functions of temperature;

$$\mu = 1 + \varepsilon \theta \quad (4)$$

$$k = 1 + \gamma \theta \quad (5)$$

where $\varepsilon = d\mu/d\theta$ and $\gamma = dk/d\theta$.

Eqs. (1) – (3) are subject to the following boundary conditions

$$\begin{aligned} u(0) &= u(1) = 0 \\ \theta(0) &= \theta(1) = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

The non-linear flow governing equations given above were made dimensionless using

$$u, v = \frac{\bar{u}, \bar{v}}{\bar{U}_o}, \quad x, y = \frac{\bar{x}, \bar{y}}{\bar{l}}, \quad \mu = \frac{\bar{\mu}}{\bar{\mu}_o}, \quad \theta = \frac{\bar{T} - \bar{T}_w}{\bar{T}_o - \bar{T}_w}, \quad P = \frac{\bar{P}\bar{l}}{\bar{\mu}_o\bar{U}_o}, \quad k = \frac{\bar{k}}{k_o} \quad (7)$$

where bars denote dimensional quantities. In the above equations x shows the flow direction, y is the coordinate normal to flow direction, u is the velocity parallel to the plates, v denotes the velocity perpendicular to flow direction, P is the pressure, θ shows dimensionless temperature, $\bar{\mu}_o$ and \bar{k}_o are the viscosity and thermal conductivity at reference temperature \bar{T}_o , \bar{U}_o is the mean flow velocity, \bar{l} shows the channel height, \bar{T}_w is wall temperature and C_p is heat capacity at constant pressure.

The non-linear boundary value problem described above was solved numerically by using Chebyshev-pseudospectral method. In this method, we first transform the $0 \leq y \leq 1$ physical domain to $-1 \leq Y \leq 1$ spectral domain. As a second step, we expand the velocity u and temperature θ in a series of Chebyshev polynomials

$$u(Y) = \sum_{n=0}^N a_n T_n(Y) \quad (8)$$

$$\theta(Y) = \sum_{n=0}^N b_n T_n(Y) \quad (9)$$

The reader is referred to Ref. 4 for details of this method. Since the momentum and energy balance equations are coupled, they are solved iteratively using a non-linear equation solver from IMSL subroutine software. By setting $\theta = 0$, governing equations reduce to a simpler case of isothermal Newtonian fluid with constant properties and for this case, Orszag (5) showed that the dimensionless velocity profile becomes $u(y) = (1 - y^2)$ with coordinate axis located in the middle of channel and all length scales are made dimensionless using half channel width. Since the coordinate axis is located on the lower wall and channel width is used for non-dimensionalizing the length scales in our case, the analytical form of dimensionless velocity profile for the present case becomes $u(y) = -6(y - y^2)$. Our Fortran code gives $u = 1.500$ in the middle of channel and this agrees perfectly with the analytical result.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In an earlier study conducted by Pinarbasi and Imal (6), non-isothermal channel flow of a non-Newtonian fluid with viscous heating was considered. They assumed that viscosity of the fluid depends on both temperature and shear rate, but they neglected variations in thermal conductivity. It has been found that (7) the thermal conductivity of a fluid, k , for a liquid varies with temperature in an approximately linear manner in the range from 0°F to 400°F . Therefore, the primary goal of this study is to investigate the effect of temperature dependent thermal conductivity, as well as viscosity, on the flow profiles in a plain Poiseuille flow assuming a linear change in k and μ .

There are various parameters here whose effects on the flow behavior must be investigated. They are dimensionless parameters γ and ϵ that characterizes the dependence of the thermal conductivity and viscosity, respectively, on temperature;

Brinkman number (Br) that is a measure of magnitude of viscous heating; dimensionless pressure gradient $G = dp/dx$ that denotes the degree of fluid driving force; dimensionless constant temperature gradient in axial direction $d\theta/dx$ and Peclet number (Pe) that signifies axial conduction of thermal energy.

Figure 2 shows the effect of dimensionless temperature gradient $d\theta/dx$ on dimensionless velocity, temperature, viscosity and thermal conductivity profiles. Constant parameters are $Pe = 700$, $\gamma = 0.01$, $\varepsilon = 0.01$, $Br = 5$ and $G = -0.5$ while $d\theta/dx$ was changed as 1, 2 and 3. As the viscosity of Newtonian fluid decreases with increasing temperature gradient, the dimensionless velocity profiles are increased as expected. But dimensionless temperature profile is influenced much more because the temperature gradient affects the temperature directly. It is clear from Fig. 2 that $d\theta/dx$ does not have a very significant influence on velocity, viscosity and thermal conductivity profiles.

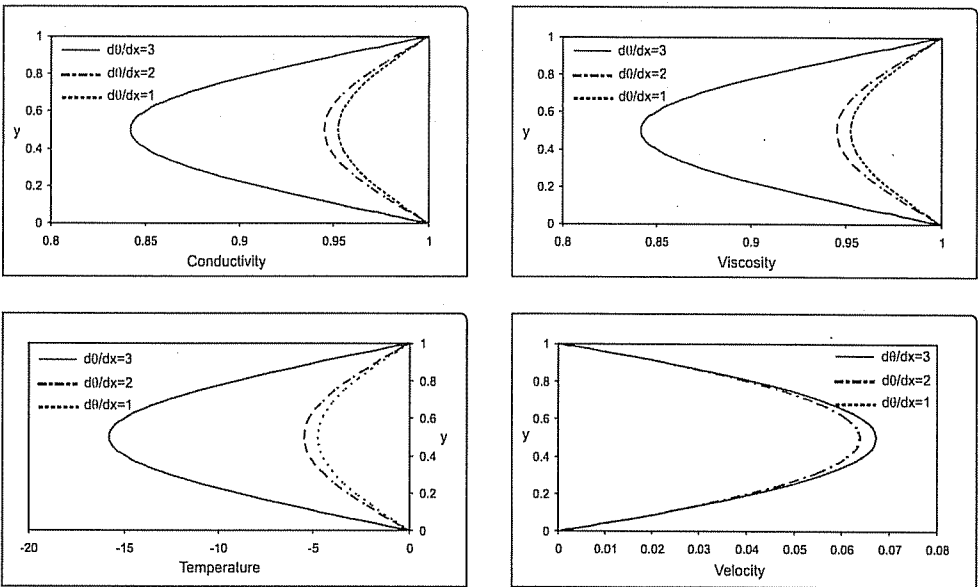


Figure 2. Effect of dimensionless temperature gradient ($d\theta/dx$) on dimensionless thermal conductivity, viscosity, temperature and velocity profiles. Other parameters: $G = -0.5$, $Pe = 700$, $\gamma = 0.01$, $\varepsilon = 0.01$ and $Br = 5$.

Figure 3 depicts the effect of dimensionless viscosity constant (ε) on dimensionless velocity, temperature, viscosity and thermal conductivity profiles. Constant parameters are $Pe = 700$, $\gamma = 0.01$, $G = -0.5$, $d\theta/dx = 3.0$ and $Br = 5$ while $\varepsilon = 0, 0.005$ and 0.01 . The dimensionless velocity, temperature and thermal conductivity profiles are affected less than viscosity because dimensionless viscosity is linearly dependent on viscosity constant. Since the viscosity decreases with increasing ε values, velocity

profile increases slightly. Similarly, absolute value of temperature increases slightly as well with increasing ϵ , and this causes a slight change on thermal conductivity profile since $k = 1 + \gamma\theta$.

Figure 4 presents the influence of dimensionless thermal conductivity constant (γ) on dimensionless velocity, temperature, viscosity and thermal conductivity profiles. Constant parameters are $Pe = 700$, $G = -0.5$, $d\theta/dx = 3.0$, $Br = 5$ and $\epsilon = 0.01$ while γ takes the values of 0.001, 0.005 and 0.01. An increase in γ values results in a slight increase in absolute value of temperature profile and this directly causes a slight change in thermal conductivity since $k = 1 + \gamma\theta$. However, the effect of thermal conductivity constant γ on viscosity profile and particularly on velocity profile is negligibly small.

Figure 5 shows the effect of dimensionless pressure gradient ($G = dp/dx$) on dimensionless velocity, temperature, viscosity and thermal conductivity profiles. Constant parameters are $Pe = 700$, $d\theta/dx = 3.0$, $Br = 5$, $\epsilon = 0.01$, $\gamma = 0.01$ while $G = -0.5$, -1 and -2 . It is clearly seen in Fig. 5 that the pressure gradient is a parameter that has the largest effect on viscosity, temperature, thermal conductivity and velocity profiles. As the pressure gradient increases, velocity increases rapidly and parabolic shape starts to change while temperature decreases rapidly since the heat transfer rate increases with increasing velocity. Dimensionless viscosity and thermal conductivity are also considerably affected with increasing pressure gradient because they are linearly dependent on dimensionless temperature.

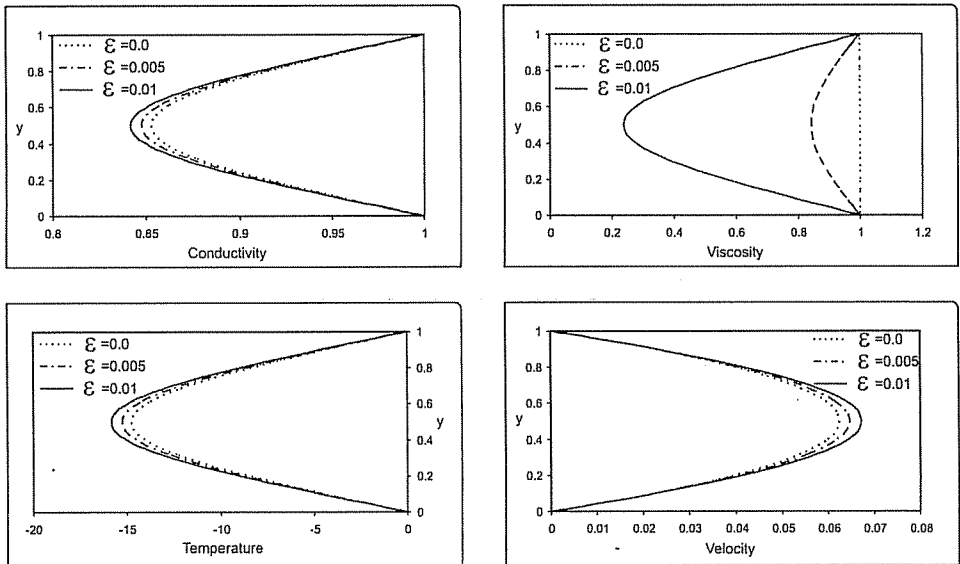


Figure 3. Effect of dimensionless viscosity constant (ϵ) on dimensionless thermal conductivity, viscosity, temperature and velocity profiles. Other parameters: $G = -0.5$, $Pe = 700$, $\gamma = 0.01$, $d\theta/dx = 3$ and $Br = 5$.

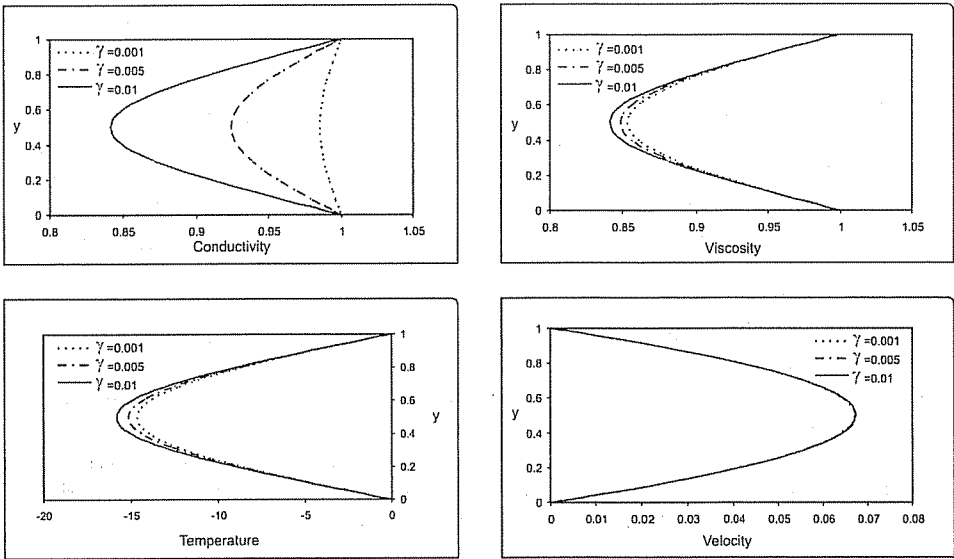


Figure 4. Effect of dimensionless thermal conductivity constant (γ) on dimensionless thermal conductivity, viscosity, temperature and velocity profiles. Other parameters: $G = -0.5$, $Pe = 700$, $\varepsilon = 0.01$, $d\theta/dx = 3$ and $Br = 5$.

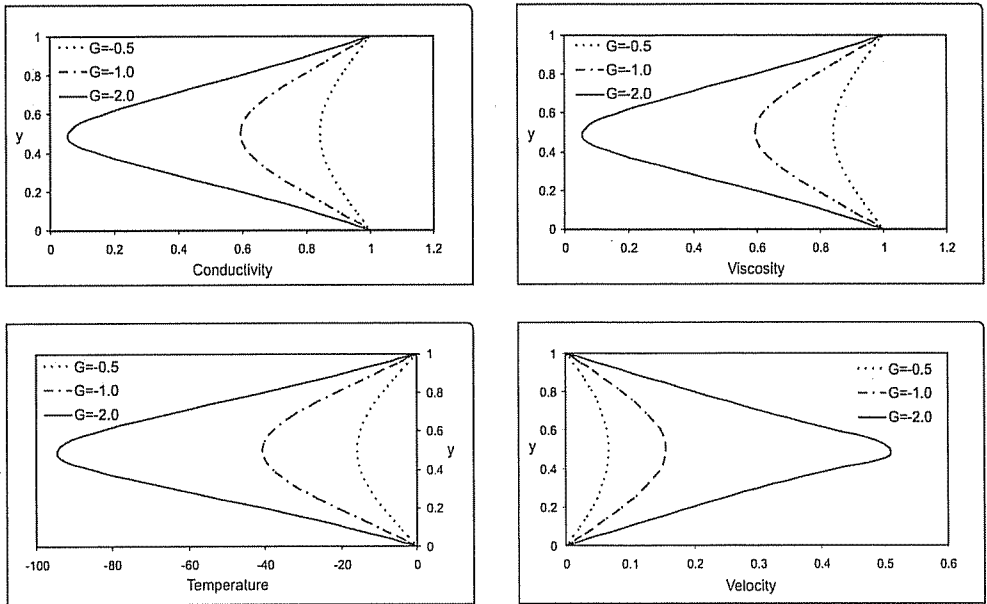


Figure 5. Effect of dimensionless pressure gradient ($G = dp/dx$) on dimensionless thermal conductivity, viscosity, temperature and velocity profiles. Other parameters: $Pe = 700$, $\gamma = 0.01$, $\varepsilon = 0.01$, $d\theta/dx = 3$ and $Br = 5$.

Figure 6 shows the effect of dimensionless Peclet number on dimensionless velocity, temperature, viscosity and thermal conductivity profiles. Constant parameters are $d\theta/dx = 3.0$, $Br = 5$, $\varepsilon = 0.01$, $G = -0.5$ and $\gamma = 0.01$ while $Pe = 100, 400$ and 700 . Recall that Peclet number can also be written as $Pe = RePr$. An increase in Peclet number indicates an increase in axial conduction of thermal energy. With increasing Peclet number, the temperature of the fluid decreases rapidly and this shows an agreement with previously published studies. Dimensionless velocity, thermal conductivity and viscosity are not affected much with the increase of Peclet Number.

4. CONCLUSION

In conclusion it is found that, although dimensionless temperature gradient ($d\theta/dx$), viscosity constant (ε), thermal conductivity constant (γ) and Peclet number (Pe) have some degree of effect on temperature, the dimensionless velocity profile is not affected much with these parameters. On the other hand, an increase in pressure gradient has a considerable effect on dimensionless velocity, temperature, viscosity and thermal conductivity profiles. The results obtained in this study can serve as a criterion for evaluating stability of variable property non-isothermal fluid flows.

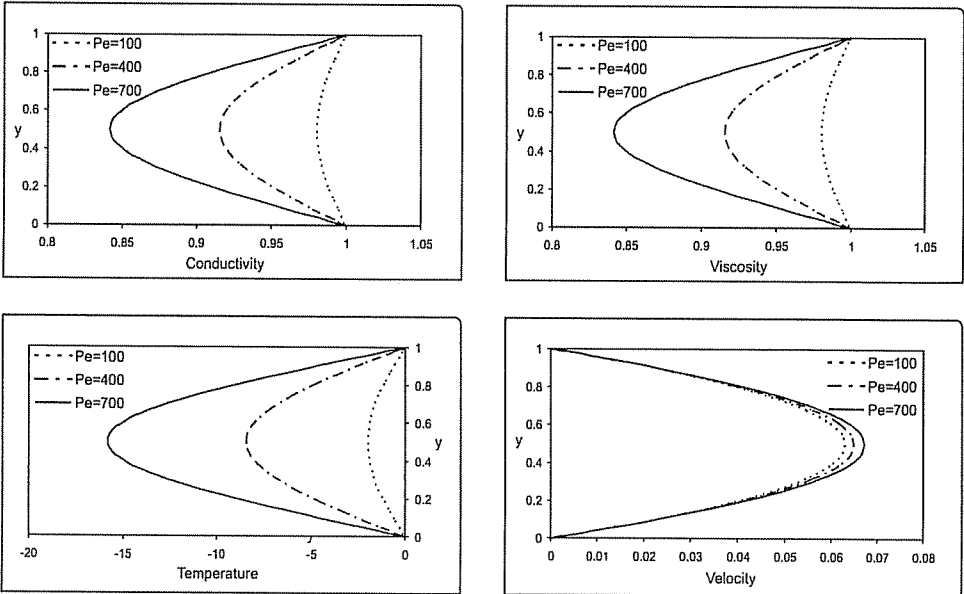


Figure 6. Effect of Peclet Number (Pe) on dimensionless thermal conductivity, viscosity, temperature and velocity profiles. Other parameters: $G = -0.5$, $\gamma = 0.01$, $\varepsilon = 0.01$, $d\theta/dx = 3$ and $Br = 5$.

5. KAYNAKLAR

1. Sorokin, L.E., "Stability of flow with the thermal conductivity depending linearly on the temperature", *Fluid Dynamics* **32**, 309 (1997).
2. Hossain, M.A. and Munir, M.S., "Natural convection flow of a viscous flow of a viscous fluid about a truncated cone with temperature-dependent viscosity and thermal conductivity", *Int. J. for Num. Meth. In Heat & Fluid Flow* **11**, 494 (2001).
3. Shin, S., "The effect of the shear-rate dependent thermal conductivity of non-Newtonian fluids on the heat transfer in a pipe flow", *Int. Comm. Heat Mass Transfer* **23**, 665 (1996).
4. Pinarbasi, A., "Formulation and computational issues for stability of two-layer inelastic fluids", *Comp. Fluids* **29**, 935 (2000).
5. Orszag, S.A., "Accurate solution of Orr-Sommerfeld stability equation", *J. Fluid Mech.* **50**, 689 (1971).
6. Pinarbasi, A. and Imal, M., "Nonisothermal channel flow of a non-Newtonian fluid with viscos heating", *Int. Comm. Heat and Mass Transfer* **29**, 1099 (2002).
7. Kays, W.M., "Convective Heat and Mass Transfer", p. 362, McGraw-Hill, New York, NY (1966).



DEĞİŞKEN DIŞ HAVA ŞARTLARININ İKLİMLENDİRME SİSTEMİ CİHAZ KAPASİTESİNE ETKİSİ

Tuncay YILMAZ ve Mehmet Azmi AKTACİR
Ç.Ü., Makina Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : *Bu çalışmada, değişken dış hava şartlarının yaz iklimlendirme sistemine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Adana ilinde bulunan bir örnek bina seçilerek tam havalı değişken hava debili (VAV) bir iklimlendirme sistemi incelenmiştir. Bu iklimlendirme sisteminin simülasyonunu sağlamak için P_VAV bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, iklimlendirme sisteminin psikrometrik özelliklerinin değişken dış hava şartlarıyla önemli oranda etkilendiği görülmüştür.*

INFLUENCE OF VARIABLE OUTDOOR AIR CONDITIONS ON OPERATING CAPACITY OF AIR CONDITIONING SYSTEMS

ABSTRACT : *The main objective of this study is to investigate the influence of variable outdoor air conditions on summer air conditioning system in a sample building located in Adana. For this purpose, a computer program called P_VAV is developed in order to simulate the hourly operating of all-air, variable air volume (VAV) air conditioning systems. It is found that the psychometric properties are strongly affected by variable outdoor air conditions.*

* Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.
Proje No: MMF.2003.D9

1. GİRİŞ

Türkiye’de Isıtma, soğutma ve iklimlendirme (HVAC) cihazları maksimum (pik) dış hava tasarım şartları dikkate alınarak tasarlanmaktadır [1, 2]. Bir binanın maksimum soğutma yükü, sınırlı sayıda ve binanın yönlerine göre farklı gün ve saatlerde meydana gelmektedir. Bunun sonucu olarak HVAC uygulamalarında ekonomik olmayan büyük kapasiteli sistemler tasarlanabilmektedir. Gerçek çalışma koşullarında iklimlendirilecek ortamlar için HVAC cihazlarının tasarım kapasitelerinin yalnızca belli bir bölümüne ihtiyaç duyulmaktadır. Pik yük dışında kalan çalışma zamanlarında, HVAC cihazları kısmi yükte çalışmaktadırlar.

Bu çalışmada, dış hava şartlarının, maksimum bina soğutma yüküne göre tasarlanan bir iklimlendirme sistemi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın ilk adımında, Adana’da bulunan örnek binanın soğutma yükü hesaplanmıştır. Bina soğutma yükü hesabında, ASHRAE tarafından [3] en son önerilen ışınlam zaman serileri (RTS) yöntemi prosedürüne uygun, MS-EXCEL tabanlı bir bilgisayar programı kullanılmıştır [4]. Çalışmanın ikinci adımında, tam havalı değişken debili bir iklimlendirme sisteminin (VAV) simülasyonunu sağlamak için, FORTRAN programlama dilinde hazırlanmış bir bilgisayar programı kullanılmıştır [4]. Analizde, dış hava şartları saatlik olarak kuru termometre sıcaklığı ve mutlak nem eşitlikleri kullanılarak elde edilmiştir [5, 6, 7, 8]. Çalışmanın son adımında, soğutma sezonu ve 21 temmuz dış tasarım günü için, iklimlendirme sisteminin soğutma serpantini kapasitesi ve toplam hava debisi ihtiyacının saatlik değişimi incelenmiştir.

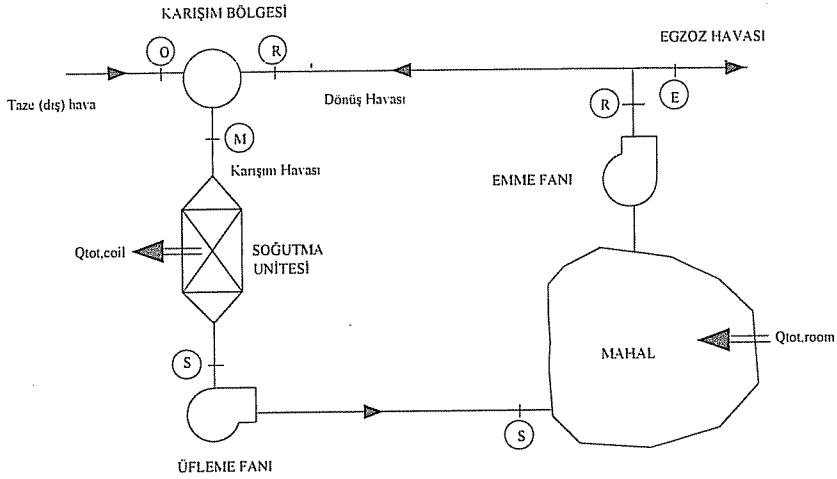
2. TAM HAVALI İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ

Tam havalı merkezi iklimlendirme sistemi, hava santrali ünitesi, soğutma grubu, hava toplama ve dağıtım sistemleri ile kontrol elemanlarından meydana gelir. Şekil 1’de tipik çalışma koşullarında tam havalı bir iklimlendirme sisteminin şematik görünüşü gösterilmiştir.

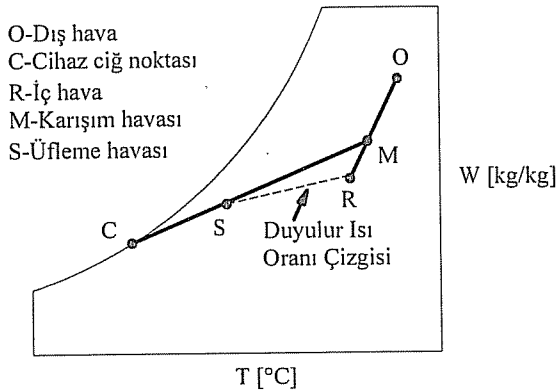
Ortama sevk edilecek karışım havası (M), havalandırma için gerekli minimum taze (dış) hava miktarı (O) ile dönüş havasından (R) oluşturulur. Karışım havası (M) soğutma serpantininden geçirilerek soğutulur. Tipik çalışma koşullarında, dış hava dönüş havasından daima sıcak ve nemli olması sebebiyle, soğutma serpantininden geçirilen hava soğutulurken nemi de alınır. Nemi ve sıcaklığı düşürülen üfleme havası (S), iklimlendirilecek ortama gönderilerek soğutma çevrimi tamamlanır. Şekil 2’de psikrometrik diyagramda tam havalı iklimlendirme sisteminin soğutma işlemi gösterilmiştir. Bu çalışmada fanlardaki ısı kazançları ve kanallardaki ısı kayıpları ihmal edilmiştir.

Tam havalı iklimlendirme sistemlerinde ortama sevk edilen hava, sabit ve değişken debide olmak üzere iki farklı yöntemle ortama gönderilmektedir. Soğutma sistemlerinde kullanılan en eski yöntem olan sabit hava debili sistemlerde (CAV), ortama sevk edilen havanın sıcaklığı bina soğutma yüküne bağlı olarak değiştirilerek sabit hava debisinde ortama gönderilerek iç ortam konfor şartları sağlanır. Son 30 yıllık süreçte daha çok ticari binalarda tercih edilen değişken hava debili sistemlerde (VAV) ise, ortama sabit sıcaklıkta sevk edilen havanın debisi bina soğutma yüküne bağlı olarak değiştirilmektedir. Sabit hava debili sistemlere ilave olarak, değişken hava debili

sistemlerde fanlara, fan motorunun devirini ayarlayan bir frekans invertörü, odalara ise debi ayarlayıcı terminal kutuları (VAV box) yerleştirilmektedir.



Şekil 1. Tam havalı iklimlendirme sistemi



Şekil 2. Soğutma işleminin psikrometrik diyagramda gösterimi

Bir ortamın toplam soğutma yükü ($Q_{tot,room}$), gizli ($Q_{lat,room}$) ve duyulur ($Q_{sen,room}$) soğutma yüklerinin toplamıdır. Aşağıda verilen eşitlikler ile hesaplanırlar.

$$Q_{lat,room} = M_{tot} h_{gl} (W_R - W_S) \quad (1)$$

$$Q_{sen,room} = M_{tot} c_p (T_R - T_S) \quad (2)$$

$$Q_{tot,room} = Q_{lat,room} + Q_{sen,room} = M_{tot} (h_R - h_S) \quad (3)$$

Bu eşitliklerde, M_{tot} toplam hava debisini [kg/h], h_{gl} doymuş su buharı entalpisini [J/kg], T_R ve T_S iç ortam havası ve üfleme havası sıcaklıklarını [$^{\circ}$ C], W_R ve W_S iç ortam havası ve üfleme havası mutlak nemini [kg/kg kuru hava], h_R ve h_S iç ortam havası ve üfleme havasının entalpilerini, [J/kg] göstermektedir.

Bir ortamın duyulur ısı oranı (DIO) duyulur soğutma yükünün toplam soğutma yüküne oranı olarak tarif edilir:

$$DIO = \frac{1}{1 + \frac{h_{gl}}{c_p} \frac{\Delta W}{\Delta T}} \quad (4)$$

Bu eşitlikte $\frac{\Delta W}{\Delta T}$ terimi Şekil 2'de gösterilen psikrometrik diyagram üzerindeki duyulur ısı oranı doğrusunun (SR) eğimidir. Bu eğim S_{RS} ile gösterilirse;

$$S_{RS} = \frac{c_p}{h_{gl}} \left(\frac{1}{DIO} - 1 \right) \quad (5)$$

eşitliği elde edilir. Soğutma serpantini kapasitesi ($Q_{tot,coil}$) karışım havası entalpisi (h_M) ile üfleme havası entalpisi (h_S) arasındaki entalpi farkı ile toplam hava debisi çarpılarak bulunur.

$$Q_{tot,coil} = M_{tot}(h_M - h_S) \quad (6)$$

Ayrıca soğutma serpantini kapasitesi ($Q_{tot,coil}$) oda toplam soğutma yükü ($Q_{tot,room}$) ile taze hava yükünün ($Q_{tot,out}$) toplamına eşittir. Taze hava soğutma yükü ($Q_{tot,out}$) aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanır.

$$Q_{tot,out} = M_{out}(h_O - h_R) \quad (7)$$

Burada M_{out} taze havanın kütledebisi ve h_O dış havanın özgül entalpidir. Soğutma serpantini kapasitesi ($Q_{tot,coil}$) de

$$Q_{tot,coil} = M_{tot}(h_R - h_S) + M_{out}(h_O - h_R) \quad (8)$$

olarak elde edilir.

3. HESAPLAMALAR

3.1. Bina Soğutma Yükü

Bina soğutma yükü hesabında, ışınlam zaman serileri (Radiant Time Series-RTS) yöntemi kullanılmıştır. ASHRAE'nin 2001 Fundamentals Handbook yayınında, soğutma yükü hesabı için önerdiği iki yöntemden biri olan ışınlam zaman serisi yöntemi, kesin çözüm olarak adlandırılan ve tüm soğutma yükü hesap yöntemlerinin temeli olan

ısı dengesi (Heat Balance-HB) yönteminden türetilmiştir [3, 11]. Bina soğutma yükü hesabında, ışınlam zaman serileri (RTS) yöntemine uygun olarak hazırlanmış MS-EXCEL tabanlı bir bilgisayar programı kullanılmıştır [4].

Bu çalışmada Adana ilinde bulunan 3 katlı bir okulun soğutma yükü hesaplanmıştır. 1628 m²'lik kullanım alanına sahip olan binanın, toplam pencere yüzey alanı 299 m² olup, dış duvar alanı 668 m²'dir. Binanın opak yapı elemanlarına ısı yalıtımı uygulanmış olup ısı yalıtımı kalınlıkları, Türkiye'de binalara uygulama zorunluluğu olan ısı yalıtım yönetmeliğinde belirtilen "B tip enerji verimli bina" sınıfına uygun olarak belirlenmiştir. [9, 10]. Dış duvarların, tavanın ve döşemenin toplam ısı transfer katsayıları sırasıyla 0.78 (W/m²K), 0.51 (W/m²K), 0.76 (W/m²K)'dir. Binada kullanılan pencereler tek camlı ve aynı özellikte olup, ısı iletim katsayısı 2.8 W/(m²K)'dir.

Bina tasarım (maksimum) soğutma yükü 21 temmuz günü için hesaplanmıştır. Adana ili için dış hava tasarım değerleri, dış hava kuru termometre sıcaklığı 38 °C, yağ termometre sıcaklığı 26 °C ve günlük sıcaklık farkı 12.4 °C olarak alınmıştır. İklimlendirilecek ortamların kuru termometre sıcaklığı 26 °C ve bağıl nemi % 50'dir. Bina için gerekli toplam taze hava miktarı 7001 m³/h olarak hesaplanmıştır. Binanın soğutma yükü hesabında kullanılan iç ısı kaynakları (insan sayısı, cihaz ve ışıklandırma yükleri ve kullanım faktörleri) ile ilgili özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Binanın iç ısı kazanç özellikleri

Kod	Kullanım Amacı	İnsan		Işıklandırma		Cihaz	
		Sayısı	Kullanım Faktörü	Isı Kazancı (W)	Kullanım Faktörü	Isı Kazancı (W)	Kullanım Faktörü
Z01	Müdür Odası	1	0.90	480	0.50	2000	1.0
Z02	Fen Lab.	16	0.20	480	0.30	1366	1.0
Z03-Z04	Biyoloji-Kimya Lab.	16	0.20	480	0.30	2000	1.0
Z05	Bilgisayar Lab.	16	0.50	640	0.30	6040	1.0
Z07-110-210	Büro	2	0.90	320	0.50	1766	1.0
Z08	Koridor	60	0.15	1120	0.50	-	-
101	Resim Sınıfı	16	0.30	480	0.30	-	-
102	Kütüphane	20	0.30	480	0.50	1366	1.0
103	Sınıf	16	0.80	480	0.30	500	1.0
104-105-106 107	Sınıf	16	0.80	320	0.30	500	1.0
108	Öğretmen Odası	15	0.50	480	0.30	1000	1.0
111	Koridor	110	0.15	1120	0.50	-	-
201-202	Sınıf	24	0.80	480	0.30	500	1.0
203-204-205 206-207-208	Sınıf	16	0.80	480	0.30	500	1.0
211	Koridor	140	0.15	1120	0.50	-	-

3.2. İklimlendirme Sistemi

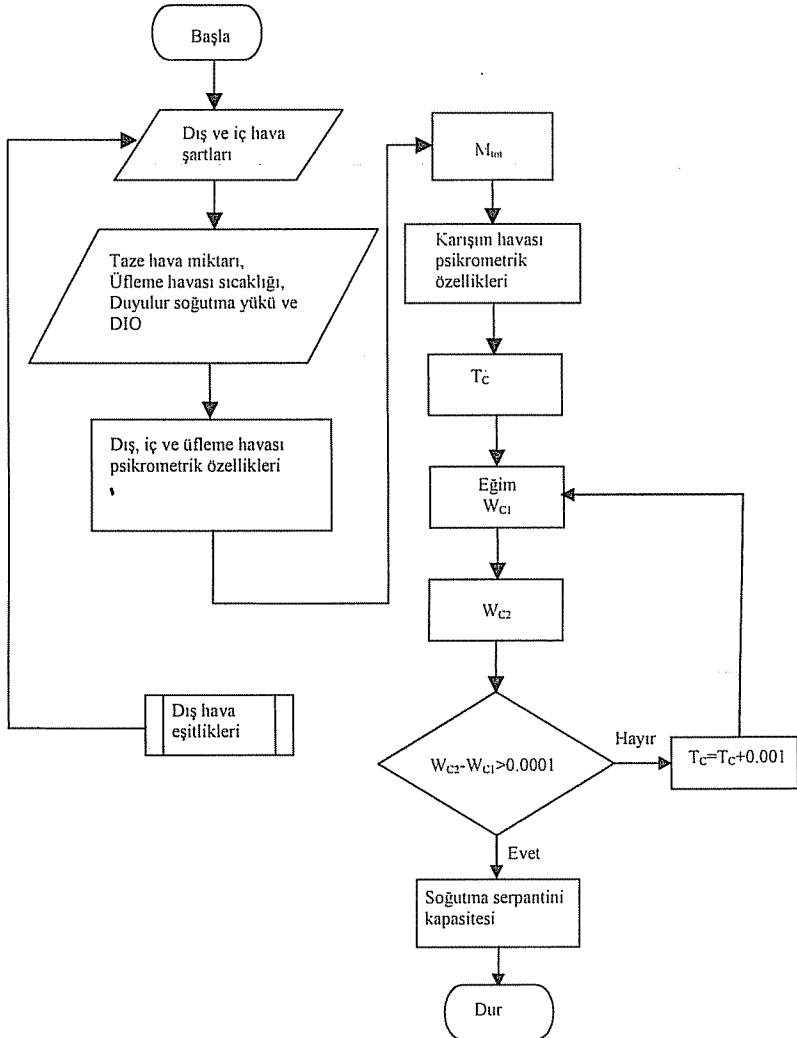
Soğutma serpantini kapasitesi ile iklimlendirme sisteminin diğer psikrometrik özelliklerini hesaplamak için Şekil 3'te akış şeması verilen ve P_VAV olarak adlandırılan bir bilgisayar programı kullanılmıştır [4].

Programa dış veri olarak, dış hava şartları (T_O , W_O), iç ortam hava şartları (T_R , W_R), taze hava miktarı (M_{out}), üfleme havası sıcaklığı (T_S), simülasyon tarihi, bina duyulur

soğutma yükü ($Q_{sen,room}$) ve duyulur ısı oranı verilmektedir. Programın ilk adımında, iç ve dış hava şartlarının psikrometrik özellikleri hesaplanır. İkinci adımda, toplam hava debisi eşitlik (3)'ü kullanılarak bulunur. Bu amaçla, öncelikle üfleme havasının mutlak nemi W_S (kg/kg) ve entalpisi h_S (kJ/kg) eşitlik (9) ve (10) ile hesaplanır. Eşitlik (9)'da verilen S_{RS} eğimi eşitlik (5) ile bulunur.

$$W_S = W_R - S_{RS} (T_R - T_S) \quad (9)$$

$$h_S = 1.006T_S + W_S(2501 + 1.085T_S) \quad (10)$$



Şekil 3. P_VAV bilgisayar programının akış şeması

Toplam hava debisi ve taze hava debisi bilindiğinden psikrometrik diyagram üzerinde karışım havasının yeri tespit edilerek, psikrometrik özellikleri bulunur. Sonraki adımda, serpantin duvar sıcaklığı noktası (cihaz çiğ noktası) (C) ile karışım havası (M) arasında çizilen MC doğrusunun doyma eğrisini kestiği (C) noktasındaki (W_{C1}) olarak gösterilen mutlak nem, (T_C) başlangıç değeri alınarak eşitlik (11) ile hesaplanır.

$$W_{C1} = W_M - S_{MC}(T_M - T_C) \quad (11)$$

Burada S_{MC} şekil 2'de gösterilen karışım havası (M) ile üfleme havası (S) arasında çizilen MR doğrusunun eğimini göstermekte olup, eşitlik (12) ile hesaplanır:

$$S_{MC} = \frac{(W_M - W_S)}{(T_M - T_S)} \quad (12)$$

Ayrıca, W_{C2} olarak gösterilen (C) noktasının mutlak nemi, mutlak nem için verilen psikrometrik eşitlikle de bulunur. Her iki eşitlikle hesaplanan (C) noktasındaki mutlak nemler (W_{C1} ve W_{C2}) karşılaştırılırlar. Eğer mutlak nemler eşit değillerse ($W_{C2} \neq W_{C1}$), sıcaklık değeri (T_C) değiştirilerek, eşitlik (13)'te verilen limit sağlanıncaya kadar mutlak nemler yeniden hesaplanır.

$$\varepsilon < \left| 1 - \frac{W_{C1}}{W_{C2}} \right| = 0.0001 \quad (13)$$

İterasyon sonunda C noktasının yeri tespit edilerek psikrometrik özellikleri bulunur.

3.3. Dış İklim Verileri

Dış hava sıcaklığının (T) saatlik değişimi için aşağıda verilen eşitlikler kullanılmıştır [5, 7, 8]:

$$t_{\max} \geq t \geq t_{\min}: \quad T = T_{\min} + (T_{\max} - T_{\min}) \left\{ \sin \left[\frac{\pi}{2} \left(\frac{t - t_{\min}}{t_{\max} - t_{\min}} \right) \right] \right\}^{1.4} \quad (14.a)$$

$$t_{\min} \geq t \geq t_{\max}: \quad T = T_{\max} - (T_{\max} - T_{\min}) \left\{ \sin \left[\frac{\pi}{2} \left(\frac{t - t_{\max}}{24 + t_{\min} - t_{\max}} \right) \right] \right\}^{1.2} \quad (14.b)$$

Burada T_{\max} ve T_{\min} günlük maksimum ve minimum sıcaklık olup eşitlik (15) ve (16) ile hesaplanırlar. t_{\min} ve t_{\max} ise maksimum ve minimum sıcaklıklarının meydana gelme zamanlarıdır ve eşitlik (17) ve (18) ile hesaplanırlar.

$$T_{\max} = T_1 - (T_1 - T_2) \cos \left[\frac{2\pi}{365} (n - 25) \right] \quad (15)$$

$$T_{\min} = T_3 - (T_3 - T_4) \cos \left[\frac{2\pi}{365} (n - 25) \right] \quad (16)$$

$$t_{\min} = 12 - \frac{t_d}{2} \quad (17)$$

$$t_{\max} = 12 + \frac{t_{\min}(12 - t_{\min})}{13.5} \quad (18)$$

Burada n , ocak 1 den itibaren başlayarak yılın gün sayısını göstermektedir. T_1, T_2, T_3 ve T_4 sabit sayılar olup her il için istatistiksel olarak bulunurlar. Adana için T_1, T_2, T_3 ve T_4 değerleri sırasıyla 25.27, 15.28, 14.27 ve 5.04'dir [8]. Eşitlik (17)'deki t_d ise gün uzunluğudur.

Mutlak nemin saatlik dağılımı için aşağıda verilen eşitlikler kullanılmıştır [6]:

$$t_{gd} \leq t \leq t_{gb}: W = W_1 + W_2 \left\{ \sin \left[\frac{\pi}{365} (n - n_o) \right] \right\}^m \quad (19.a)$$

$$t_{gb} > t > t_{gd}: W = W_1 + (W_3 - W_1) \left\{ \sin \left[\frac{\pi}{365} (n - n_o) \right] \right\}^m \quad (19.b)$$

burada W_1, W_3, m ve n_o sabit sayılar olup Yılmaz ve ark., (1995) tarafından Adana ili için sırasıyla 4.5, 17, 4 ve 25 olarak bulunmuştur [6]. W_2 katsayısı eşitlik (20)'den bulunur.

$$W_2 = W_3 - W_1 - 2 \sin \left[\frac{\pi}{t_{gi}} (t - t_{gd}) \right] \quad (20)$$

Eşitlikteki t , günün saatini göstermektedir. t_{gd} ve t_{gb} ise güneşin doğuş ve batış saatlerini vermekte olup aşağıdaki eşitliklerden hesaplanırlar.

$$t_{gb} = 12 + \frac{\left(12 - \frac{t_d}{2}\right)t_d}{27} + \frac{t_{gi}}{2} \quad (21)$$

$$t_{gd} = 12 + \frac{\left(12 - \frac{t_d}{2}\right)t_d}{27} - \frac{t_{gi}}{2} \quad (22)$$

eşitlikteki t_{gi} imajiner gün uzunluğu süresi olup aşağıdaki eşitlik ile belirlenir.

$$t_{gi} = 1.25t_d^{0.875} \quad (23)$$

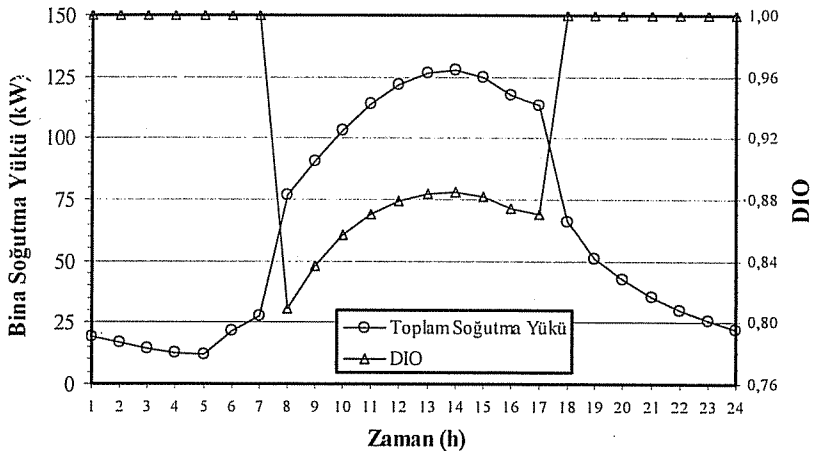
4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

4.1. Üfleme Sıcaklığının İklimlendirme Sistemine Etkisi

Üfleme sıcaklığının, iklimlendirme sistemi elemanlarının tasarım kapasitelerine etkisi incelenmiştir. İncelenen binanın tasarım soğutma yükü hesaplanarak, Şekil 4'te duyulur ısı oranı (DIO) ile birlikte gösterilmiştir. Maksimum soğutma yükü 127.55 kW olup saat 14⁰⁰'te elde edilmiştir. Bu yükteki duyulur ısı oranı 0.88'dir.

Adana ili tasarım şartlarında 14°C-20°C üfleme sıcaklığı aralığı için, soğutma serpantini tasarım kapasitesi ($Q_{tot,coil}$), toplam hava debisi (M_{tot}) ve karışım havası oranı

(ϕ) hesaplanarak, Çizelge 2’de sunulmuştur. Çizelgede görüldüğü gibi, tüm üfleme sıcaklıklarında soğutma serpantini tasarım kapasitesi ($Q_{\text{tot,coil}}$) 186.05 kW olarak sabittir. Tam havalı bir iklimlendirme sisteminde soğutma serpantini yükü, eşitlik (8)’den görüldüğü gibi dışarıdan alınan taze hava yükü ile binanın toplam soğutma yükünden oluşur. Üfleme sıcaklığının değişimi, iklimlendirme sistem için gerekli olan toplam hava debisini etkilemektedir. Üfleme sıcaklığı 14 °C iken toplam hava debisi 32943 kg/h olarak tespit edilmişken, üfleme sıcaklığının 20 °C’ye yükseltilmesiyle toplam hava debisi %100 oranından daha yüksek bir oranda artarak 65854 kg/h’lık bir debiye yükselmiştir.



Şekil 4. Bina tasarım soğutma yükü ve duyulur ısı oranı

Çizelge 2. Farklı üfleme sıcaklıkları için iklimlendirme sistemi tasarım değerleri

Üfleme Sıcaklığı [°C]	$Q_{\text{tot,coil}}$ [kW]	M_{tot} [kg/h]	M_{out} [kg/h]	ϕ [%]
14	186.05	32943	7739	24
15		35935		22
16		39525		20
17		43913		18
18		49398		16
19		56451		14
20		65854		12

Üfleme havası, karışım havası ve serpantin çığ noktasının, sıcaklıkları, mutlak nemleri ve entalpileri farklı üfleme sıcaklıkları için Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 3. İklimlendirme sisteminin bazı psikrometrik özelliklerinin üfleme sıcaklığı ile değişimi

Üfleme Havaşı			Karışım Havaşı			Serpantin çığ noktası		
T_S [°C]	W_S [kg/kg]	h_S [kJ/kg]	T_M [°C]	W_M [kg/kg]	h_M [kJ/kg]	T_C [°C]	W_C [kg/kg]	h_C [kJ/kg]
14.00	0.0098	38.96	28.82	0.0119	59.29	13.76	0.0098	38.63
15.00	0.0099	40.12	28.58	0.0117	58.76	13.60	0.0097	38.21
16.00	0.0100	41.28	28.35	0.0116	58.23	13.44	0.0096	37.78
17.00	0.0100	42.44	28.11	0.0115	57.70	13.27	0.0095	37.35
18.00	0.0101	43.60	27.88	0.0114	57.16	13.11	0.0094	36.92
19.00	0.0101	44.77	27.65	0.0113	56.63	12.94	0.0093	36.48
20.00	0.0102	45.93	27.41	0.0112	56.10	12.77	0.0092	36.04

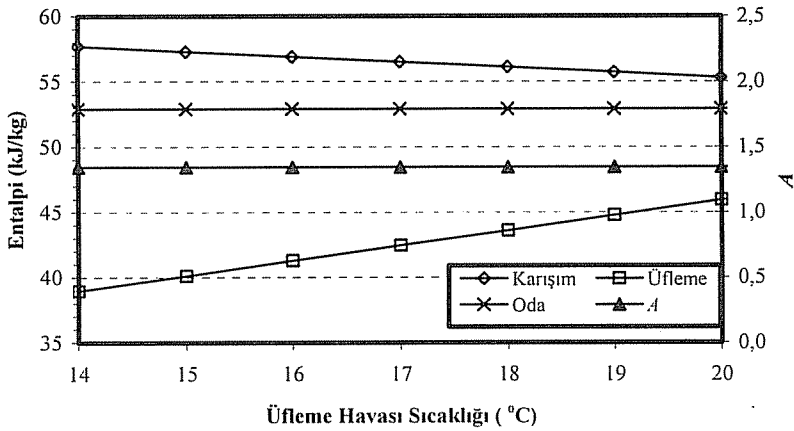
Üfleme sıcaklığının artması serpantin çığ noktası ve karışım havasının sıcaklık, mutlak nem ve entalpilerini azaltmıştır. Karışım havası ile üfleme havası entalpileri farkı (h_M-h_S) ile oda havası ve üfleme havası entalpileri farkının (h_R-h_S) birbirine oranı, A boyutsuz sayısı olarak tanımlanır:

$$A = [(h_M - h_S) / (h_R - h_S)] \quad (24)$$

Soğutma serpantini kapasitesi ($Q_{\text{tot,coil}}$), bina soğutma yüküne bağlı olarak eşitlik (25) ile ifade edilir. Eşitlikten görüldüğü gibi, soğutma serpantini kapasitesi A boyutsuz sayısına bağlı olarak değişmektedir.

$$Q_{\text{tot,coil}} = Q_{\text{tot,room}} [(h_M - h_S) / (h_R - h_S)] = Q_{\text{tot,room}} A \quad (25)$$

Şekil 5'te farklı üfleme sıcaklıkları için saat 14⁰⁰'te gözlenen karışım havası, oda havası ve üfleme havası entalpileri ve A boyutsuz sayısı verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, tüm üfleme sıcaklıklarında A boyutsuz sayısı sabit kalmaktadır.

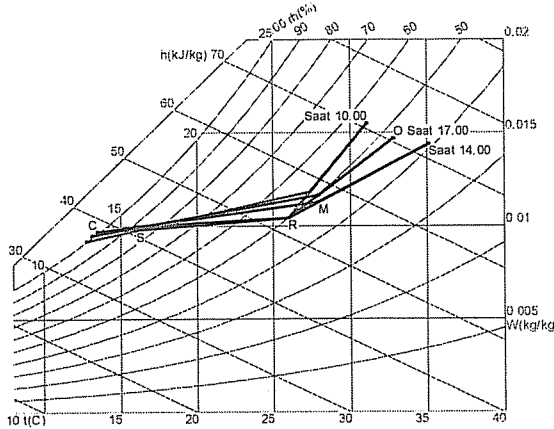


Şekil 5. Karışım, oda ve üfleme havası entalpilerinin ve A boyutsuz sayısının üfleme sıcaklığı ile değişimi

Sonuç olarak üfleme sıcaklığının artması her ne kadar serpantin kapasitesini etkilemese de, toplam hava debisini artırmaktadır ve bunun sonucu olarak, iklimlendirme sistemi fanlarının kapasitesini artırmaktadır. Bu sebeple tam havalı bir iklimlendirme sistemi tasarlanırken, optimum üfleme sıcaklığı tespit edilmelidir.

4.2. Tasarım Günü İçin Psikrometrik Analiz Sonuçları

Soğutma serpantini kapasitesi ve ilgili diğer büyüklükler 21 temmuz tasarım günü için 8⁰⁰-17⁰⁰ periyodunda saatlik olarak P_VAV bilgisayar programı ile hesaplanmıştır. Şekil 6'da soğutma işleminin 21 temmuz tasarım günü saat 10⁰⁰, 14⁰⁰ ve 17⁰⁰'deki saatlik değişimi psikrometrik diyagramda gösterilmiştir. Psikrometrik diyagramda (O) olarak gösterilen dış hava şartları saatlik olarak değişmektedir. Buna bağlı olarak bina soğutma yükü ($Q_{tot,room}$) ve taze hava yükü de değişmektedir. Şekil 6'da görüldüğü gibi, iklimlendirme sisteminin çalışma süresince, ortam havasının (R) konfor şartlarının sağlanması için, soğutma işlemi üzerindeki üfleme havasının (S), karışım havasının (M) ve serpantin çığ noktasının (C) yeri sürekli olarak değişmektedir. Sonuç olarak soğutma işlemi, gün içinde sürekli değişen dinamik bir işlemdir.



Şekil 6. Tasarım günü için soğutma işleminin saatlik değişimi

Çizelge 4'te 21 temmuz günü için üfleme havası şartlarının saatlik değişimi (W_s , h_s) verilmiştir. Çizelgeden görüleceği gibi, üfleme havası mutlak nemi (W_s) ve entalpisi (h_s) dış havanın sıcaklığındaki (T_o) değişimine bağlı olarak değişmektedirler. Bu çalışmada incelenen tam havalı değişken debili iklimlendirme sisteminde, ortama gönderilen hava sabit sıcaklıktadır (T_s). Ancak üfleme havasının diğer termodinamik özellikleri değişkendir. Burada mutlak nemin değişimi (W_s) verilmiştir. Sonuç olarak üfleme sıcaklığının soğutma işlemindeki yeri (S) sürekli olarak değişmekte ancak iç ortam ısı konforu tam olarak sağlanmaktadır.

Çizelge 4. Üfleme havası şartlarının saatlik değişimi

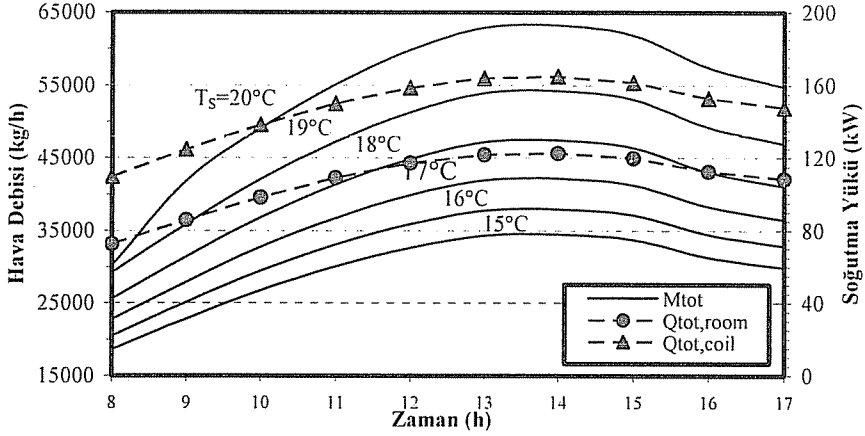
Saat	Dış Hava Şartları			Üfleme Havası Şartları					
	T _O [°C]	W _O [kg/kg]	h _O [kJ/kg]	T _S =15°C		T _S =17°C		T _S =19°C	
				W _S [kg/kg]	h _S [kJ/kg]	W _S [kg/kg]	h _S [kJ/kg]	W _S [kg/kg]	h _S [kJ/kg]
8 ⁰⁰	27.66	0.0164	69.59	0.0094	38.87	0.0096	41.42	0.0098	43.97
9 ⁰⁰	29.41	0.0160	70.46	0.0096	39.37	0.0098	41.83	0.0099	44.28
10 ⁰⁰	31.10	0.0155	71.00	0.0097	39.68	0.0099	42.08	0.0100	44.48
11 ⁰⁰	32.60	0.0151	71.48	0.0098	39.83	0.0099	42.20	0.0100	44.58
12 ⁰⁰	33.82	0.0148	71.87	0.0098	39.98	0.0100	42.33	0.0101	44.67
13 ⁰⁰	34.69	0.0145	72.14	0.0099	40.12	0.0100	42.44	0.0101	44.77
14 ⁰⁰	35.16	0.0144	72.29	0.0099	40.12	0.0100	42.44	0.0101	44.77
15 ⁰⁰	34.94	0.0144	72.04	0.0099	40.12	0.0100	42.44	0.0101	44.77
16 ⁰⁰	33.98	0.0145	71.34	0.0098	39.98	0.0100	42.33	0.0101	44.67
17 ⁰⁰	32.88	0.0147	70.78	0.0098	39.83	0.0099	42.20	0.0100	44.58

Çizelge 5'te 21 Temmuz günü için farklı üfleme sıcaklıklarında dış hava şartlarına bağlı olarak karışım havası şartlarının (W_M , h_M) saatlik değişimi verilmiştir. Çizelge 5'te görüldüğü gibi, karışım havasının entalpisi (h_M) sıcaklığı (T_M) ve mutlak nemi (W_M) dış havanın değişimine bağlı olarak sürekli olarak değişmektedirler. Dış havanın sıcaklığının artmasıyla, karışım havasının sıcaklığı (T_M) artarken entalpi (h_M) ve nemi (W_M) azalmaktadır. Ayrıca, üfleme havası sıcaklığının artmasıyla, karışım havasının sıcaklık nem ve entalpisi (T_M , W_M ve h_M) çok az bir oranda azalmaktadır.

Çizelge 5. Karışım havası şartlarının saatlik değişimi

Saat	Dış Hava Şartları			Karışım Havası Şartları								
	T _O [°C]	W _O [kg/kg]	h _O [kJ/kg]	T _S =15°C			T _S =17°C			T _S =19°C		
				T _M [°C]	W _M [kg/kg]	h _M [kJ/kg]	T _M [°C]	W _M [kg/kg]	h _M [kJ/kg]	T _M [°C]	W _M [kg/kg]	h _M [kJ/kg]
8 ⁰⁰	27.66	0.0164	69.59	26.71	0.0130	60.07	26.58	0.0126	58.77	26.45	0.0121	57.47
9 ⁰⁰	29.41	0.0160	70.46	27.19	0.0124	59.02	26.97	0.0121	57.91	26.76	0.0117	56.80
10 ⁰⁰	31.10	0.0155	71.00	27.51	0.0120	58.26	27.23	0.0117	57.28	26.96	0.0114	56.31
11 ⁰⁰	32.60	0.0151	71.48	27.73	0.0117	57.78	27.42	0.0115	56.89	27.10	0.0113	56.01
12 ⁰⁰	33.82	0.0148	71.87	27.88	0.0115	57.47	27.54	0.0113	56.64	27.20	0.0112	55.81
13 ⁰⁰	34.69	0.0145	72.14	27.99	0.0114	57.30	27.62	0.0113	56.50	27.26	0.0111	55.70
14 ⁰⁰	35.16	0.0144	72.29	28.08	0.0114	57.30	27.70	0.0112	56.50	27.32	0.0111	55.70
15 ⁰⁰	34.94	0.0144	72.04	28.08	0.0114	57.35	27.70	0.0112	56.54	27.32	0.0111	55.73
16 ⁰⁰	33.98	0.0145	71.34	28.00	0.0115	57.53	27.64	0.0113	56.69	27.28	0.0111	55.85
17 ⁰⁰	32.88	0.0147	70.78	27.82	0.0116	57.62	27.49	0.0114	56.76	27.16	0.0112	55.91

21 Temmuz tasarım günü için farklı üfleme sıcaklıklarında gerekli toplam hava debisinin saatlik değişimi Şekil 7'de gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 7'de saatlik olarak bina ve serpantin soğutma yükü dağılımları da verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, tüm üfleme sıcaklıklarında toplam hava debisinin gün içindeki dağılımı birbirine benzerdir. Gerekli toplam hava debisi, saat 8⁰⁰'den 14⁰⁰'de kadar artmakta geri kalan zamanda azalmaktadır. Benzer şekilde, bina ve serpantin soğutma yükleri de gün içinde farklı değerlerdedir. Her iki soğutma yükü saat 14⁰⁰'de pik yüke ulaşmakta ve geri kalan diğer saatlerde soğutma yükleri daha düşük değerlerdedir.



Şekil 7. Toplam hava debisi ve bina ve serpantin soğutma yükü saatlik dağılımı

4.3. Soğutma Sezonu İçin Psikrometrik Analiz Sonuçları

HVAC cihazları pik yük için tasarlanırlar. Önceki bölümde görüldüğü gibi, HVAC cihazları, çoğunlukla soğutma sezonu boyunca dış havanın etkisiyle kısmi yükte çalışırlar. Bu çalışmada soğutma sisteminin çalışma kapasitesi soğutma sezonu boyunca gerçek çalışma şartları için analiz edilmiştir. Bu analizde, Adana için soğutma sezonu, 21 Nisan ile 21 Ekim arasında kalan 184 gün olarak alınmıştır. Soğutma sezonu boyunca her ayın 21. günü için saatlik toplam hava debisi ve soğutma serpantini kapasitesi P_VAV bilgisayar programı ile hesaplanmıştır. Bu analiz için gerekli olan bina soğutma yükü, benzer şekilde soğutma sezonu boyunca her ayın 21. günü için hesap edilmiştir. Her ayın 21. günü için elde edilen saatlik toplam hava debisi ve soğutma serpantini kapasitesi değerleri, Simpson integral yöntemi kullanılarak tüm soğutma sezonu için saatlik olarak sezonluk ortalama değerleri bulunmuştur.

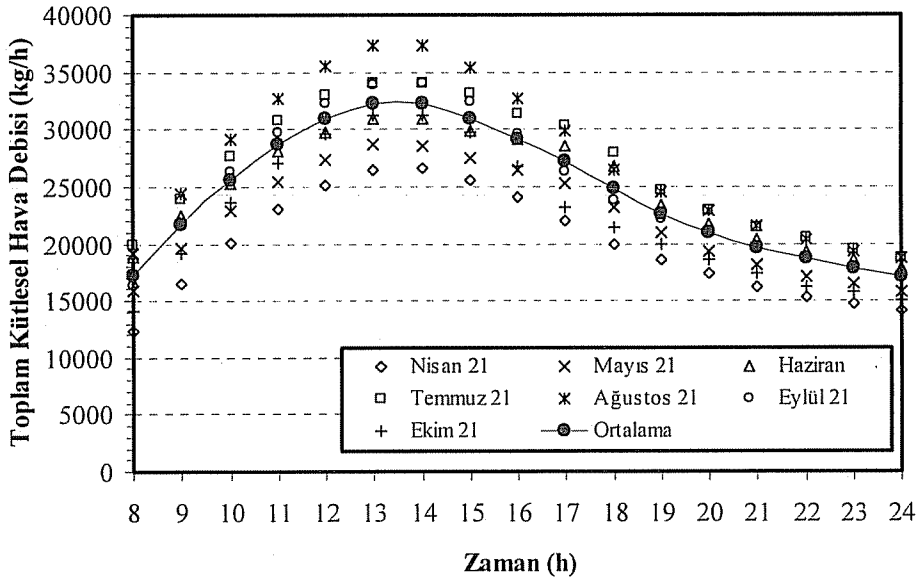
Şekil 8'de 15 °C sabit üfleme sıcaklığında soğutma sezonu boyunca her ayın 21. günü ve sezonluk ortalama saatlik toplam hava debisi gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, VAV iklimlendirme sisteminin saatlik toplam hava debisi ihtiyacı soğutma sezonu boyunca 12384 ve 37348 kg/h arasında değişmektedir. Toplam hava debisi soğutma sezonu boyunca 21 Nisan saat 8⁰⁰'de 12384 kg/h minimum debi ihtiyacı olarak elde edilmiştir. Maksimum debi ihtiyacı ise 21 Ağustos saat 13⁰⁰'de 37348 kg/h olarak bulunmuştur. Türkiye'de soğutma sistemleri için tasarım günü olarak alınan 21 Temmuz gününde, toplam hava debisi maksimum olarak gözlenmemiştir. Çizelge 2'de sunulduğu gibi, 21 Temmuz tasarım günü için 15 °C sabit üfleme sıcaklığında maksimum toplam hava debisi 35935 kg/h olarak bulunmuştur. Buna göre, soğutma sistemi 21 Temmuz tasarım gününe göre tasarlanırsa, maksimum debi ihtiyacının görüldüğü ağustos ayında soğutma sistemi için gerekli hava debisi sağlanamayacağından arzulanan ısı konfor elde edilemeyecektir. Ayrıca Şekil 8'den görüldüğü gibi, toplam hava debi ihtiyacı zamana bağlı olarak gün içinde önemli oranda değişmektedir. Örneğin 21 Haziran saat 8⁰⁰ ve 15⁰⁰'de dış hava sıcaklıkları sırasıyla

23.9°C ve 33.6°C iken binanın toplam hava debisi ihtiyacı aynı saatlerde sırasıyla 18940 kg/h ve 29851 kg/h'dir.

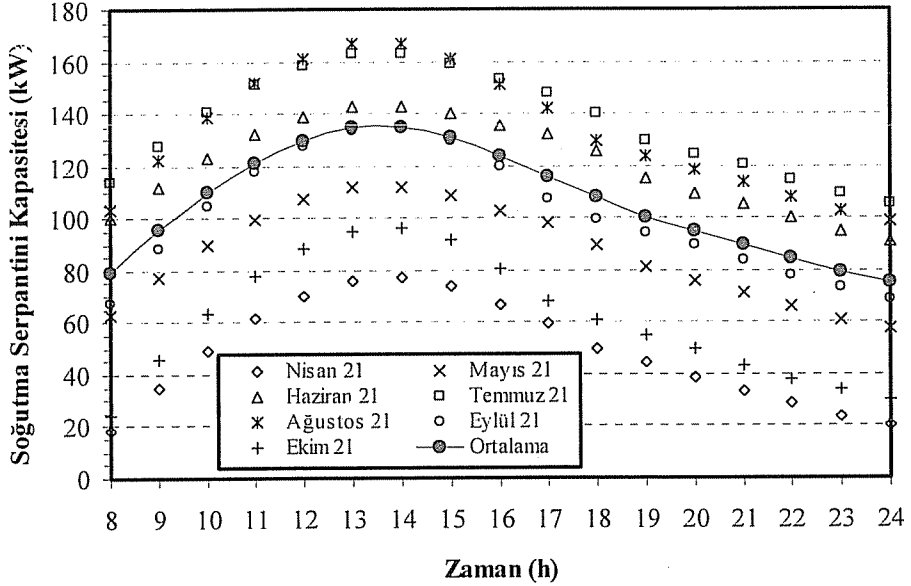
Şekil 9'da soğutma serpantini kapasitesi soğutma sezonu boyunca her ayın 21. günü ve soğutma sezonu ortalama değerleri verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi, soğutma kapasitesi yaklaşık olarak 20 kW ile 170 kW arasında değişmektedir. Aynen toplam hava debi ihtiyacında olduğu gibi, bina soğutma ihtiyacı da zamanla değişmektedir. Adana için soğutma sezonunda en az soğutma ihtiyacı 21 nisan saat 8⁰⁰'de (18.45 kW) görülürken 21 Ağustos günü saat 13⁰⁰'de (166.70 kW) ise pik yük görülmektedir. 21 Temmuz dış tasarım değerleri kullanılarak bulunan serpantin tasarım kapasitesi 186.05 kW (Çizelge 3)'dir. Soğutma sistemi 21 Temmuz günü için tasarlanırsa, serpantin kapasitesi %12 oranında daha büyük seçilir. Fakat gerekli toplam hava debisi (35935 kg/h) tasarım debisinden (37348 kg/h) daha küçük olduğundan, istenilen ısı konfor şartları sağlanamaz. Dolayısıyla HVAC cihaz kapasiteleri belirlenirken, Türkiye'de kullanılan 21 Temmuz dış tasarım değerlerini kullanmak daima doğru sonuç veremeyebilir.

HVAC sistemleri seçilirken genellikle belirlenen tasarım değerlerine en yakın olan bir üst kapasitedeki cihaz seçilmektedir. Dolayısıyla HVAC cihazları çalışma süresince tam yükte çalışmazlar. Cihaz kapasitelerinin büyük seçilmesi, ilk yatırım, işletme ve bakım giderlerini önemli ölçüde artırmakta, fakat arzulanan iç ortam şartları da tam olarak sağlanamamaktadır.

Ayrıca, Şekil 8 ve 9'da verilen sezonluk ortalama toplam hava debisi ve serpantin kapasiteleri ile iklimlendirme sisteminin sezonluk enerji tüketimi kolayca hesaplamak mümkündür.



Şekil 8. İklimlendirme sisteminin saatlik toplam hava debi ihtiyacı



Şekil 9. İklimlendirme sisteminin saatlik serpantin kapasitesi

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, dış hava şartlarının iklimlendirme sisteminin hem tasarım hem de saatlik çalışma kapasitesine etkisi incelenmiştir. Soğutma işlemindeki karışım havası, cihaz çığ noktası ve üfleme havasının psikrometrik özellikleri dış havanın saatlik değişimine bağlı olarak güçlü bir şekilde etkilenmektedir. Benzer şekilde, bina soğutma yükü ve havalandırmadan kaynaklanan taze hava yükü, dış hava şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla binanın soğutma ihtiyacı ve üfleme havası debisi anlık olarak değişmektedir. Bu değişimler, soğutma işleminin sürekli değişim gösteren dinamik bir hal almasını sağlamaktadır.

Türkiye'de, soğutma sistemleri genellikle 21 Temmuz bina maksimum (pik) soğutma yüküne göre tasarlanırlar. Bu yaklaşım, tasarımcıların yanlış sonuçlara ulaşmasına sebep olabilir. Bu çalışmada, örnek binanın maksimum soğutma yükü ağustos ayında görülmüştür. Bu durumu engellemek için, soğutma sezonu boyunca bina soğutma yükü analizi yapılarak tasarım günü doğru olarak belirlenmelidir.

Ayrıca, sonuçlar iklimlendirme sisteminin soğutma grubu ve fanlarının çalışma süresince tam yükte çalışmadığını göstermiştir. Sistemler çoğunlukla dış hava şartlarının değişimine bağlı olarak kısmi yükte çalışırlar. İklimlendirme sistemlerinin enerji tüketimlerini azaltmak ve iç ortam konfor şartlarını yükseltmek için, seçilen sistemlerin kısmi yük performanslarının yüksek olması büyük önem taşımaktadır. Tasarım şartları HVAC cihazlarının sadece pik yükteki performansını göstermekte olup çalışma süresince sistemin gerçek çalışma performansı ile ilgili bir bilgi vermemektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Özkul,N., "Uygulamalı Soğutma Tekniği", Makina Mühendisleri Odası Yayın No 115, Ankara, 1985.
2. Önen,E., "Havalandırma ve Klima Tekniği", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Teknik Yayınlar No 9, Başbakanlık Basımevi, Ankara, 1985.
3. ASHRAE Handbook-Fundamentals, Atlanta (GA): American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2001.
4. Aktacir,M.A., "Influence of Outdoor Air Conditions on Operating Capacity of Air Conditioning Systems", Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği ABD, Doktora Tezi, Adana, 2005.
5. Oğulata,R.T. ve Yılmaz,T., "Çevre Sıcaklığının Zamansal Değişiminin Eşitliklerle Hesaplanması", Ç.Ü. Müh.Mim.Fak.Dergisi, 85-95, 4(1)1989.
6. Yılmaz,T., Özgören,M. ve Gürçınar,Y., "Mutlak Nemin Günlük ve Yıllık Değişimi", 10. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Bildiriler Kitabı, pp.593-602, Ankara, 1995.
7. Yılmaz,T. ve Bulut,H., "Şanlıurfa İli İçin Meteorolojik Değerlerin Günlük, Yıllık Değişiminin Sürekli Fonksiyonlarla İfadesi", 4. Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Kongresi Bildiriler Kitabı, Sayfa 188-198, Adana, 1996.
8. Bulut,H., Büyükalaca,O. ve Yılmaz,T., "Türkiye'nin 15 ili için Bazı İklim Verilerinin Eşitliklerle İfadesi", TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 51: 48-56, 1999.
9. Isı Yalıtımı Yönetmeliği, Ankara: Resmi Gazete (24043), 8 Mayıs 2000.
10. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Ankara: Resmi Gazete (23725), 14 Haziran 1999.
11. Spitler,J.D., Fisher,D.E. ve Pederson,C.O., "The Radiant Time Series Cooling Load Calculation Procedure", ASHRAE Transactions, 103(2): 503-515, 1997.

İKİ SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNDE TEK GÜÇLENDİRİCİ KİRİŞ KONUMUNUN PERDE YANAL YERDEĞİŞTİRMESİNE ETKİSİ

Engin EMSEN, Orhan AKSOĞAN

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

Murat BİKÇE

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

ÖZET : *Bu çalışmada önerilen yöntemin dayandığı temel ilke, Sürekli Bağlantı Yöntemi (SBY) olup, bu tekniğe göre boşluklu perdeler, birleşik perdeler gibi gözününe alınarak bağlantı kirişi adı verilen kat kirişleri perde yüksekliğince eşdeğer rijitlikte sürekli yayılı kirişlerle gösterilir (1). Bu değişiklik yapının özelliklerinin yüksekliğini fonksiyonları olarak verilmesini sağlar. Sürekli bağlantı yönteminde temel diferansiyel denklemler, her iki açıklıkta bağlantı kirişlerinin orta noktasındaki düşey yerdeğıştirmeler için yazılan uygunluk denklemleridir. Elde edilen ikinci mertebeden lineer diferansiyel denklem takımı için, perdelerin tabanında ve tepesinde sınır şartları ve güçlendirici kirişlerde süreklilik şartları yazılarak çözüm yapılır. Problemin ikinci aşamasında ise her bölge için moment-eğrilik ilişkisi yazılarak perdenin yatay yerdeğıştirme fonksiyonu bulunur. Bu çalışmada, SBY kullanılarak, rijit bir temele oturan, güçlendirici kirişli iki sıra boşluklu perdelerin statik analizi ele alınmış ve örnek olarak da her kat seviyesinde bir adet güçlendirici kirişin ayrı ayrı bulunması durumunda, perde tepesi yanal yerdeğıştirmesi değışimi incelenmiştir. Bu işlemler sırasında, FORTRAN dilinde hazırlanan bilgisayar programı, SAP2000 (6) ve ANSYS (7) yapı analizi programları kullanılarak perde modellenmiş ve seçilen iki sıra boşluklu perde örneğı için en uygun güçlendirici kiriş konumları belirlenmiştir.*

THE EFFECT OF THE LEVEL OF A SINGLE STIFFENING BEAM ON THE LATERAL DISPLACEMENT OF TWO-BAY COUPLED SHEAR WALLS

ABSTRACT : *The method proposed in this study is based on the principle of Continuous Connection Method (CCM). According to this technique, coupled shear walls are considered as connected shear walls and the beams at story levels, called connecting beams, are modeled as continuously distributed lamellas of equivalent stiffness (1). This representation renders possible the expressions of structural properties in terms of height variable. The governing differential equations, in the CCM, are the compatibility equations written for the vertical displacements at the midpoints of the two bays. The second order linear differential equation set thus obtained, are solved using the boundary conditions at the bottom and top of the shear walls and the continuity conditions for the stiffening beams. In the second step of the problem, the horizontal displacement function is found by applying the moment-curvature relation for the shear wall. In this study, CCM has been used to handle the static analysis of a coupled shear wall on a rigid foundation having stiffening beams. As an example, the variation of the top displacement is examined for the shear wall with a stiffening beam at each story height one at a time. During these calculations, using the FORTRAN program prepared, the SAP2000 (6) and ANSYS (7) structural analysis programs, the shear wall has been modeled and the best levels for the stiffening beams are found for a selected example shear wall with two rows of openings.*

1. GİRİŞ

Yüksek yapılarda kat sayısının artmasına bağlı olarak binaya daha fazla yatay kuvvet etkimekte ve düşey yükleri ileten kolonlar bu yatay kuvvetlerin oluşturduğu eğilme momentleriyle aşırı zorlanmalara maruz kalmaktadırlar. Ayrıca, bina tepesindeki yatay yerdeğiştirmeler kabul edilmez düzeylere çıkmaktadır. Bu sorunun çözümü için deprem perdeleri olarak adlandırılan, eğilme rijitliği yüksek yapı elemanları kullanılmaktadır. Bu perdeler içleri dolu olduğu zaman birer konsol kiriş gibi çalışırlar ve hesapları kolaydır. Ancak, bir perde, içindeki pencere, kapı ve koridorlarla ortaya çıkan boşluklar nedeniyle boşluklu perdeye dönüştüğü zaman yüksek dereceden hiperstatik olduğu için hesabı güçleşmektedir. Hesaplama işlemini basitleştirmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Yatay yükler etkisindeki boşluklu perdelerin analizi için yaygın olarak kullanılan bir yöntem Sürekli Bağlantı Yöntemi (SBY)'dir. Bu yöntemde, boşluklu perdeler birleşik perdeler gibi gözönüne alınarak bağlantı kirişi adı verilen kat kirişleri ve döşemeler bina yüksekliği boyunca eşdeğer rijitlikteki sürekli yayılı kirişler olarak gösterilir ve bu elemanlarda oluşan kesme kuvvetleri sürekli dağıtılmış reaksiyonlar olarak modellenir (1).

Perdeler arası bağlantı rijitliğinin boşluklar nedeni ile yeterli seviyede olmadığı durumlarda bina tepe noktası yerdeğiştirmesi yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Bu durumun önlenmesi amacı ile bina boyunca belirli yüksekliklere "Güçlendirici Kiriş" olarak adlandırılan eğilme rijitliği yüksek bağlantı elemanları konulmaktadır (2,3). Perdelerde bırakılan boşluklar gözönüne alınarak yapılan çalışmalar sonunda perdelerin, dolayısı ile binaların, projelendirilmesinin ekonomik şekilde yapılabilmesi için, bina

yüksekliklerinin 30-40 kat ile sınırlı kalması gerektiği ortaya çıkmıştır. Daha yüksek binalarda genel tasarım kurallarına (tepe noktasının yatay yerdeğiştirmesinin toplam bina yüksekliğine oranı $\approx 1/500$ v.b.) uymak amacıyla perdelerin güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu tür yapı elemanlarına ise “güçlendirilmiş boşluklu perde” denilmektedir. Boşluklu perdelerin güçlendirilmesi ile yatay yerdeğiştirmelerde azalmalar görüleceğinden bina yüksekliğinde artış sağlanabilir. Bu nedenle binada depo, servis veya başka bir amaç ile boş bırakılan kata yüksek bir kiriş yapmak en uygun çözüm olarak görünmektedir. Yapılacak olan bu kiriş, çelik kafes sistem veya rijitliği yüksek bir betonarme kiriş olabilir. Yapısal davranışta iyileşmeyi sağlayacak olan bu kirişlerin sayısı ve yerleri proje mühendisine bağlıdır.

Sürekli bağlantı yönteminde yapılan en önemli kabul bağlantı kirişlerini ve güçlendirici kirişleri eksenleri doğrultusunda rijit olarak ele almaktır. Bu kabule dayanarak perdenin herhangi bir seviyesindeki yatay yerdeğiştirmeler aynı değerde olacaktır. Bu durumun kat döşemeleri için yaygın olarak kullanılan rijit diyafram modeliyle de uyum içinde olduğu bilinen bir gerçektir.

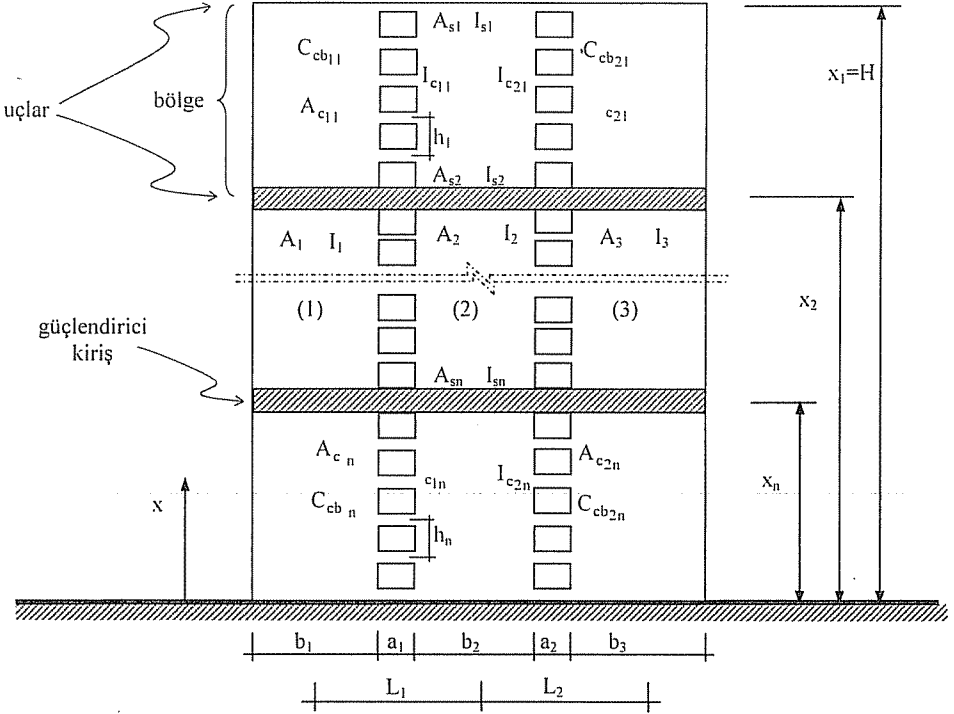
Sürekli bağlantı yönteminde temel diferansiyel denklemler, her iki açıklıkta bağlantı kirişlerinin orta noktasındaki düşey yerdeğiştirmeler için yazılan uygunluk denklemleridir (4). Elde edilen ikinci mertebeden lineer diferansiyel denklem takımı için, perdelerin tabanında ve tepesinde sınır şartları ve güçlendirici kirişlerde süreklilik şartları yazılarak çözüm yapılır. Analiz sonucunda perde duvarlardaki eksenel kuvvet fonksiyonları bulunur. Problemin ikinci aşamasında ise her bölge için perdelerde moment-eğrilik ilişkisi kullanılarak yatay yerdeğiştirme fonksiyonu bulunur. Boşluklu perde problemi, SBY sayesinde iki boyutludan tek boyutlu probleme indirgenir.

Boşluklu perde sistemlerinde bir diğer çözüm tekniği de, sistemi oluşturan elemanların sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak geometrik özellikleri bilinen sınırlı elemanların birleşimi şeklinde modellemektir. Bu çalışmada kullanılan çözüm yönteminin doğruluğunun kontrolü amacıyla sonlu elemanlar yöntemiyle de analiz yapılmıştır. Sonlu eleman tipi olarak üç boyutlu ve her düğümünde üç serbestlik derecesi bulunan elastik çubuk elemanları ve düzlemsel kabuk elemanları kullanılmıştır.

Bu çalışmada, rijit bir temele oturan ve bağlantı kirişleri ve perde duvarları birleşiminde bağlantı elastikliği bulunan, değişik konumlarda güçlendirici kirişler ile desteklenmiş iki açıklıklı simetrik olmayan boşluklu perdelerin statik analizi ele alınmıştır (5). Çalışma sonunda, önerilen yöntemle hazırlanan bilgisayar programı, SAP2000 (6) ve ANSYS (7) yapı analizi programlarıyla örnek boşluklu perde çözülerek sonuçlar çizelge ve grafiklerle sunulmuştur.

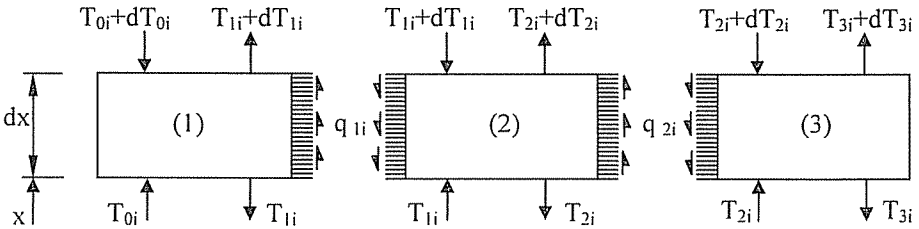
2. ANALİZ

Yüksek binalarda, rüzgar ve depremden dolayı meydana gelen yatay kuvvetler genellikle perdeler tarafından karşılanır. İçi dolu bir perde konsol kiriş gibi çalıştığından hesabı kolaydır. Ancak, içlerinde kapı, pencere ve koridor geçişleri için bırakılan boşluklarla zayıflayan deprem perdeleri yüksek dereceden hiperstatik olduklarından hesapları da güçleşmektedir. Yatay yüklere karşı etkili bir dayanım gösteren deprem perdelerinin çok katlı yapılarda yaygın bir şekilde tercih edilmesi ile birlikte, mimari nedenlerle bırakılan boşlukların sıra sayısında da artış olmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. İki sıra boşluklu perde

Bu çalışmada, iki sıra boşluklu perdeyi oluşturan komşu iki boşluk sırası arasındaki her bir düşey eksenli betonarme taşıyıcı, "duvar" olarak adlandırılmıştır. Sürekli bağlantı ortamına çevrilen iki sıra boşluklu perdelerde, her iki boşluk için sağ ve sol duvarlarda birim boyda oluşan kesme kuvvetleri ile bu kesme kuvvetlerinin duvar ekseninde oluşturduğu kuvvetler ayrı ayrı ifade edilip, i'inci bölgede, dx uzunluğunda ve sonsuz-küçük boyda bir parça alınıp, bu parça üzerine etkiyen düşey yöndeki kuvvetler Şekil 2'de gösterilmiştir. Burada,



Şekil 2. Düşey yöndeki kuvvetlerin dengesi

$$q_{0i} = q_{3i} = T_{0i} = T_{3i} = 0$$

(1)

bağıntısı geçerli olmak üzere, kuvvetlerin düşey yöndeki dengesi yazılırsa, i numaralı bölge için T_{1i} , T_{2i} perde eksenel kuvvet bileşenleri ve q_{1i} , q_{2i} kesme kuvveti akış fonksiyonları arasında,

$$\frac{dT_{1i}}{dx} = -q_{1i} \qquad \frac{dT_{2i}}{dx} = -q_{2i} \qquad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

denklemleri elde edilir. Bu çalışmada, dikkat edilmesi gereken bir nokta, i bölgesinde iki numaralı perde üzerinde eksenel kuvvet yerine duvarın komşu boşluklarındaki kesme kuvvetlerinin tepeden itibaren toplamları olan T_{1i} ve T_{2i} fonksiyonlarının temel bilinmeyenler olarak ele alınıyor olmasıdır. Bunların arasındaki fark, i bölgesindeki iki numaralı duvarın eksenel kuvvetini

$$N_{2i} = T_{1i} - T_{2i} \qquad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

şeklinde verir. Herhangi bir x yüksekliğinde kesilmiş iki sıra boşluklu bir perde için moment-eğrilik ilişkisi,

$$EI \frac{d^2 y_i}{dx^2} = M_{ei} - T_{1i} L_1 - T_{2i} L_2 \qquad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, L_1 ve L_2 perde eksenleri arasındaki mesafeler, y_i yanall deplasman fonksiyonu ve I perdelerin toplam atalet momenti olarak tanımlanmaktadır. Denklemin sağ tarafında yer alan M_{ei} terimi i bölgesinde ve herhangi bir x yüksekliğinden daha yukarıda kalan dış yüklerden doğan moment değeridir. Statik analiz için, P tekil yük, W uniform yayılı yük ve Q üçgen yayılı yük şiddeti olmak üzere, bu moment değeri

$$M_{ei} = P(H-x) + \frac{W(H-x)^2}{2} + \frac{Q(H-x)^2(2H+x)}{6H} \quad (5)$$

şeklinde tanımlıdır. Her iki açıklıkta ayrı ayrı olmak üzere, bağlantı kirişlerinin orta noktasında uygunluk denklemleri yazılıp gerekli düzenlemeler yapılırsa

$$\begin{aligned} & L_j \frac{dy_i}{dx} - \frac{h_i a_j^3}{12EI_{c_{ji}}} q_{ji} - \frac{h_i a_j^2}{2C_{cb_{ji}}} q_{ji} \\ & - \frac{1}{E} \sum_{i=i+1}^n \left[\left\{ \frac{1}{A_j} \right\}_{x_{i+1}}^{x_i} \int_{x_{i+1}}^{x_i} (T_{j,i} - T_{j-1,i}) dx + \left\{ \frac{1}{A_{j+1}} \right\}_{x_{i+1}}^{x_i} \int_{x_{i+1}}^{x_i} (T_{j,i} - T_{j+1,i}) dx \right] \\ & - \frac{1}{E} \left[\left\{ \frac{1}{A_j} \right\}_{x_{i+1}}^x \int_{x_{i+1}}^x (T_{j,i} - T_{j-1,i}) dx + \left\{ \frac{1}{A_{j+1}} \right\}_{x_{i+1}}^x \int_{x_{i+1}}^x (T_{j,i} - T_{j+1,i}) dx \right] - \delta_{r_j} = 0 \\ & (j=1, 2, \quad i=1, 2, \dots, n) \quad (6) \end{aligned}$$

şeklinde birim boydaki kesme kuvveti fonksiyonuna bağlı ikinci mertebeden homojen olmayan bir lineer diferansiyel denklem sistemi elde edilir. Burada j , boşlukların ve boşluklar arasında kalan duvarların numaralarını ifade eden bir değişkendir. Ayrıca, a_j , C_{cbij} , A_j ve δ_{ij} , sırasıyla, j numaralı boşluk genişliği, i 'yinci bölgenin j 'yinci boşluğundaki kiriş-duvar bağlantı rijitliği, j numaralı duvar enkesit alanı ve j 'yinci boşluğun iki yanındaki temellerin bağıl düşey yerdeğiştirmesidir. Bu denklemdeki terimler kiriş ortasında, sırasıyla, perdelerin eğilmelerinden, moment sıfır noktasındaki kesme kuvvetlerinin doğurduğu eğilmelerden, kiriş-duvar bağlantılarının bağıl dönmesinden, duvarların aksenal boy değişimlerinden ve temelin elastikliğinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirmeleri gösterirler. Denklemlerin x 'e göre türevi alınarak (2) ve (4) numaralı bağıntılar kullanılır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa:

$$\frac{d^2 T_{1i}}{dx^2} - \alpha_{11}^2 T_{1i} - \alpha_{12}^2 T_{2i} = -\beta_{1i}^2 M_{ei} \quad (7)$$

$$\frac{d^2 T_{2i}}{dx^2} - \alpha_{21}^2 T_{1i} - \alpha_{22}^2 T_{2i} = -\beta_{2i}^2 M_{ei}$$

denklemleri elde edilir. Burada

$$\beta_{1i}^2 = \frac{1}{\left[\frac{h_1 I a_1^3}{12 L_1 I_{c1i}} + \frac{h_1 E I a_1^2}{2 L_1 C_{cb1i}} \right]} \quad \beta_{2i}^2 = \frac{1}{\left[\frac{h_1 I a_2^3}{12 L_2 I_{c2i}} + \frac{h_1 E I a_2^2}{2 L_2 C_{cb2i}} \right]} \quad (8)$$

ve

$$\alpha_{11}^2 = \beta_{1i}^2 \left[L_1 + \frac{I}{L_1} \left(\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} \right) \right] \quad \alpha_{12}^2 = \beta_{1i}^2 \left(L_2 - \frac{I}{L_1} \frac{1}{A_2} \right) \quad (9)$$

$$\alpha_{22}^2 = \beta_{2i}^2 \left[L_2 + \frac{I}{L_2} \left(\frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_3} \right) \right] \quad \alpha_{21}^2 = \beta_{2i}^2 \left(L_1 - \frac{I}{L_2} \frac{1}{A_2} \right)$$

tanımları geçerlidir. İkinci dereceden iki bilinmeyenli bir diferansiyel denklem takımı olan (7), yerine koyma yöntemiyle çözülerek T_{1i} ve T_{2i} perde aksenal kuvvet bileşenleri

$$T_{1i} = D_{1i} \text{Sinh}(\mu_{1i} x) + D_{2i} \text{Cosh}(\mu_{1i} x) + D_{3i} \text{Sinh}(\mu_{2i} x) + D_{4i} \text{Cosh}(\mu_{2i} x) + \frac{K_{3i}}{K_{2i}} \left[M_{ei} + \frac{K_{1i}}{K_{2i}} M''_{ei} \right] - \frac{1}{K_{2i}} M''_{ei} \beta_{1i}^2 \quad (10)$$

$$\begin{aligned}
 T_{2i} = & \frac{(\mu_{1i}^2 - \alpha_{11}^2)}{\alpha_{12}^2} [D_{1i} \text{Sinh}(\mu_{1i}x) + D_{2i} \text{Cosh}(\mu_{1i}x)] \\
 & + \frac{(\mu_{2i}^2 - \alpha_{11}^2)}{\alpha_{12}^2} [D_{3i} \text{Sinh}(\mu_{2i}x) + D_{4i} \text{Cosh}(\mu_{2i}x)] \\
 & + \frac{1}{\alpha_{12}^2} \left[\frac{K_{3i}}{K_{2i}} \left(M''_{ei} \left(1 - \frac{K_{1i}}{K_{2i}} \alpha_{11}^2 \right) - \alpha_{11}^2 M_{ei} \right) + \left(\frac{\alpha_{11}^2}{K_{2i}} M''_{ei} + M_{ei} \right) \beta_{1i}^2 \right] \quad (11)
 \end{aligned}$$

olarak elde edilir. Burada

$$\begin{aligned}
 K_{1i} &= \alpha_{11}^2 + \alpha_{22}^2 & \mu_{1i} &= \sqrt{\frac{K_{1i} + \sqrt{K_{1i}^2 - 4K_{2i}}}{2}} \\
 K_{2i} &= \alpha_{11}^2 \alpha_{22}^2 - \alpha_{21}^2 \alpha_{12}^2 & & \\
 K_{3i} &= \alpha_{22}^2 \beta_{1i}^2 - \alpha_{12}^2 \beta_{2i}^2 & \mu_{2i} &= \sqrt{\frac{K_{1i} - \sqrt{K_{1i}^2 - 4K_{2i}}}{2}} \quad (12)
 \end{aligned}$$

tanımları geçerlidir. (10-11) ifadelerindeki 4n adet D_{1i} , D_{2i} , D_{3i} ve D_{4i} integrasyon sabitinin bulunması için tepe noktasında düşey kuvvetlerin dengesinden, perde tabanı ve bölge birleşim yerlerinde perde eğimlerinin ve yanal yerdeğıştirmelerin sürekliliğinden sınır şartları yazılır. Perdenin rijit bir temele oturması nedeniyle, bu amaçla düşünölen 1'inci ve 2'inci boşluk için bağıl düşey yerdeğıştirme

$$\begin{aligned}
 \delta_{f1} &= 0 \\
 \delta_{f2} &= 0 \quad (13)
 \end{aligned}$$

ve dönme ifadeleri,

$$\left. \frac{dy_n}{dx} \right|_{x=0} = 0 \quad (14)$$

şeklindedir.

Duvarların yatay yerdeğıştirmesi (4) numaralı denklemin x 'e göre iki kez integre edilmesiyle elde edilir.

$$y_i = \frac{1}{EI} \int \left[\int (M_{ei} - T_{1i}L_1 - T_{2i}L_2) dx \right] dx + H_i x_i + G_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

Bu ifade her bölge için yazıldığında n adet y_i fonksiyonu ve toplam 2n adet H_i ve G_i bilinmeyen integrasyon sabiti elde edilir. Bu sabitler perde tabanında dönme ve yatay yerdeğıştirme değerlerinin

$$y_n \Big|_{x=0} = 0$$

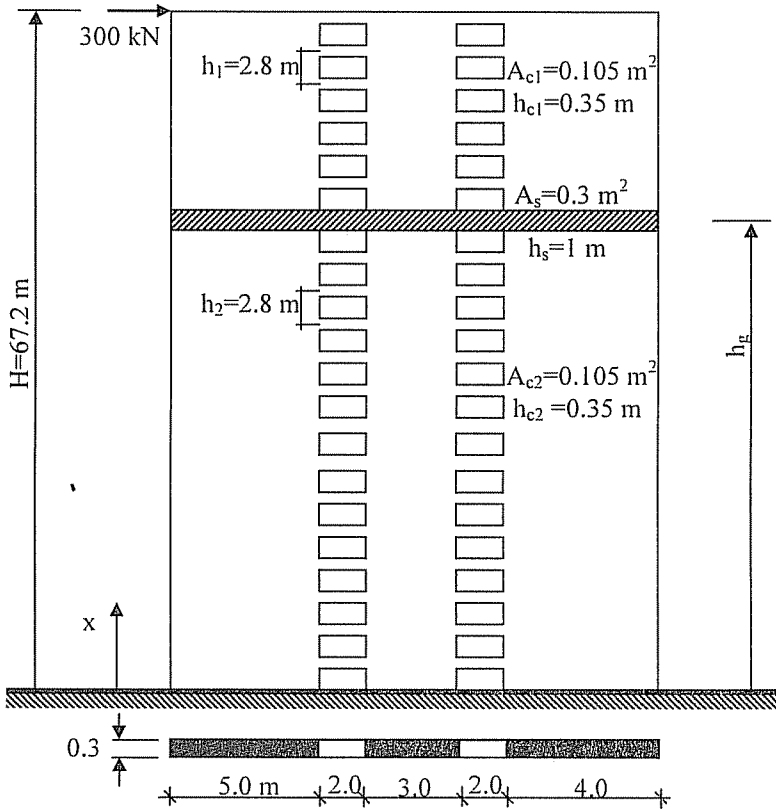
(16)

$$\frac{dy_n}{dx} \Big|_{x=0} = 0$$

şeklinde yazılması ve bölge birleşme noktalarında yazılan sınır şartları kullanılarak elde edilir.

3. SAYISAL UYGULAMA

Bu örnek, yanal yük etkisindeki iki sıra boşluklu perdelerde güçlendirici kiriş etkisini incelemek amacıyla hazırlanmıştır (Şekil 3). Rijit temele oturan 24 katlı perdede tek güçlendirici, ilk kattan itibaren her kat seviyesinde ayrı ayrı uygulanarak perde tepe noktası yanal yerdeğiştirmesi değişimi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar çizelge ve grafiklerle sunulmuştur.

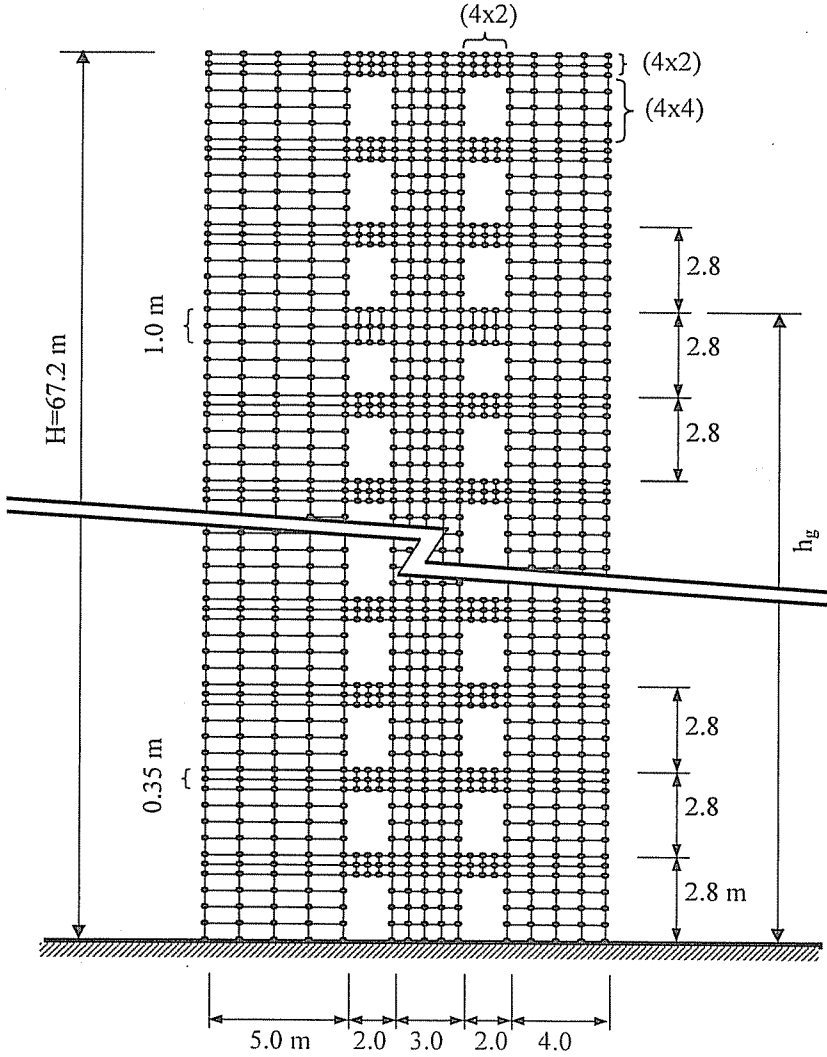


Şekil 3. Örneğe ait iki sıra boşluklu perde ve en kesiti

*İKİ SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNDE TEK GÜÇLENDİRİCİ
KİRİŞ KONUMUNUN PERDE YANAL YERDEĞİŞTİRMESİNE ETKİSİ*

Bu örnekte, toplam yüksekliği 67.2 m, kat yüksekliği 2.8 m, kalınlığı 0.3 m, boşluk genişlikleri 2 m, bağlantı ve güçlendirici kiriş yükseklikleri, sırasıyla, 0.35 m ve 1.00 m, poisson oranı 0.3 ve elastisite modülü 2×10^7 kN/m² olan perdeye tepesinden yatay olarak 300 kN'luk tekil yük etki etmektedir.

Sonlu elemanlar ağı Şekil 4'teki gibi olan ve çeşitli yöntemlerle analiz edilen örneğe ait tepe noktası yanıl yerdeğıştirmesi değeri Çizelge 1'de oransal farkları ile birlikte sunulmuştur. Ayrıca, güçlendirici kiriş konumundan dolayı bu değeriilerde olan değışimi göstermek amacıyla Şekil 5'teki grafik hazırlanmıştır.

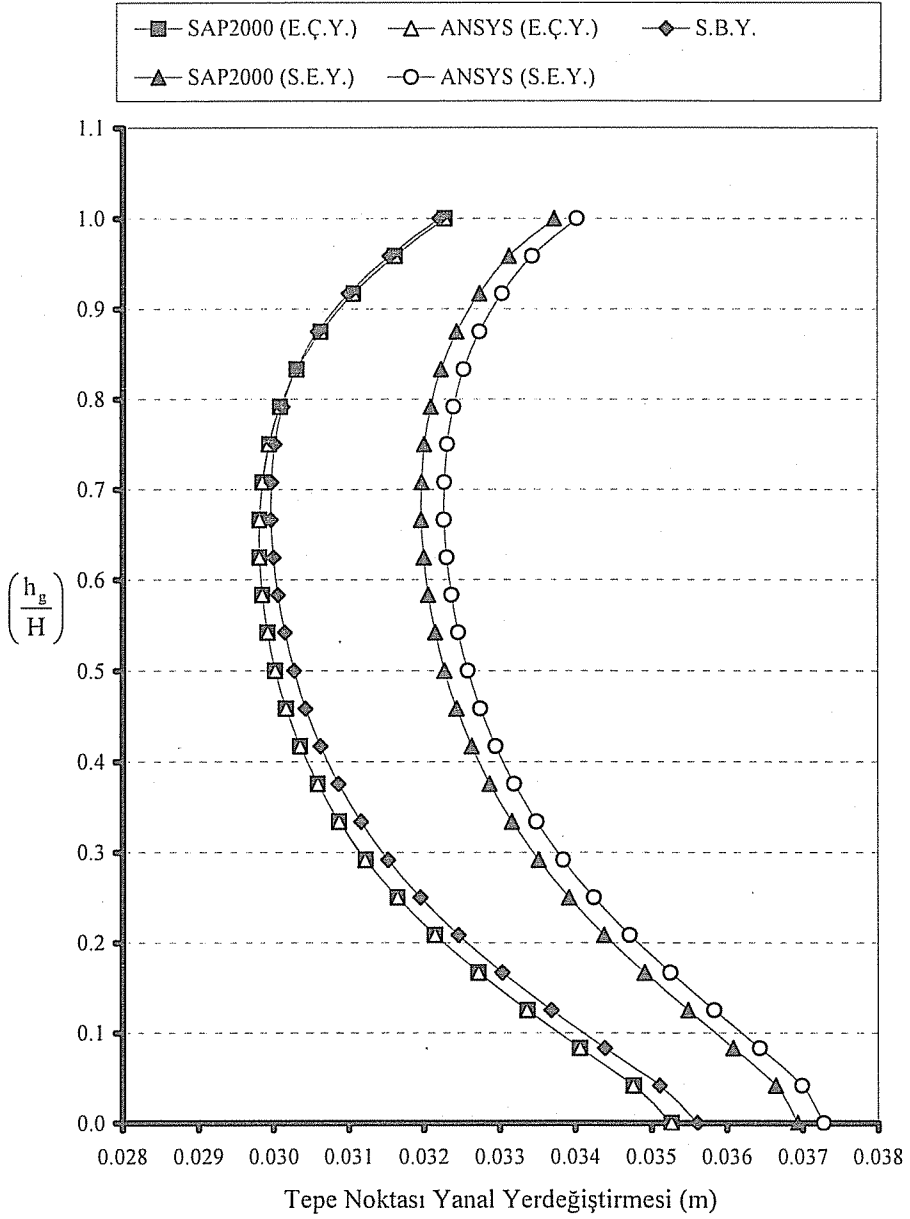


Şekil 4. Örneğe ait sonlu elemanlar ağı

Çizelge 1. Bu çalışmada hazırlanan program, SAP2000 ve ANSYS programlarından elde edilen tepe noktası yanal yerdeğiştirme değerlerinin karşılaştırılması

Kat no	$\frac{h_g}{H}$	SBY		SAP2000				ANSYS			
		Yanal yerdeğiştirme (m)	Eşdeğer çerçeve yöntemi		Sonlu elemanlar yöntemi		Eşdeğer çerçeve yöntemi		Sonlu elemanlar yöntemi		
			Yan. yerd. (m)	% fark (SBY ile)	Yan. yerd. (m)	% fark (SBY ile)	Yan. yerd. (m)	% fark (SBY ile)	Yan. yerd. (m)	% fark (SBY ile)	
0	0.000	0.035268	0.984	0.036940	3.587	0.035266	0.990	0.037286	4.482		
2	0.083	0.034063	0.963	0.036088	4.702	0.034061	0.969	0.036434	5.607		
4	0.167	0.033039	0.963	0.034916	5.376	0.032722	0.969	0.035255	6.286		
6	0.250	0.031957	0.957	0.033923	5.795	0.031653	0.960	0.034254	6.706		
8	0.333	0.031166	0.936	0.033170	6.042	0.030876	0.939	0.033494	6.950		
10	0.417	0.030623	0.893	0.032636	6.168	0.030350	0.900	0.032952	7.068		
12	0.500	0.030270	0.819	0.032280	6.227	0.030023	0.823	0.032589	7.116		
14	0.583	0.030058	0.693	0.032066	6.262	0.029850	0.697	0.032370	7.142		
16	0.667	0.029967	0.510	0.031974	6.277	0.029814	0.513	0.032275	7.151		
18	0.750	0.030017	0.257	0.032014	6.238	0.029939	0.261	0.032315	7.111		
20	0.833	0.030303	0.020	0.032236	5.996	0.030308	0.016	0.032537	6.866		
22	0.917	0.031004	0.206	0.032744	5.314	0.031067	0.203	0.033045	6.176		
24	1.000	0.032214	0.235	0.033735	4.509	0.032289	0.232	0.034038	5.359		

*İKİ SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNDE TEK GÜÇLENDİRİCİ
KİRİŞ KONUMUNUN PERDE YANAL YERDEĞİŞTİRMESİNE ETKİSİ*



şekil 5. Değişik yöntemlerle elde edilen tepe noktası yan al yerdeğiştirmesi sonuçlarının karşılaştırılması

4. SONUÇLAR

Ele alınan örnekte tek güçlendirici kiriş, 24 katlı perdede ilk kattan itibaren her kat seviyesinde ayrı ayrı uygulanarak perde tepe noktası yanal yerdeğiştirmesi değişimi incelenmiştir. Üç farklı yöntemle göre de yapılan analiz sonuçları karşılaştırıldığında, güçlendirici kiriş perde toplam yüksekliğinin 2/3'ünde iken tepe noktası yanal yerdeğiştirmesinin en az değerinde olduğu görülmüştür. Güçlendirici kirişe sahip boşluklu perdelerde, kiriş konumunun da uygun seçilmesi ile perdede oluşan yanal yerdeğiştirme değerleri önemli ölçüde azaltılabilmektedir.

Elde edilen sonuçların yakınlığı açısından, sürekli bağlantı ve eşdeğer çerçeve yöntemleri, çok küçük bir farkla, benzer sonuçlar vermektedir. Sözü edilen yöntemlerin sonlu elemanlar tekniği ile bir miktar fark göstermesine rağmen, yapısal davranış açısından sonuçların oldukça uyumlu olduğu grafiklerden görülmektedir. Oluşan bu farkın nedeni, elde edilen sonuçların daha gerçekçi olması bakımından, yapılan sonlu elemanlar modelinin Bernoulli-Navier (eğilmede dik düzlem kesitler, dik ve düzlem kalır) kabulü ile kısıtlanmış olmaması ve duvar ve bağlantı kirişlerinde kayma deformasyonlarına izin verilmesi olarak açıklanabilir.

Bu çalışmada önerilen yöntem iki bakımdan büyük kolaylık sağlamaktadır. Birincisi, çubuk elemanlar ve sonlu elemanlar olarak hesap yapan diğer yöntemlere göre data hazırlamasının çok daha kolay olmasıdır. Ayrıca, değişik olasılıkları denemek için perdede bazı değişiklikler yapılması gerektiğinde yeni data hazırlanırken eskisinde bazı küçük değişiklikler yapılmasının yeterli olması da büyük kolaylık sağlamaktadır. İkinci kolaylık ise, burada verilen yöntemle yapılan çözüm süresinin diğer yöntemlere göre daha kısa olmasıdır. Bu iki kolaylık gözönüne alındığında kolayca görülebilir ki, bu yöntem öntasarım amacı ile çok etkin bir şekilde kullanılabilir. Perdenin özellikleri ve güçlendirici kirişlerin yerleri saptanırken, çok fazla sayıda olasılık kısa bir süre içerisinde denenerek, sistem seçimi aşaması etkin bir şekilde ve kısa bir sürede tamamlanır. Daha sonra yapılan kesin çözümde daha doğru sonuçlar veren bir yöntem uygulanabilir.

5. SEMBOLLER

- a_j : j numaralı boşluk genişliği,
 A_j : j numaralı duvarın en kesit alanı,
 b_j : j numaralı duvar genişliği,
 C_{cbji}, C_{sbji} : i bölgesinde kiriş-duvar ve güçlendirici-duvar bağlantı rijitliği,
 E : elastisite modülü,
 h_i : i bölgesindeki kat yüksekliği,
 I_{s_i} : x_i yükseklikteki güçlendirici kirişin atalet momenti,
 $I_{c_{ji}}$: i bölgesinin j numaralı boşluğundaki bağlantı kirişi atalet momenti,
 I : duvarların atalet momentleri toplamı,
 i : bölgelerin ve bölgeler arası sınırların numaraları,
 j' : açıklık (boşluk) ve duvar numaraları,
 L_j : i bölgesinde j ve (j+1) numaralı duvar eksenleri arasındaki uzaklık,

M_{ei}	: daha üstte kalan yükün x yüksekliğine göre momenti,
N_{ji}	: i bölgesinde j numaralı duvarda oluşan aksenal kuvvet
n	: düşey doğrultuda bölge sayısı,
q_{ji}	: i bölgesinde j numaralı açıklıktaki kesme kuvveti akış fonksiyonu,
T_{ji}	: i bölgesinin j numaralı boşluğundaki kesme kuvvetlerinin perde tepesinden itibaren toplamı,
V_{ji}	: x_i yükseklikteki güçlendirici kirişin j açıklığındaki kesme kuvveti,
x_i	: i bölgesinin üst noktasının yüksekliği,
y_i	: i bölgesinde yatay yerdeğiştirme fonksiyonu,
δ_{ij}	: j ve j+1'inci duvar tabanları arasındaki bağıl düşey yerdeğiştirme,

5. KAYNAKLAR

1. Rosman,R., "Approximate Analysis of Shear Walls Subject to Lateral Loads", *Journal of the American Concrete Institute*, 61(6), s.717-732, 1964.
2. Coull,A. ve Subedi,N.K., "Coupled Shear Walls with Two and Three Bands of Openings", *Building Science, Pergamon Press*, 7, s.81-86, Great Britain, 1972.
3. Coull,A. ve Bensmail,L., "Stiffened Coupled Shear Walls, *Journal of Structural Engineering*", 117(8), s.2205-2223, 1991.
4. Aksogan,O., Turker,H.T. ve Oskouei,A.V., "Stiffening of Coupled Shear Walls at Arbitrary Number of Heights", *Advances in Civil Engineering, First Technical Congress*, 2, s.780-787, North Cyprus, 1993.
5. Emsen,E., "Elastik Temele Oturan Güçlendirici Kirişli İki Sıra Boşluklu Deprem Perdelerinin Serbest Titreşim Analizi", *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 163 s., Adana, 2002.
6. Wilson,E.L., "SAP2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures", *Computers and Structures, Inc.*, 1-2, 1997.
7. ANSYS Inc., *ANSYS Structural Reference Manuals*, www.ansys.com, 2005.

**İKİ EKSENLİ EĞİLME VE EKSENEL BASINÇ ALTINDA
BETONARME KOLON DENEYLERİ**

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

ÖZET : *Bu çalışmada, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altında test edilen betonarme kolonların deneysel çalışması sunulmaktadır. Deney çalışmasında numunelerin yük-deplasman davranışları ve taşıma gücü kapasiteleri elde edilmiştir. Numunelerin deneysel olarak elde edilen taşıma gücü kapasiteleri, deney parametreleri (beton basınç dayanımı, çelik akma dayanımı, numune geometrisi, eksantrisite) kullanılarak yapılan analiz sonucu elde edilen taşıma gücü değerleri ile karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu gözlenmiştir.*

**TESTS ON REINFORCED CONCRETE COLUMNS UNDER BIAXIAL
BENDING AND AXIAL LOAD**

ABSTRACT : *In this study, experimental study of reinforced concrete columns tested at the Structures Laboratory of Cukurova University, Civil Engineering Department under biaxial bending and axial load are presented. In the experimental study, the load-deformation behavior and ultimate strength capacity of the specimens were obtained. The ultimate strength capacities of the column specimens were compared with the ultimate strength values obtained by analysis using experimental parameters (concrete compressive strength, steel yield strength, specimen geometry, eccentricity), and the results were found to be in good agreement.*

1. GİRİŞ

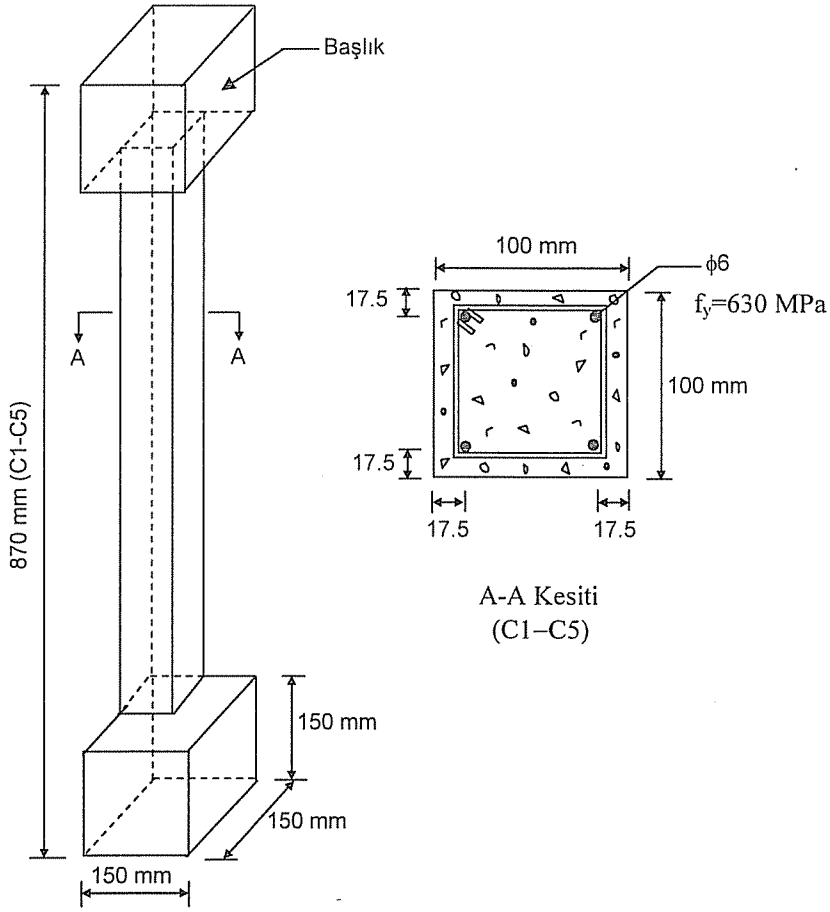
İki eksenli eğilme ve eksenel basınca maruz betonarme kolon elemanları çeşitli yapılarda; örneğin çok katlı binalarda, köprü ayaklarında, sanayi yapılarında vb. kullanılmaktadır. Bu tür elemanlar deprem, rüzgar yükü ve bazı durumlarda düşey yükler nedeniyle iki eksenli eğilme ve eksenel basınca maruz kalırlar. Bu etkiler altında problemin çözümü için bilgisayar destekli iteratif yöntemlerden faydalanmak gerekmektedir. Literatürde iki eksenli eğilme ve eksenel basınca maruz elemanların davranışlarını ve taşıma gücü kapasitelerini belirlemeye yönelik bir çok çalışma sunulmuştur. Furlong (1), 9 adet 130×230 mm dikdörtgen kesitli kolon numuneleri ile 14 adet 130×280 mm uçları dairesel kesitli kolon numunelerini iki eksenli eğilme ve eksenel basınç testine tabi tutmuş ve deney sonuçlarını önerdiği yöntem ile karşılaştırarak sunmuştur. Lachance (2), gelişigüzel geometriye sahip iki eksenli eğilme ve eksenel basınca maruz kolonların analizi için doğrusal ve doğrusal olmayan bir yöntem geliştirmiştir. Brondum-Nielsen (3), iki eksenli eğilmeye maruz gelişigüzel geometriye sahip betonarme ve öngerilmeli beton elemanların analizine yönelik bir yöntem sunmuştur. Hsu (4-6), iki eksenli eğilme ve eksenel yüke maruz L kesitli, kanal kesitli ve T kesitli betonarme kolonların taşıma gücü kapasitelerini ve yük altında meydana gelen deformasyon davranışını belirlemek üzere deneysel ve teorik çalışmalar yapmıştır. Dündar (7), iki eksenli eğilme ve eksenel basınca maruz kutu kesitli kolonların tasarımına yönelik bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Dündar ve Şahin (8), iki eksenli eğilme ve eksenel yük altında gelişigüzel geometriye sahip kolonların analiz ve tasarımına yönelik bir yöntem sunmuşlar ve yönteme dayalı bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Dündar, Tokgöz ve diğ. (9), eğik eğilmeye maruz poligon kesitli betonarme elemanların çeşitli gerilme dağılım modelleri ile analiz ve tasarımına yönelik bir yöntem sunmuşlar ve yönteme dayalı bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir.

Ele alınan çalışmada, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında, iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altında iki ucu mafsallı olarak teste tabi tutulan betonarme kolonların deneysel çalışması sunulmaktadır. Deneysel çalışmanın amacı, betonarme kolonların iki eksenli eğilme ve eksenel yük etkisi altında davranışının incelenmesi ve taşıma gücü kapasitelerinin elde edilmesidir. Çalışmada, test edilen kolonlara uygulanan yükleme kısa süreli olmakta ve bu yükleme altında elemanın taşıma gücü kapasitesi ve yük-deplasman ilişkisi elde edilmektedir. Deney sonucu elde edilen değerler, Dündar, Tokgöz ve diğ. (9) tarafından önerilen teorik yöntem ile taşıma gücü kapasitesi hesabı için, beton basınç bölgesinde Hognestad modeli (10) esas alınarak analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışma kapsamında, kare kesitli (C1-C5) 5 adet kolon numunesi hazırlanmıştır. Numunelerde 6 mm çaplı ve akma dayanımı 630 MPa olan donatı, numune boyuna donatısı ve etriye olarak tasarlanmıştır (Şekil 1.). Her bir numuneye ait etriye aralığı (s) Çizelge 2’de sunulmaktadır.

Kolon numuneleri düşey yönde teste maruz tutulmakta ve özel olarak tasarlanan başlıklardan uygulanan iki yönlü eksantrik yükleme ile eleman her iki yönde eğrilik kazanmaktadır.



Şekil 1. C1-C5 numuneleri detayı ve kesiti

Hazırlanan deney numunelerinde, yükleme durumunda etkili olan başlıca parametreler aşağıda sıralanmaktadır;

- Betonun silindir basınç dayanımı (f_c)
- Boyuna donatı tipi, çapı (ϕ) ve akma dayanımı (f_y)
- Uygulanan yükün eksantrisite değeri (e_x, e_y)
- Numune geometrisi

Deney sırasında test edilen numuneye yükleme belirli bir hızda uygulanmakta ve kısa süreli yükleme sonucunda numune taşıma gücü değerine ulaşmaktadır. Yükleme sırasında kolon orta bölgesinde meydana gelen deplasmanlar ile yük değerleri okunarak bir bilgisayara kaydedilmektedir. Böylece elde edilen datalar ile numuneye ait her iki yönde yanal yük-deplasman ilişkisi ve kolonun en çok zorlanan noktasındaki yük-birim kısalma ilişkisi elde edilmektedir.

İki eksenli yükleme sonunda taşıma gücü kapasitesine ulaşan numune, beton basınç bölgesinde ezilme ve çekme bölgesinde çatlama ile kırılmaktadır. Bu aşamadan sonra kolon numunesine etkileyen yük, taşıma gücü değerine göre giderek azalırken deplasmanlar hızla artmaktadır. Yapılan deneylerde numunelerde gözlenen kırılma başlıklarda değil, kolon ortasında veya orta bölgeye yakın yerlerde meydana gelmiştir. Bu durum numunelerin öngörülen tasarıma uygun davrandığını göstermektedir.

Deney çalışmasının en önemli parametrelerinden olan betonun hazırlığında tüm numuneler için Normal Portland çimentosu, maksimum çapı 20 mm olan yerel agrega ve iyi derecelenmiş kum kullanılmıştır. Çizelge 1’de hazırlanan numunelerin 1 m³ beton karışımı için malzeme ağırlıkça değerleri ve su/çimento oranı miktarları verilmiştir.

Çizelge 1. Hazırlanan numunelerin 1m³ beton karışım ağırlıkça değerleri

Karışım No	Kum (kg/m ³)	Çakıl (d _{max} =20 mm) (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Çimento (kg/m ³)	Su/Çimento Oranı
C1	780	1170	130	260	0.5
C2	800	1230	160	320	0.5
C3	700	1100	140	280	0.5
C4	680	1250	180	360	0.5
C5	800	1250	170	340	0.5

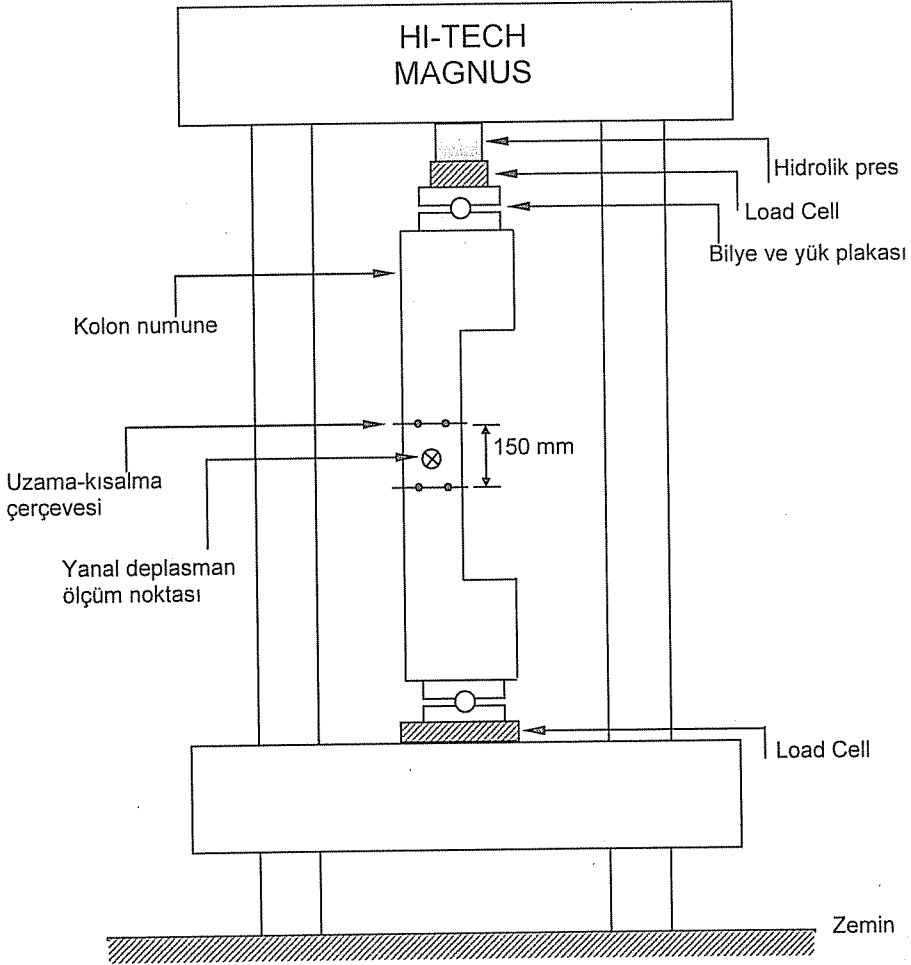
2.1. Deneyin Uygulanışı

Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarında geliştirilen HI-TECH MAGNUS marka yükleme çerçevesi ile, hazırlanan betonarme kolon numuneleri (C1–C5) iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altında teste tabi tutulmuştur. Betonarme kolon numuneleri düşey konumda test aletine yerleştirilmiş ve eksenel yönde uygulanan yükleme kısa süreli ve belirli bir hızda uygulanmıştır.

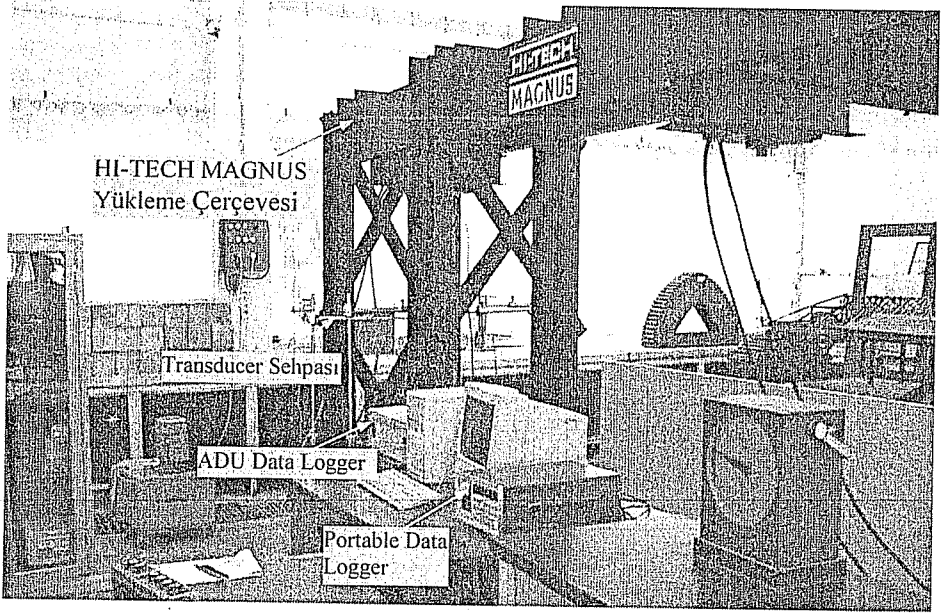
Deney çalışmasında öncelikle numuneye uygulanacak olan yükün eksantrisite değerinin alt başlık ve üst başlıkta uygun ve hassas bir şekilde ayarlanması gerekmektedir. Numune alt başlığı, Portable Data Logger aletine bağlı olan Load Cell üzerine özenle yerleştirildikten sonra numunenin üst başlığına ADU Data Logger aletine bağlı ikinci bir Load Cell uygulanmıştır. Böylece iki eksenli eğilme ve eksenel basınç deneyinde, numuneye eksenel yönde uygulanan yük değeri kontrollü bir şekilde iki Load Cell aracılığı ile elde edilmektedir (Şekil 2).

Bu aşamadan sonra test sırasında uygulanan yüke karşılık gelen deplasmanları okumak için numune orta noktası özenle ölçülüp işaretlenmektedir. Yanal yönde deplasman okumalarında kolon yüzüne uygulanacak olan transducer ucu ile kolon yüzü arasındaki pürüzlülüğü engellemek için kolon orta noktasına kesit genişliği boyunca alüminyum folyo kağıdı şerit halinde yapıştırılarak yüzeyi yağlanmaktadır. Böylece transducer uygulama noktasında kolon yüzündeki sürtünme en aza indirgenmiştir. Deney sırasında yüke karşılık meydana gelen yanal deplasmanları okumak için dört adet transducer özel hazırlanan çelik sehpa için ucuna bağlanarak numunenin her bir yüzüne (+x), (+y), (-x) ve (-y) yönündeki deplasmanları belirlemek için tatbik edilmektedir.

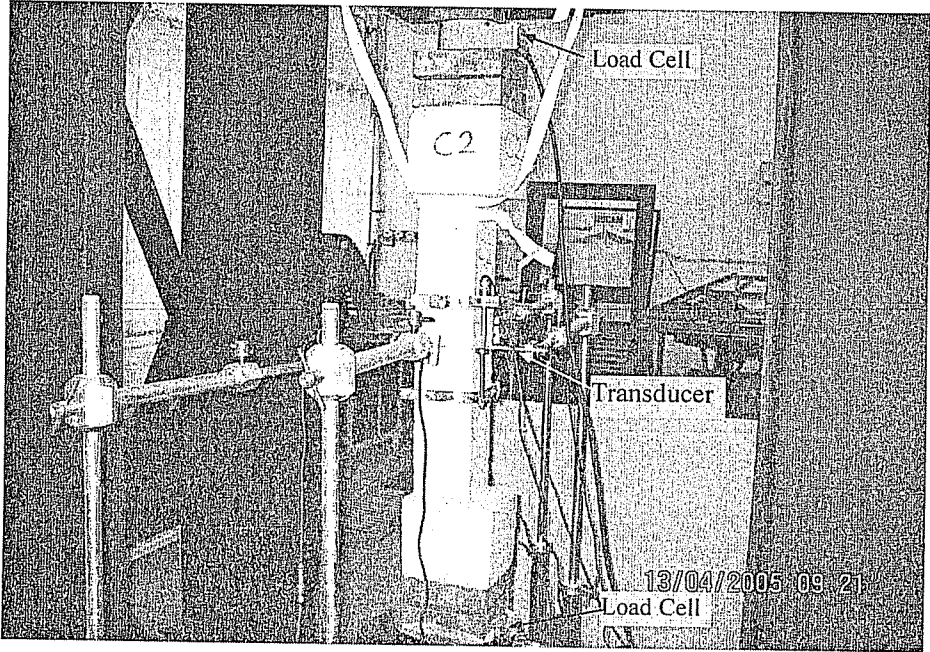
Test hazırlığının son aşamasında, numunenin en çok zorlanan noktasındaki uzama ve kısalma ölçümleri için kolon orta bölgesine göre 15 cm mesafe esas alınarak aksenal uzama ve kısalma ölçümü için özel hazırlanmış olan çerçeve sistemi numuneye vidalanmak suretiyle bağlanmakta ve numune deney uygulamasına hazır duruma gelmektedir (Şekil 2-4).



Şekil 2. Yükleme çerçevesi ve deney düzeneği detayı



Şekil 3. Yükleme çerçevesi ve deney aletleri



Şekil 4. Deney düzeneği

3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Deneysel çalışma kapsamında, iki eksenli eğilme ve eksenel basınca maruz olarak test edilen tüm numuneler (C1–C5), taşıma gücü kapasitesine ulaşıldıktan sonra beton basınç bölgesinde ezilme ve çekme bölgesinde çekme çatlakları ile kırılmıştır (Şekil 5–6). Deney sırasında her bir numune için okunan yük ve deplasman dataları ile numunelere ait yük–deplasman ilişkileri ve kesitin en çok zorlanan noktasındaki yük–birim kılmalma ilişkileri grafiksel olarak elde edilmiştir.

Kolon ortasında, uygulanan yüke karşılık gelen yanal deplasman, (1) denklemi ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta = \Delta_i - \Delta_o \quad (1)$$

Burada, Δ_i , her bir yüke karşılık gelen yanal yöndeki transducer okumaları; Δ_o , ise sıfır yüklemesine ait ADU tarafından okunan deplasmanı göstermektedir.

Kolonun en çok zorlanan noktasındaki birim kılmalma;

$$\varepsilon = (\Delta L_i - \Delta L_o) / L_o \quad (2)$$

bağıntısı ile elde edilmektedir. Burada, ΔL_i , her bir yüke karşılık gelen kılmalma; ΔL_o , sıfır yüklemesine ait ADU tarafından okunan deplasman, L_o değeri ise okumalar arası mesafeyi (150 mm) göstermektedir.

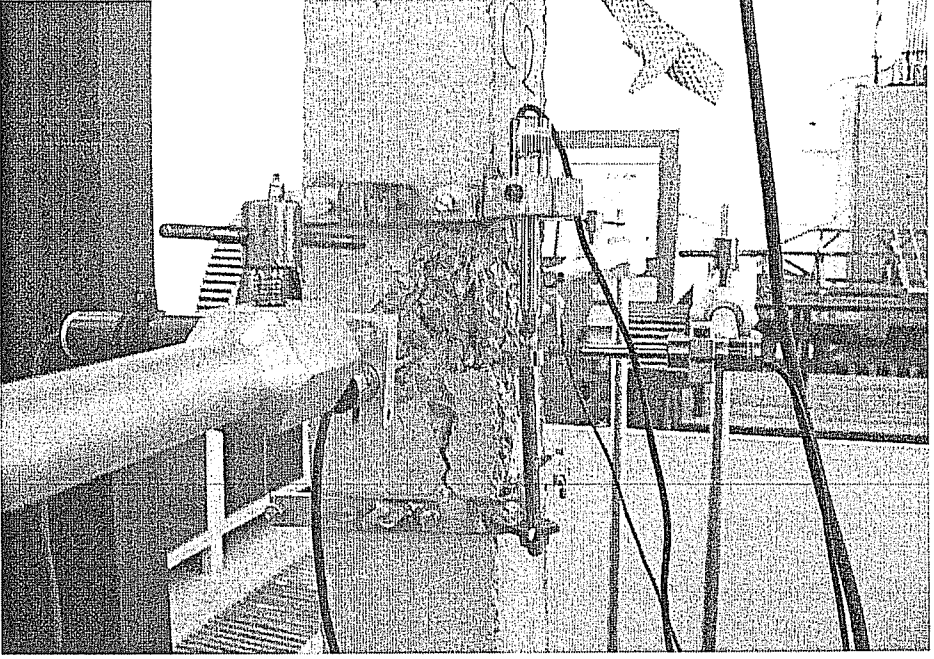
Deney sonucunda numunelere ait elde edilen taşıma gücü kapasiteleri, deney parametreleri kullanılarak Dünder, Tokgöz ve diğ. (9) tarafından önerilen teorik yöntemle dayalı geliştirilen bilgisayar programı ile, beton basınç bölgesi için Hognestad modeli (10) esas alınarak taşıma gücü kapasitesi teorik olarak hesaplanmış ve karşılaştırılmalı sonuçlar Çizelge 2’de sunulmuştur.

Çizelge 2. Taşıma gücü değerleri ve karşılaştırmalar

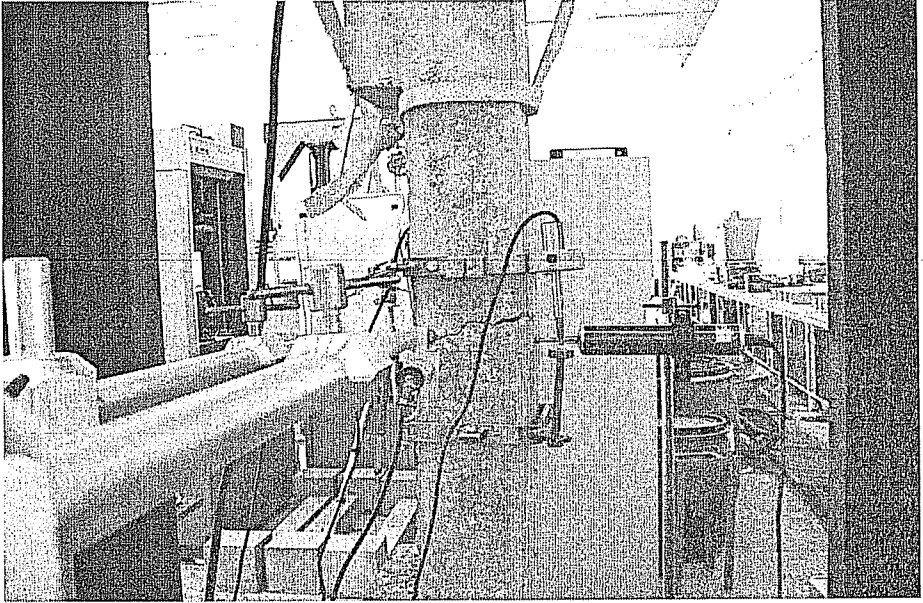
Kolon Numune	f_c (MPa)	e_x (mm)	e_y (mm)	s (cm)	N_{test} (kN)	$N_{u Teorik}$ (kN)	$N_{u Teorik} / N_{test}$
C1	19.18	25	25	12.5	89	90.45	1.016
C2	31.54	25	25	15	121	127.98	1.058
C3	28.13	25	25	10	125	117.83	0.943
C4	26.92	30	30	8	99	95.21	0.962
C5	25.02	30	30	10	94	90.47	0.962
Ortalama							0.988

Yapılan analiz sonucu elde edilen sonuçlara göre, numunelerin taşıma gücü kapasite değerlerinin deneysel değerlerle uyumlu olduğu görülmektedir.

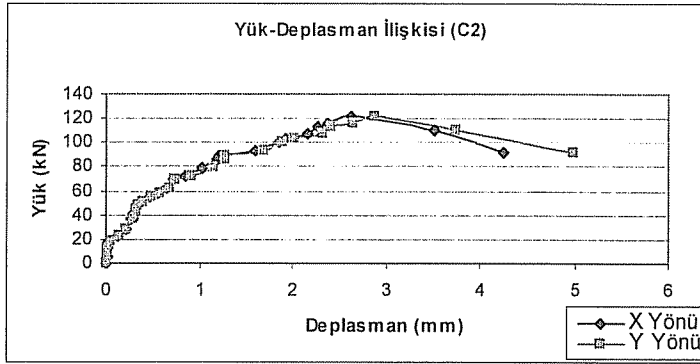
Numunelere ait yanal yöndeki yük–deplasman ve yük–birim kılmalma ilişkileri grafik olarak Şekil 7–14’de sunulmaktadır. Grafikler incelendiğinde elemanların taşıma gücü aşıldıktan sonra yük almaya devam ettiği ve bu yüklere karşılık elemanın oldukça büyük deformasyon yapabildiği görülmektedir. Bu durum numunelerin yüklenme durumunda sünek davranış sergilediğini göstermektedir.



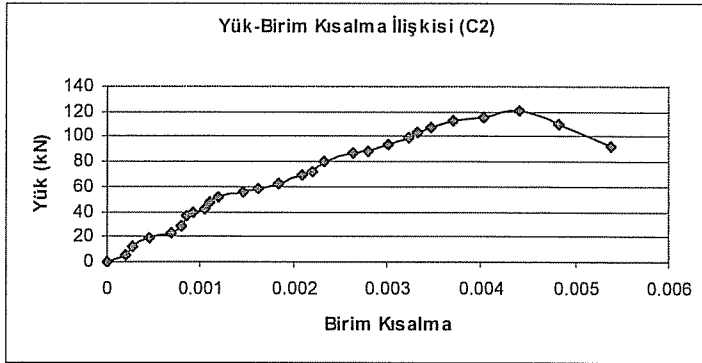
Şekil 5. Betonarme kolon basınç ezilmesi



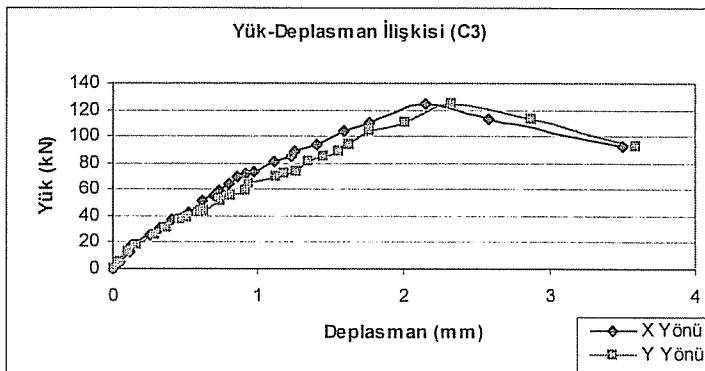
Şekil 6. Betonarme kolon çekme çatlağı



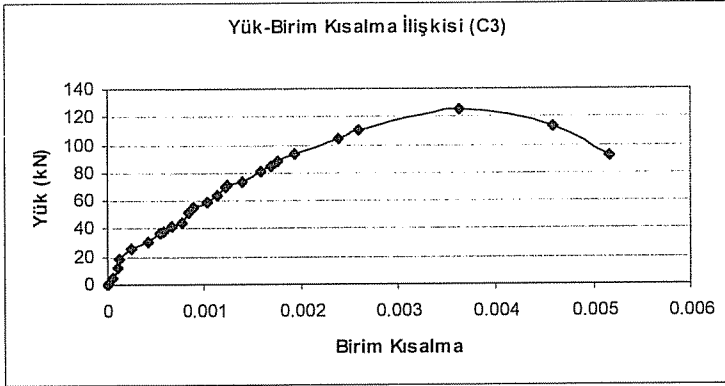
Şekil 7. C2 numunesi yük-deplasman ilişkisi



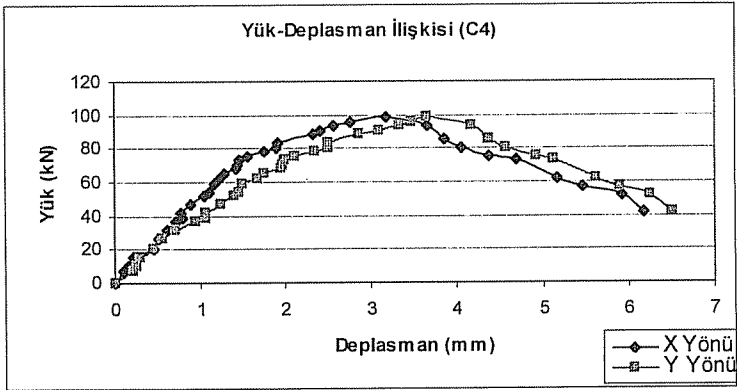
Şekil 8. C2 numunesi yük-birim kısalma ilişkisi



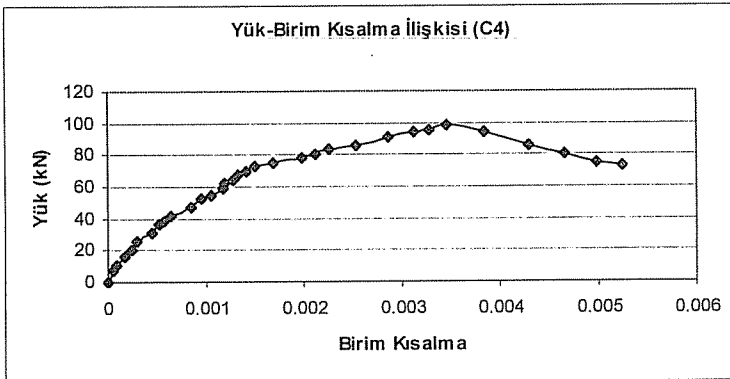
Şekil 9. C3 numunesi yük-deplasman ilişkisi



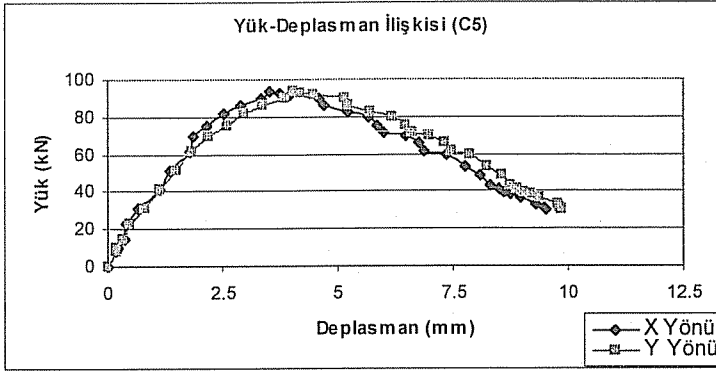
Şekil 10. C3 numunesi yük-birim kısalma ilişkisi



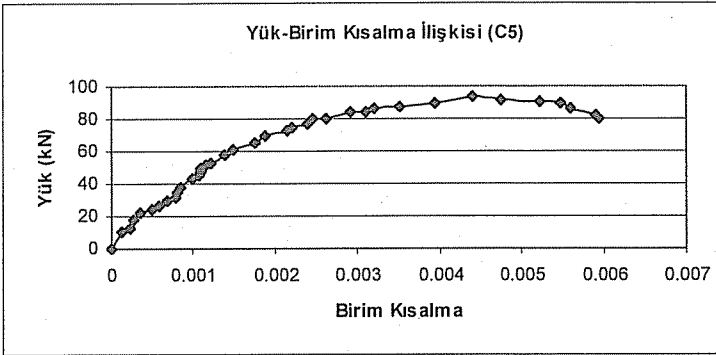
Şekil 11. C4 numunesi yük-deplasman ilişkisi



Şekil 12. C4 numunesi yük-birim kısalma ilişkisi



Şekil 13. C5 numunesi yük-deplasman ilişkisi



Şekil 14. C5 numunesi yük-birim kısalma ilişkisi

4. SONUÇLAR

Sunulan çalışmada, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında hazırlanan betonarme kolonlar, iki eksenli eğilme ve eksenel basınç altında davranış ve taşıma gücü kapasitesini belirlemek amacıyla test edilmiştir. Deney numunelerine ait parametreler (beton basınç dayanımı, çelik akma dayanımı, numune kesit özellikleri, eksantrisite) belirlenerek deney numuneleri, teorik yöntemle dayalı geliştirilen bilgisayar programı ile beton basınç bölgesi için Hognestad modeli (10) esas alınarak analiz edilmiş ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre teorik olarak hesaplanan taşıma gücü kapasitelerinin deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğu gözlenmiştir. Ayrıca deney sırasında numunelerde ölçülen yanal deplasmanlar ve yük birim kısalma değerleri kullanılarak elemanların yük altında davranışları grafik ortamda elde edilmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, FBE2002D224 proje numarası ile Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Furlong, R.W., "Concrete columns under biaxially eccentric thrust", *ACI Journal*, 1093-1118, 1979.
2. Lachance, L., "Stress distribution in reinforced concrete sections subjected to biaxial loading", *ACI Journal*, 77, 116-123, 1980.
3. Brondum-Nielsen, T., "Ultimate flexural capacity of fully prestressed, partially prestressed, arbitrary concrete sections under symmetric bending", *ACI Journal*, 83, 29-35, 1986.
4. Hsu, C.T., "Biaxially loaded L-shaped reinforced concrete columns", *Journal of Structural Engineering ASCE*, 111(12), 2576-2595, 1985.
5. Hsu, C.T., "Channel-shaped reinforced concrete compression members under biaxial bending", *ACI Structural Journal*, 84, 201-211, 1987.
6. Hsu, C.T., "T-shaped reinforced concrete members under biaxial bending and axial compression", *ACI Structural Journal*, 86, 460-468, 1989.
7. Dündar, C., "Concrete box sections under biaxial bending and axial load", *Journal of Structural Engineering*, 116, 860-865, 1990.
8. Dündar, C., Şahin, B., "Arbitrarily shaped reinforced concrete members subjected to biaxial bending and axial load", *Computers and Structures*, 49, 643-662, 1993.
9. Dündar, C., Tokgöz, S., Tanrıku, A.K., "Analysis of biaxially loaded polygonal shaped reinforced concrete members using various stress distribution models" *Ç. Ü. Müh-Mim Fak. Dergisi*, 18(1), 77-83, 2003.
10. Hognestad, E., Hanson, N.W., McHenry, D., "Concrete stress distribution in ultimate stress design" *ACI Journal*, 27(4), 455-479, 1955.

SUYA DOYGUN OLMAYAN ZEMİNLERİN ÜÇ EKSENLİ PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Mehmet Arslan TEKİNSOY, Cafer KAYADELEN ve Taha TAŞKIRAN
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Bu çalışmada suya doygun olmayan zeminlerin üç eksenli parametrelerinin araştırılması için deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla klasik üç eksenli deney düzeneği modifiye edilmiştir. Deneylerde örselenmemiş reziduel killi zemin kullanılmıştır. Doygun olmayan zeminlerde gerilme değişkeni sayılan matrik emme, eksen kaydırma yöntemi kullanılarak istenilen seviyede tutulmuştur. Zemin içinde istenilen matrik emmeyi sağlamak için zemin tabanında hava giriş değeri 500 kPa olan seramikten yapılmış bir poroz disk kullanılmıştır. Deneyler konsolidasyonlu ve drenajlı koşullarda yapılmıştır. Zeminin toplam ve boşluk suyu hacim değişimi $0,01 \text{ cm}^3$ hassasiyete sahip hacim değişim ölçer ile ölçülerek bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Deney sonuçları, doygun olmayan zeminlerin kayma mukavemetinin doygun zeminlere göre daha büyük olduğunu göstermiştir. Diğer bir deyişle matrik emme mukavemete katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: doygun olmayan zemin, kayma mukavemeti, matrik emme, seramik poroz disk, eksen kaydırma tekniği

DETERMINATION OF TRIAXIAL PARAMETERS FOR UNSATURATED SOILS

ABSTRACT : An experimental work was carried out to investigate the triaxial response of unsaturated soils. For this purpose, the conventional triaxial test apparatus were modified and reconstructed. In the experiments, undisturbed residuel clayey soils were used and matric suction was controlled by using axis translation technique. Tests were performed in drained condition. Overall and pore water volume change was measured by using volume change transducer with $0,01 \text{ cm}^3$ sensitivity. The test results show that the shear strength of unsaturated soils is greater than those of saturated soils. In other words, matric suction contribute to increase in shear strength.

Keywords: unsaturated soil; shear strength, matric suction, ceramic poroz disk, axis translation technique

1. GİRİŞ

Zeminler suya doymun olarak incelendiğinde deneyler ile elde edilen parametreler en kritik durumu temsil etmektedir. Bu nedenle, klasik zemin mekaniğinde problemler, güvenli bölgede kalınması sebebiyle suya doymun olarak incelenir. Oysa yeryüzünün önemli bir bölümü kurak veya yarı kurak iklim koşullarında bulunduğu için bu bölgedeki zeminler yıl içinde hiç bir zaman doymun durumda bulunmamaktadır. Bu durumda bu zeminlerin geoteknik özellikleri suya doymun olarak incelendiğinde gerçek değerlerinden farklı değerler elde edilmektedir. Diğer taraftan, kalıplanarak hazırlanmış numuneler ve sıkıştırılmış zeminler negatif boşluk suyu basıncına sahiptirler, yani bu zeminlerde doymamış zeminler olarak kabul edilmektedir (1).

Son yıllarda zeminlerin suya doymun olmayan durumunda incelenmesi oldukça ilgi görmektedir (1,2). Ancak doymun olmayan zeminler üzerinde yapılan deneyler oldukça karışık ve zaman alıcıdır. Bunun nedeni doymamış zeminlerin, zemin danesi, su, hava ve hava-su ara yüzeyi denilen dört faza sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu zeminlerde boşluk suyu basıncı negatif değer taşıdığı için emme basınçları söz konusu olmaktadır. Pratik mühendislik amaçları için doymamış zeminlerin gerilme durumu değişkenleri genellikle net gerilme ($\sigma - u_a$) ve matrik emme ($u_a - u_w$) olarak alınmaktadır. Yani matrik emme bağımsız gerilme durumu değişkeni olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle doymun olmayan zemin deneylerinde matrik emmenin, değişiminin ve zemin davranışına etkisinin bilinmesi gerekir.

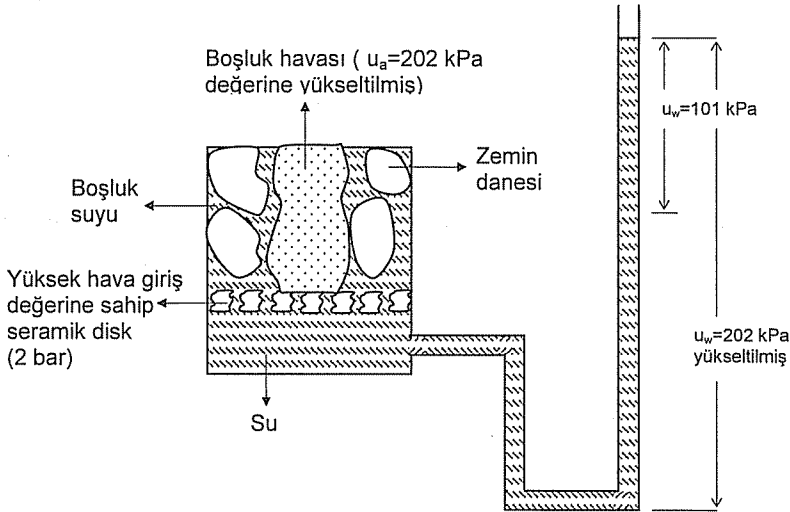
Doymamış zeminlerin kayma mukavemeti yukarıda bahsedilen gerilme değişkenleri kullanılarak tanımlanmaktadır. Yapılan çalışmalarda zemin numunesi içindeki su içeriğinin azalması nedeniyle matrik emmenin mukavemeti yükselttiği belirtilmektedir (2,3). Doymamış zeminlerin kayma mukavemeti parametreleri modifiye edilmiş üç eksenli veya kesme kutusu deneyleri ile belirlenmektedir (4,5). Bu deneylerde matrik emme kontrol edilerek istenilen değerde tutulmaktadır. Literatürde matrik emmenin kontrol edilmesi için üç yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; ozmotik teknik, eksen kaydırma tekniği ve bağıl nem tekniğidir. Bu yöntemlerden en yaygın olanı eksen kaydırma tekniğidir. Bu teknikte zemin içindeki boşluk hava basıncı yapay olarak atmosfer basıncının üzerine çıkarılır ve boşluk suyu basıncı pozitif değerde tutulur. Zemin içindeki havanın sabit bir şekilde atmosfer basıncı üzerinde bir değerde tutmak için seramikten yapılan ve geçirimsizliği çok düşük olan poroz diskler kullanılmaktadır. Bu diskler imal özelliklerine göre suya doymun olduklarında belli bir basınç değerinde havayı geçirmemekte fakat suyu geçirmektedir. Boşluk suyu basıncı ise bu seramik diskin altında yapılan su odacığında ölçülmektedir.

Bu çalışmada, doymamış koşullarda üç eksenli deneyler yapabilmek için klasik üç eksenli deney düzeneği geliştirilmiş ve doymamış koşullarda konsolidasyonlu ve drenajlı deneyler yapılmıştır. Deneylerde örselenmemiş rezidüel killi numuneler kullanılmıştır. Matrik emme eksen kaydırma tekniği kullanılarak kontrol edilmiştir. Zemin numunesi tabanında hava basıncını yükselterek sabit tutmak amacı ile 500 kPa hava giriş değerine sahip seramik disk kullanılmıştır. Zemin numunesinin hacim değişimini ölçmek amacı ile hacim değişim ölçerler (transducer) kullanılmıştır.

2. EKSEN KAYDIRMA YÖNTEMİ

Bu yöntem yüksek matris emme altında gerçekleştirilen doymamış zeminlerin laboratuvar deneylerinin temelini teşkil etmektedir. Doymamış zeminlerde boşluk suyu basıncı, yüksek hava giriş değerine sahip yani çok küçük boşluklara sahip seramik diskler kullanılarak doğrudan ölçülebilmekte veya istenilen bir değerde kontrol edilebilmektedir.

Şekil 1'de eksen kaydırma yönteminin uygulaması görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi zeminin altına ve zemin ile temas halinde bulunan bir seramik disk yerleştirilmiştir. Bu disk doymamış durumda iken 2 bar'dan küçük basınca sahip havayı geçirmemektedir. Bununla birlikte bu disk suyu geçirmektedir. Böylece zemin içindeki boşluk suyu artan ortam basıncı nedeniyle seramik diskin içinden geçerek drene olabilmektedir. Artan hava basıncı seramik disk içinden geçemediğinden zemin içindeki boşluklara dolan havanın basıncı sabit kalmaktadır. Seramik diskin altındaki su eğer atmosfere açıksa ve zemin içindeki boşluk suyu uygulanan hava basıncından dolayı drenajı sona erene kadar beklenildi ise uygulanan hava basıncı (u_a) zeminin o andaki matris emmesi olarak kabul edilmektedir. Eğer seramik diskin altındaki su bölmesi drenaja açık değilse, boşluk suyu basıncı ölçülmeli ve dengeye ulaştığında, ($u_a - u_w$) değeri matris emmeye eşit kabul edilir.



Şekil 1. Eksen kaydırma yöntemi kullanarak ile boşluk suyu basıncının ölçülmesi (1).

Bu yöntemde her ne kadar havanın seramik diskten geçmediği söylene de havanın suyun içinde çözünmesi sebebiyle bir müddet sonra difüzyon yoluyla geçebilmektedir. Çözünen bu hava zemin içindeki hava basıncını etkilememektedir. Ancak zemin içindeki çıkan suyun miktarı ölçülmek istendiğinde hatalar vermektedir. Bu nedenle boşluk suyu hacim ölçmeleri yapılırken belli sürelerde sızan havanın da hacmi

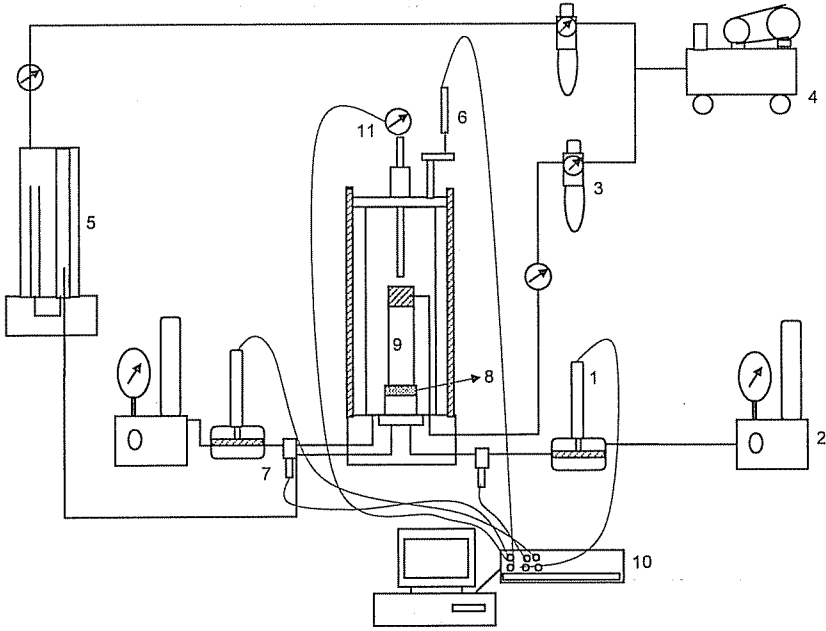
ölçülmelidir ve gerekli düzeltmeler yapılmalıdır. Sızan havanın ölçülmesi için iki tane büretten oluşan kapalı bir sistem kullanılmaktadır.

3. DENEY DÜZENEGİ

Doymamış zeminlerin gerilme-şekil değiştirme davranışlarını yorumlamak için üç eksenli veya kesme kutusu deney sonuçları kullanılmaktadır. Bu deneyler matrik emmeler kontrol edilerek gerçekleştirilir (1,6,7). Bu çalışmada klasik üç eksenli deney düzeneği modifiye edilerek deneyler yapılmıştır. Düzenek, eksen kaydırma yöntemi kullanılarak boşluk suyu ve boşluk hava basıncının kontrol edilmesine olanak sağlayabilmektedir. Zemin içinde istenilen matrik emme değerini sağlayabilmek için zemin numunesi altına 500 kPa hava giriş değerine sahip seramik disk epoksi kullanılarak monte edilmiştir. Seramik diskin altında boşluk suyunun sürekliliğini sağlamak için bir su odacığı oluşturulmuştur. Boşluk suyu basıncı ve değişimi bu odacık vasıtası ile ölçülmüştür. Doymamış zeminlerde toplam hacim değişimi numune içinden çıkan su ve hava hacmine eşittir. Ancak hava hacmini ölçmek oldukça zordur. Bu nedenle doymamış zeminlerin hacim değişimleri için, toplam ve boşluk suyu hacim değişimleri ölçülerek değerlendirilmeler yapılır. Hava hacmi, toplam hacim ile su hacmi arasındaki fark olarak alınır. Bu çalışmada numuneden çıkan suyun hacmi elektronik algılayıcılar (volume change transducer) tarafından ölçülmüştür. Bu algılayıcılar boşluk suyu hacmini elektriksel olarak ve $0,01 \text{ cm}^3$ hassasiyette algılayarak bilgisayar ortamına aktarmaktadır. Diğer bir hacim ölçme transducer'i üç eksenli hücresi ile hücreye sabit su basıncı sağlayan alet arasına bağlanmıştır. Konsolidasyon veya kesme sırasında numune hacmindeki değişme sebebiyle, sabit basınç sağlayan aletten hücre içerisine su girişi veya çıkışı sözkonusu olacaktır. Su miktarındaki değişim bahsedilen transducer'ler vasıtasıyla ölçülmüştür. Ölçülen bu miktarı ise numunenin toplam hacim değişimi olarak alınmıştır. Numunenin üzerine uygulanan hava basıncından dolayı lastik membrandan bir miktar hava su içerisine sızmaktadır. Bunu önlemek için numuneler çift membran içine alınmış ve iki membran arasına da yine çift alimünyum folyo konulmuştur. Ayrıca alimünyum folyo arasına da silikon gress yağı konulmuştur (8).

Deney düzeneği ve tesisat şeması Şekil 2'de gösterilmiştir. Sistem genel olarak modifiye edilmiş üçeksenli hücresi, basınç ve hacim kontrol ve ölçme sistemleri, su ve hava bağlantılarının sağlayan tesisat ve data toplama sisteminden oluşmaktadır. Deneyler sırasında dataların elde edilip bilgisayar ortamına aktarılması için ELE firması tarafından imal edilen Data logger ve Dialog isimli program kullanılmıştır.

Zemin numunesi altına konulan seramik diskten hava giriş değeri aşılmadığı sürece hava, geçmemesine rağmen havanın suyun içinde çözülmesi sebebiyle belli bir süre sonra hava difüzyon ile geçmektedir. Sızan bu havanın ölçülüp numuneden çıkan su miktarından çıkarılması gerekmektedir. Bu amaçla Fredlund ve Rahardjo (1) tarafından önerilen sızan hava hacim ölçer imal edilmiştir. Bu düzenek birbirine bağlı iki büretten oluşmaktadır. Büretlerden birinin ucu açık diğerinin ucu kapalı şekilde bir hücre içerisine monte edilmiştir. Bu düzeneğin diğer detayları Fredlund ve Rahardjo (1) tarafından verilmiştir. Boşluk suyu hacmi, ölçülen sızan hava hacmi ile düzeltilmiştir.



- | | |
|--|----------------------------|
| 1-hacim değişim ölçer | 7-boşluk suyu basınç ölçer |
| 2-sabit basınç sağlar | 8-seramik disk |
| 3-hava basınç düzenleyicisi | 9-zemin numunesi |
| 4-kompresör | 10-data logger |
| 5-sızan havanın ölçülmesi için düzenek | 11-düşey yük ölçer |
| 6-düşey deformasyon ölçer | |

Şekil 2. Doymamış koşullarda üç eksenli düzeneği

4. DENEYDE KULLANILAN ZEMİNİN ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada, Diyarbakır'dan alınan reziduel killi zemin örnekleri kullanılmıştır. Zemin numunesinin alındığı bölgedeki mevcut kil formasyonu kalın bir bazalt tabakası üzerinde bulunmaktadır ve derinliği 1 m-9 m arasında değişmektedir. Bu bölgede yarı kurak bir iklim koşulu ve güçlü bir yaz buharlaşması söz konusudur. Oldukça fisürlü olan zemin üzerinde yapılan x-ray difraksiyon analizi sonucunda hakim kil minerallerin semektit ve klorit olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca kuvars, kalsit ve feldspat mineralleride içermektedir. Zeminin geoteknik özellikleri Tablo 1' de özetlenmiştir. Hem doygun

hemde doymamış üç eksenli deneylerde 50 mm çapında, 100 mm boyunda örselenmemiş zemin numuneleri kullanılmıştır.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan zeminin geoteknik özellikleri

Likit Limit (%)	77
Plastik Limit (%)	32
200 nolu elekten geçen (%)	95
<0.001 mm (%) (Colloidal içerik)	55
Aktivite	0.79
Hacimsel rötre (%)	9.5
Kuru birim ağırlık (kN/m^3)	14.81

5. DENEY PROGRAMI

5.1. Doymun Koşullardaki Üç Eksenli Deney

Zemin numunesinin doymun koşullardaki kayma mukavemeti özelliklerini belirlemek için klasik üç eksenli deney yapılmıştır. Deneyler örselenmemiş numuneler üzerinde Konsolidasyonlu ve drenajlı (CD) olarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerden önce zemin numuneleri B_w katsayısı 0,9 'u aşana kadar üst tarafından doyurulmuştur. Bu amaçla hücre basıncı ve geri basınç kademeli olarak artırılmıştır. İki basınç arasında 10 kPa lık bir fark oluşturulmuştur. Doyurma işleminden sonra bir hücre basıncı ile drenajlı olarak konsolidasyon yapılmıştır. Konsolidasyondan sonra yine drenajlı olarak ve 0,004 %/min hızı verilerek numuneler yüklenmiştir.

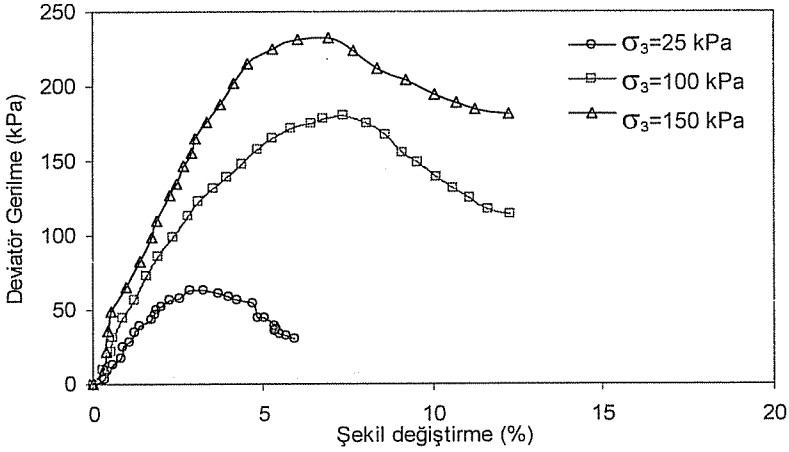
5.2. Doymamış Koşullarda Üç Eksenli Deney

Toplam 12 adet doymamış koşullarda üç eksenli deney gerçekleştirilmiştir. Numunelerin başlangıçta matrik emme basınçlarını sıfıra eşitlemek için numuneler doyurulmuştur. Doyurma işlemi doymun koşullardaki ile aynıdır. Doyurma işleminden sonra, numune üzerinden hava basıncı uygulanmış ve belirli bir hücre basıncı altında konsolide edilmiştir. Konsolidasyon sırasında numunenin toplam hacim değişimi ve çıkan su miktarı hacim ölçerler (volume change transducer) vasıtası ile kaydedilmiştir. Numunenin toplam hacmindeki değişime sona erene kadar ve matrik emme dengesine ulaşincaya kadar konsolidasyon işlemi devam edilmiştir.

Gerilme ve matrik emme dengesi sağlandıktan sonra şekil değiştirme hızı 0,004 %/min olacak şekilde düşey yükleme yapılmıştır. Bu şekil değiştirme hızı, suyun drene olması için yeterli kabul edilmektedir (1). Yükleme sırasında da toplam hacim ve boşluk suyu hacim değişimi izlenmiştir. Aynı zamanda belli aralıklarla difüze olan hava hacmi ölçülerek gerekli düzeltmeler yapılmıştır.

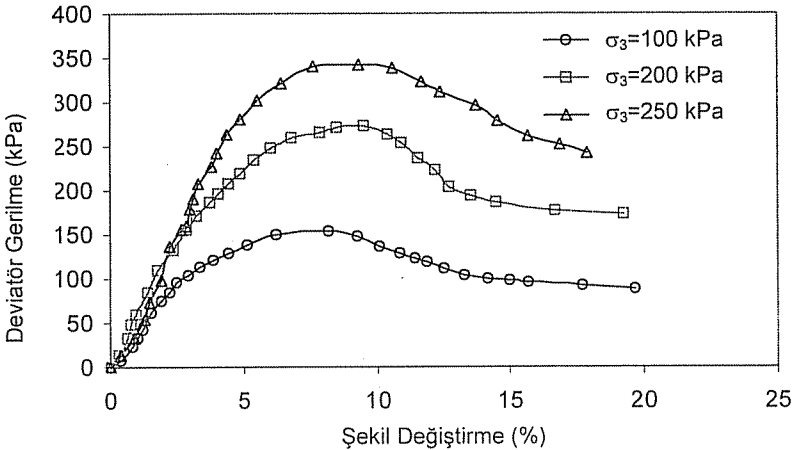
6. DENEY SONUÇLARI

Doygun durumda yapılan üç eksenli deney sonunda elde edilen gerilme şekil değiştirme ilişkisi Şekil 3'de verilmiştir. Bu deneyler sonunda numunenin içsel sürtünme açısı, ϕ , 21.9° ve kohezyon, c , 14.82 kPa olarak bulunmuştur

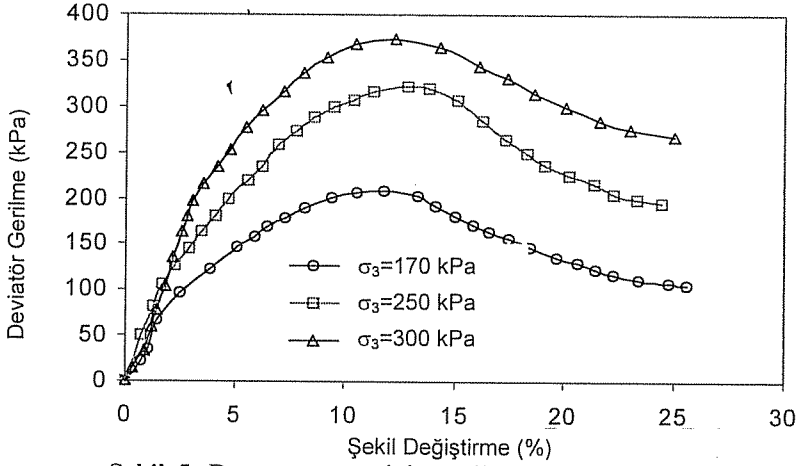


Şekil 3. Doygun numunenin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

Doymamış koşullardaki üç eksenli deneyler için aynı fiziksel özelliklere ve boyutlara sahip 12 adet örselenmemiş zemin numuneleri kullanılmıştır. Deneyler konsolidasyonlu drenajlı olarak gerçekleştirilmiştir. Matrik emme değerleri 50, 100, 200 ve 400 kPa olarak uygulanmıştır. Pratik mühendislikte 0-500 kPa aralığındaki matrik emme basınçları yeterli olmaktadır. Net hücre basıncı ise 50-400 kPa aralığında seçilmiştir.

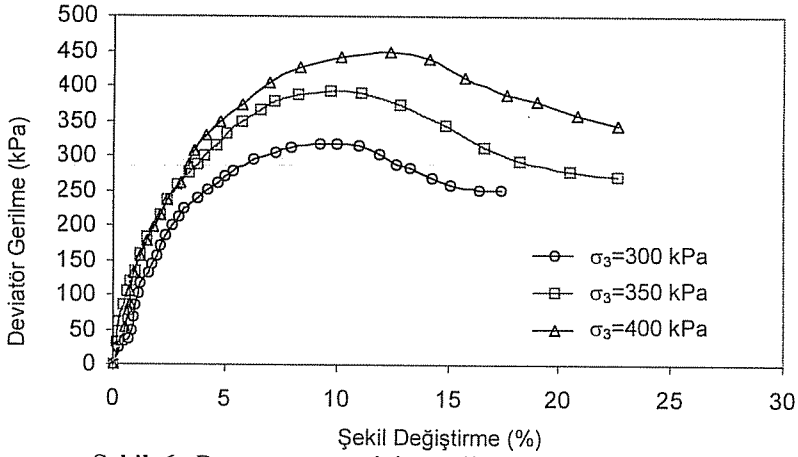


Şekil 4. Doymamış zeminin gerilme şekil değiştirme ilişkisi ($u_a=50$ kPa)

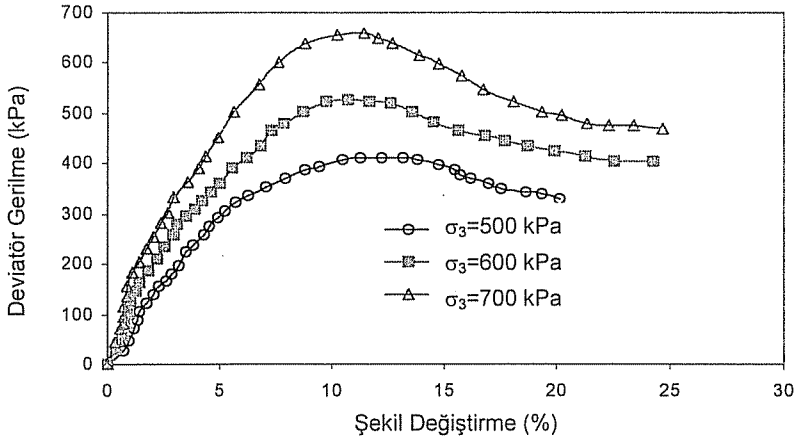


Şekil 5. Doymamış zeminin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi ($u_a=100$ kPa)

Doymamış koşullarda yapılan üç eksenli deneylerden elde edilen deviyatör gerilme şekil değiştirme ilişkileri Şekil 4-7'de görülmektedir. Bu şekillerde tipik 3 aşama görülmektedir. Birinci aşamada deviyatör gerilme küçük şekil değiştirmelerde yüksek oranda artmaktadır. İkinci bölümde deviyatör gerilme daha yavaş yani artış hızı daha yavaş olarak değişmektedir. Üçüncü bölümde ise deviyatör gerilme azalmaktadır. Numunelerin çoğu yaklaşık olarak %11 şekil değiştirmede kırılmıştır.

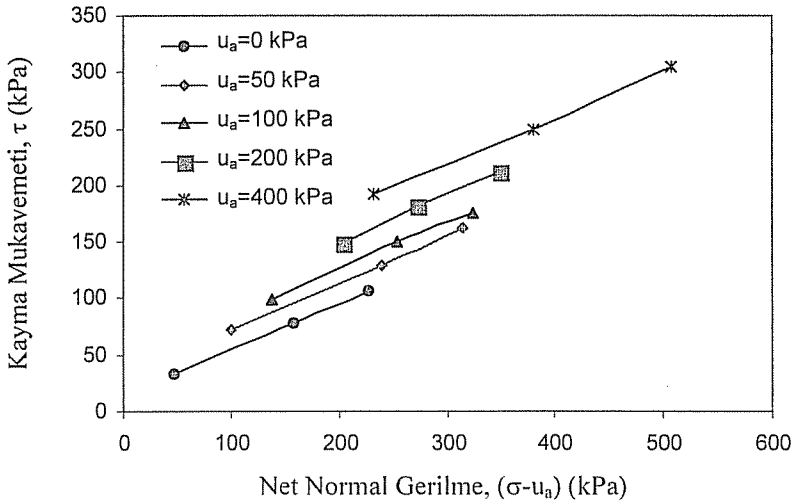


Şekil 6. Doymamış zeminin gerilme şekil değiştirme ilişkisi ($u_a=200$ kPa)



Şekil 7. Doymamış zeminin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi ($u_a=400$ kPa)

Şekil 8. kayma gerilmeleri, τ , ile net normal gerilme, $(\sigma-u_a)$, arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi suya doymun yapılan deneyden elde edilen mukavemet zarfı, doymun olmayan deneyden elde edilen zarflara yaklaşık olarak paraleldir. Sonuç olarak aynı fiziksel özelliklere sahip zeminler üzerinde doymamış koşullarda yapılan mukavemet deneylerinden elde edilen kohezyon değerleri, doymun olarak elde edilen değerden daha büyüktür. Diğer bir deyişle matrik emme mukavemete bir katkıda bulunmaktadır. Bu katkı ise matrik emme değeri ile nonlineer olarak değişmektedir. Tablo 2'de elde edilen ilave kohezyon değerleri görülmektedir.



Şekil 8. Kayma mukavemeti net normal gerilme ilişkisi

Tablo 2. Rezidüel kilin deney sonuçları.

Matrik Emme, ($u_a - u_w$) (kPa)	50	100	200	400
Toplam kohezyon, c_{toplam} (kPa)	35.24	46.72	69.56	98.32
Matrik Emme Katkısı, τ_{us} (kPa)	20.42	31.9	54.74	83.5

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, klasik üç eksenli deney düzeneği geliştirilerek doymamış koşullarda killi zeminler üzerinde üç eksenli deneyler yapılmıştır. Deney düzeneği matrik emmeyi kontrol etme olanağı sağlamaktadır. Bunun için eksen kaydırma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle matrik emmenin kontrol edilmesi, doymamış koşullarda yapılan deneylerin temelini oluşturmaktadır. Ancak deneyler oldukça karmaşık, zahmetli ve uzun zaman almaktadır. Özellikle zemin numunesinin matrik emme dengesine ulaşması için uzun zaman gerekmektedir.

Aynı numuneler üzerinde doygun koşullarda da deney yapılmıştır. Deney sonuçlarından, matrik emmenin kohezyona bir katkı getirdiği gözlenmiştir. Her iki koşulda yapılan deneylerden elde edilen mukavemet zarfları yaklaşık olarak birbirine paralel olduğu görülmüştür.

Eksen kaydırma yönteminin uygulanması için kullanılan yüksek hava giriş değerine sahip seramik disklerin deneylerden önce sağlıklı bir şekilde suya doygun hale getirilmesi matrik emmenin istenilen değerde kontrol edilmesi açısından önemli olduğu deneyler sonunda anlaşılmıştır.

7. KAYNAKLAR

1. Fredlund, D.G. and Rahardjo, H., "Soil mechanics for unsaturated soils", New York, Wiley, 1993.
2. Oberg, A.L. and Salfors, G., "Determination of shear strength parameters of unsaturated silt and sand based on the water retention curve", *Geotechnical Testing Journal*, 20(1), 40-48, 1997.
3. Tekinsoy, M.A., Kayadelen, C., Keskin, M.S. ve Söylemez, M., "An Equation for Predicting Shear Strength Envelope with Respect to Matric Suction", *Computers and Geotechnics*, 31, 589-593, 2004.
4. Vanapalli, S.K., Fredlund, D.G., Pufahl, D.E., Clifton, A.W., "Model for the prediction of shear strength with respect to soil suction", *Can. Geotech. J.* 33:379-392, 1996.
5. Oloo, S.Y. and Fredlund, D.G., "A method for determination of ϕ^b for statically compacted soils", *Can. Geotech. J.* 33:272-280, 1996.
6. Ho, D.Y.F. and Fredlund, D.G., "Multi-stage triaxial tests for unsaturated soils", *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, 5, 18-25, 1982.
7. Aversa, S. and Nicotera, M.V., "A triaxial and oedometer apparatus for testing unsaturated soils", *Geotechnical Testing Journal*, 25, (1), 3-15, 2002.
8. Alonso, E.E., Gens, A., Josa, A.A., "A constitutive model for partially saturated soils", *Géotechnique*, 40(3), 405-430, 1990.

FINDIK YAĞI BİYODİZELİ ÜRETİMİ VE DİZEL MOTORLARDA ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Ali KESKİN

G.Ü., Makina Eğitimi Bölümü, Ankara/Türkiye

Kadir AYDIN

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

ÖZET : *Yapılan bu deneysel çalışmada, fındık yağı biyodizelinin üretimi ve dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Fındık yağı biyodizelinin ve dizel yakıtının fiziksel ve kimyasal yakıt özellikleri belirlenip, tek silindirli direk enjeksiyonlu bir dizel motorda 1800–3200 d/d arasında tam yükte teste tabi tutulmuştur. Test esnasında motor performans ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Fındık yağı biyodizelinin tork, güç ve özgül yakıt tüketimi gibi performans değerlerinin dizel yakıtı ile elde edilen değerlere yakın olduğu görülmüştür. CO ve duman emisyonlarında dizel yakıtı değerlerine göre büyük oranda azalmalar tespit edilmiş olup, NO_x emisyonlarında ise özellikle düşük motor devirlerinde dizel yakıtı değerlerine göre artışlar görülmüş ve ayrıca fındık yağı biyodizeli ile yapılan çalışmalarda SO_x emisyonlarına rastlanmamıştır.*

Anahtar Kelimeler : *Biyodizel, Fındık Yağı, Dizel Yakıtı, Dizel Motoru*

INVESTIGATION OF HAZELNUT OIL BIODIESEL PRODUCTION AND USABILITY AS ALTERNATIVE FUEL FOR DIESEL ENGINE

ABSTRACT : *In this experimental study, production of hazelnut oil biodiesel and usability as an alternative fuel for diesel engine were studied. Having determined physical and chemical fuel properties of hazelnut oil biodiesel and diesel fuel, they were tested between 1800 and 3200 rpm at a full load in a single cylinder direct injection diesel engine. During the test, performance and emissions of the engine were measured. According to diesel fuel values, torque, power and specific fuel consumption of the engine with hazelnut oil biodiesel did not show significant variety. CO and smoke emission decreased with hazelnut oil biodiesel, however at particularly low engine speeds, NO_x emissions increased. No SO_x emission in exhaust gas was determined.*

Key Words : *Biodiesel, Hazelnut Oil, Diesel Fuel, Diesel Engine*

1. GİRİŞ

Fosil kökenli enerji rezervlerinin yakın gelecekte tükenme ihtimali, fiyatlarındaki istikrarsızlıklar, kullanım sonunda çevreye verdikleri zararlar ve temininde yaşanan belirsizlikler bir çok devletin yeni enerji kaynakları üzerindeki çalışmalarını yoğunlaştırmasına neden olmuştur. Üzerinde çalışmalar yapılan alternatif enerji kaynaklarından bir tanesi de yenilenebilir özelliğe sahip olan biyodizeldir. Biyodizel, bitkisel yağların, kullanılmış atık yağların veya hayvansal yağların alkol ile uygun bir katalizör kullanılarak kimyasal reaksiyona sokulması sonucu elde edilen esterlere denir. Reaksiyon esnasında bitkisel yağ molekülünün (trigliserit) yapısında bulunan yağ asitleri alkol ile yeni esterler oluştururlar. Reaksiyonun yan ürünü olarak ortaya çıkan gliserin saflaştırılarak parfüm ve kozmetik sanayinde kullanılmaktadır (1-2).

Petrol kökenli dizel yakıtı çoğunlukla karbon sayısı 14-18 arasında değişen yüzlerce farklı hidrokarbon zincirinden oluşmakta ve bünyesinde aromatik hidrokarbon (benzen, toluen, xylene, vb.), kükürt, metaller ve ham petrol artıklarını içermektedir (3).

Biyodizelin kimyasal yapısı, petrol kökenli dizel yakıtından farklıdır. Biyodizel 12 ila 22 arasında karbona sahip hidrokarbon zincirlerinden oluşmakta ve kütlelerinin yaklaşık %10'unu oksijen oluşturmaktadır. Biodizel, yanma verimini ve emisyon oluşumunu olumsuz etkileyen kükürtü, aromatik hidrokarbonları, metalleri ve ham petrol artıklarını bünyesinde içermemektedir (3,4). Isıl değer, yoğunluk ve viskozite değerleri gibi özellikleri dizel yakıtı değerlerine çok yakındır. Ayrıca dizel yakıtına göre yağlama özelliğinin daha iyi, Setan sayısının daha yüksek ve daha az toksik olması önemli yakıt özelliklerindedir (5-7).

Biyodizelin fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki avantajları, motorlarda yanma verimini artırır ve HC, CO, partikül ve SOx emisyonlarında azalmalar sağlamaktadır (8-10). Setan sayısının yüksek olması motorun daha gürültüsüz ve vuruntusuz çalışmasını sağlamaktadır.

Biyodizel, değişiklik yapılmamış herhangi bir dizel motorda, dizel yakıtı ile değişik oranlarda karıştırılarak kullanıldığı gibi %100 oranda da kullanılabilir (11,12).

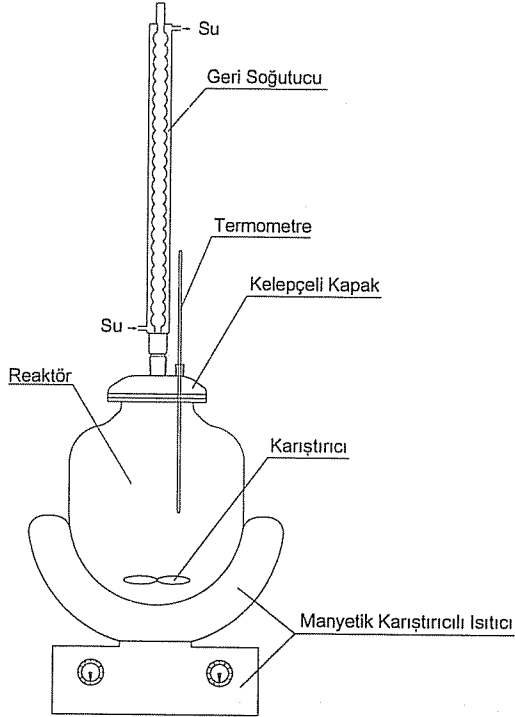
Bu çalışmada, kurulan reaktör düzeneğinde üretilen fındık yağı biyodizeli tek silindirli direk püskürtmeli Lombardini 6LD 400 marka bir dizel motorda 1800-3200 d/d devirler arasında tam yük testine tabi tutulmuştur. Motor performans ve emisyon değerleri ölçülmüş ve dizel yakıtı ile yapılan ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Fındık Yağı Biyodizelinin Üretilmesi ve Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi

Fındık yağı biyodizelinin üretildiği düzenek; 2 litrelik cam reaktör, termometre, geri soğutucu ve termostat kontrollü manyetik karıştırıcılı ısıtıcıdan oluşmaktadır (şekil 1). Reaksiyonda, fındık yağı kütlelerinin %20'si oranında metil alkol ve %0.4'ü oranında katalizör olarak sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Reaksiyon bir saatlik bir sürede ve 50-55 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon sonunda elde edilen ham fındık yağı biyodizelinin pH değeri asetik asit eklenerek 7'ye ayarlanmıştır. Daha sonra gliserinin dibe çöküp faz oluşturması için ürün 8 saat dinlenmeye bırakılmıştır. Dibe çöken gliserin ayırma hunisi ile ayırdıktan sonra elde edilen ürün saf su ile kabarcık yöntemi kullanılarak yıkanmıştır. Yıkama sonrasında biyodizel, içerisinde kalmış

olabilecek sudan arındırılmak için ürün 100°C sıcaklığa kadar ısıtılarak 15 dakika bekletilmiştir.



Şekil 1. Fındık yağı biyodizelinin üretildiği reaktörün şematik görünümü

Üretilen fındık yağı biyodizelinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Otomotiv Anabilim Dalı'na ait Yakıt Analiz Laboratuvarı'nda ASTM test metotları uygulanarak ve TS EN 14214 "Otomobil Yakıtları-Dizel Motorlar için Yağ Asidi Metil Esteri (YAME) - Özellikler ve Deney Yöntemleri" standardına göre belirlenmiştir.

Fındık yağı biyodizelinin, fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek için laboratuvarında kullanılan tüm cihazlar ASTM kalibrasyon numuneleri ile kalibre edilmiş olup, testlerde kullanılan cihazlar aşağıda belirtilmiştir.

- * KOEHLER Saybolt Viskozimetre Cihazı,
- * IKA C2000 Tam Otomatik Kalorimetre Cihazı,
- * ISL CPP 97-2 Soğuk Filtre Tıkanma, Bulutlanma ve Akma Noktası Tayin Cihazı,
- * TANAKA APM-7 Pensky-Martens Kapalı Kap Parlama Noktası Tayin Cihazı,
- * ZELTEX ZX440 Benzin ve Dizel Yakıtı Analiz Cihazı,
- * OXFORD LAB-X 3500 XRF Kurşun-Kükürt Analiz Cihazı,
- * KEM Yoğunluk Ölçme Cihazı

2.2. Deney Motoru ve Diğer Ekipmanlar

Bu çalışmada deney motoru olarak teknik özellikleri çizelge 1’de verilen, tek silindirli 4 zamanlı direk enjeksiyonlu Lombardini 6LD 400 marka bir dizel motoru kullanılmıştır. Fındık yağı biyodizelinin motor performans ve emisyonlarına olan etkilerini belirlemek amacıyla tam yük şartlarında 1800-3200 d/d devirler arasında 200 d/d arayla testler yapılmıştır. Motor testlerinde, performans ve emisyon ölçümlerine geçilmeden önce deney motoru 15 dakika yüksüz çalıştırılıp normal çalışma sıcaklığına getirilmiştir. Tork ve güç değerleri ölçümleri için bir elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Emisyon ölçümlerinde ise VLT 2600S duman cihazı ve Gaco-SN marka gaz analiz cihazları kullanılmıştır.

Çizelge 1. Deney motorunun teknik özellikleri

Marka ve model	Lombardini 6LD 400
Çalışma prensibi	4 zamanlı, direkt enjeksiyonlu
Silindir sayısı	1
Silindir hacmi	395 cm ³
Silindir çapı	86 mm
Strok	68 mm
Sıkıştırma oranı	18:1
Enjektör püskürtme basıncı	200 bar

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Fındık yağı biyodizeli ve deneyde kullanılan dizel yakıtının fiziksel ve kimyasal özellikleri çizelge 2’de verilmiştir. Fındık yağı biyodizelinin dizel yakıtına göre, daha yüksek parlama noktası ve Setan sayısı değerlerine sahip olması ve kükürt içermemesi en önemli yakıt avantajlarından biridir. Bunun yanı sıra kinematik viskozite, ısıl değer, akma noktası ve yoğunluk değerleri dizel yakıtı değerlerine yakındır.

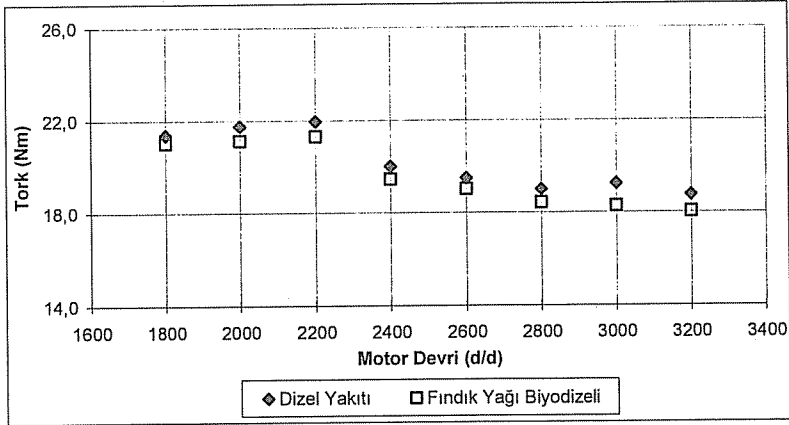
Çizelge 2. Fındık yağı biyodizelinin ve dizel yakıtının fiziksel ve kimyasal özellikleri

	Fındık Yağı biyodizeli	Dizel Yakıtı
Kinematik Viskozite (cSt) (38 °C)	5.1	2.6
Yoğunluk (kg/l)	0.863	0.837
Setan Sayısı	52	46
Alt ısı Değeri (kJ/kg)	39754	44116
Parlama Noktası (°C)	180	72
Kükürt (Kütlesel) (%)	0	0.2579
Akma Noktası (°C)	-15	-20

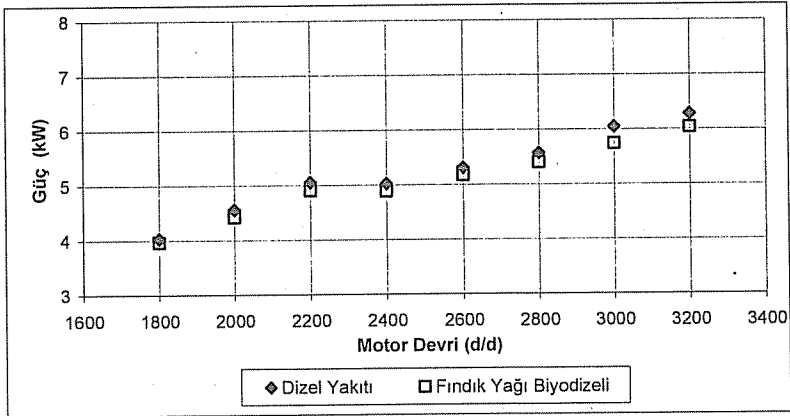
Şekil 2’de görüldüğü gibi fındık yağı biyodizeli ile elde edilen motor tork karakteristik eğrisi dizel yakıtı ile elde edilen eğriye göre çok önemli bir değişim göstermemiştir. Ölçüm yapılan bütün devirlerde fındık yağı biyodizelinin tork değerleri dizel yakıtı değerlerinden daha düşük ölçülmüştür ve düşme miktarı yüksek motor devirlerinde daha fazla olmuştur. Dizel yakıtı ve fındık yağı biyodizeli için maksimum tork değeri 2200 d/d’da sırasıyla 22 Nm ve 21.3 Nm olarak ölçülmüştür. Maksimum

azalma miktarı 3000 d/d'da %5.18'dir. Torktaki ortalama azalma miktarı ise %3.22'dir. Fındık yağı biyodizelinin tork değerinin dizel yakıtına nazaran düşük çıkmasının nedeninin, fındık yağı biyodizelinin ısıl değerinin dizel yakıtına oranla daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Fındık yağı biyodizeli ile yapılan ölçümlerde motor güç değerleri bütün motor devirlerinde dizel yakıtı değerlerine göre azalma göstermiş ve bu azalma miktarı genel olarak motor devrindeki yükselmeye bağlı olarak artış eğilimi göstermiştir (şekil 3). Bu azalmalar ısıl değer farklılığından kaynaklanmıştır. Maksimum tork devrinde fındık yağı biyodizeli ile yapılan ölçümlerde güç değerinde %3.12 düşme olmuştur. Dizel yakıtı ve fındık yağı biyodizelinin için maksimum güç değerleri 3200 d/d'da sırasıyla 6.3 kW ve 6.03 kW olarak ölçülmüştür. Fındık yağı biyodizeli ile dizel yakıtına göre meydana gelen maksimum azalma miktarı 3000 d/d da %5.12'dir. Ortalama azalma miktarı ise %3.10'dur.

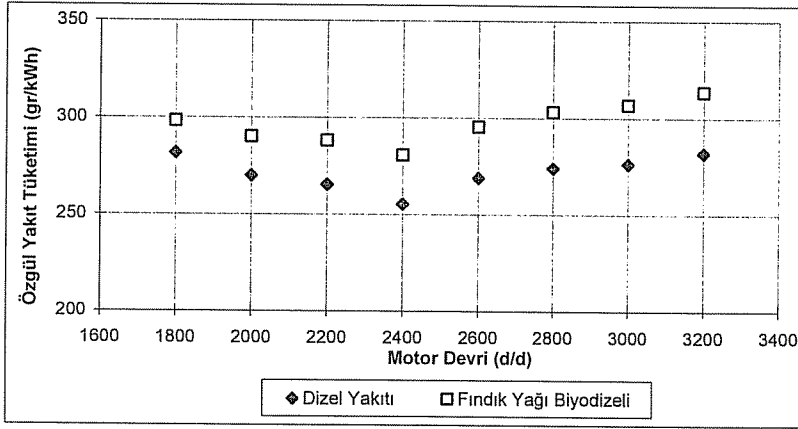


Şekil 2. Dizel yakıtı ve fındık yağı biyodizelinin tork değerlerinin motor devrine bağlı değişimi



Şekil 3. Dizel yakıtı ve fındık yağı biyodizelinin güç değerlerinin motor devrine bağlı değişimi

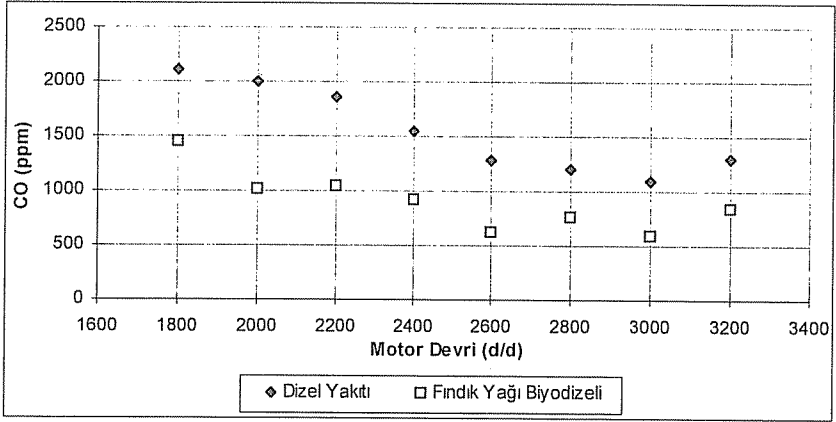
Dizel yakıtı ve fındık yağı biyodizelinin özgül yakıt tüketimi değerleri şekil 4'de görülmektedir. Fındık yağı biyodizelinin yakıt özelliklerindeki avantajları yanma verimini arttırmıştır. Bu nedenle özgül yakıt tüketimi değerlerindeki artışlar genellikle ısı değer farkından daha az olmuştur. Minimum artış miktarı 1800 d/d'da %5.62, maksimum artış miktarı ise 3000 d/d'da %11.24'dür. Fındık yağı biyodizelinin özgül yakıt tüketimi değerlerinin dizel yakıtına göre ortalama artış oranının %9.24 olduğu tespit edilmiştir. Dizel yakıtı ve fındık yağı biyodizeli için en düşük özgül yakıt tüketimi değeri 2400 d/d'da sırasıyla 255 gr/kWh ve 281 gr/kWh olarak ölçülmüştür.



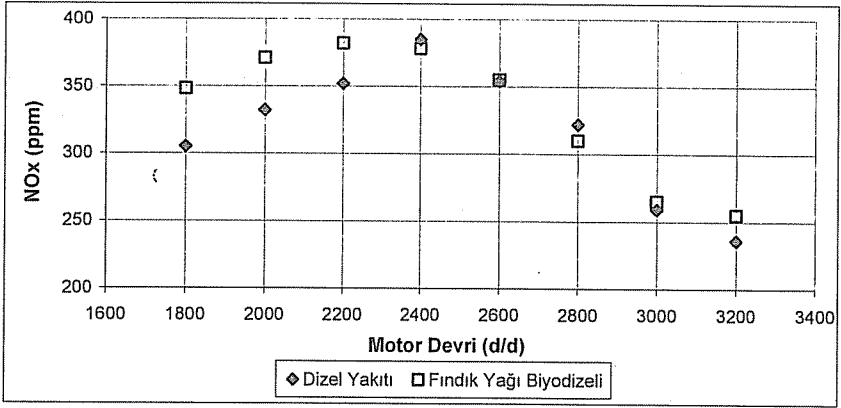
Şekil 4. Dizel yakıtı ve fındık yağı biyodizelinin özgül yakıt tüketimi değerlerinin motor devrine bağlı değişimi

Fındık yağı biyodizelinin CO emisyonları, dizel yakıtı değerlerine göre bütün devirlerde daha düşük ölçülmüştür (şekil 5). Maksimum tork devri olan 2200 d/d'da dizel yakıtı ve fındık yağı biyodizeli için CO emisyonları sırasıyla 1852 ppm ve 1050 ppm olarak ölçülmüştür. Fındık yağı biyodizeli ile elde edilen maksimum azalma 2000 d/d'da %48.74, minimum azalma ise 3600 d/d'da %34'dür. CO emisyonlarındaki azalmanın ana nedeni fındık yağı biyodizelinin molekül yapısında %10 civarında oksijen bulunması ve Setan sayısının dizel yakıtına göre daha yüksek olmasıdır.

Biyodizel yakıtların bünyelerindeki oksijen oranına bağlı olarak NO_x emisyonları dizel yakıtı değerlerine göre artış eğilimleri gösterebilmektedir (13). Çünkü oksijen yanma verimini arttırdığı için yanma sonu sıcaklığını yükselmekte ve azot gazının oksitlenerek NO_x emisyonlarına dönüşmesinde etkili olabilmektedir. Fındık yağı biyodizeli ile ölçülen NO_x emisyonu değerleri şekil 6'da görüldüğü gibi dizel yakıtı değerlerine göre çoğunlukla daha yüksektir. 2400 ila 3000 d/d devirler arasında fındık yağı biyodizeli ile ölçülen NO_x emisyonu değerleri dizel yakıtı değerlerine yakındır. Fındık yağı biyodizelinin NO_x emisyonlarında dizel yakıtı değerlerine göre meydana gelen maksimum artış 1800 d/d'da %14.09 oranındadır. Motorun düşük devirlerinde volümetrik verimin daha yüksek olması, NO_x emisyonlarını arttırıcı yönde etkilemiştir.

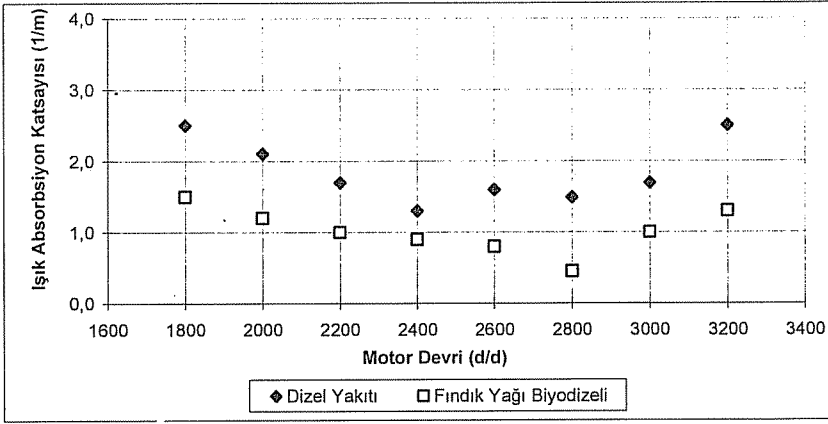


Şekil 5. Dizel yakıtı ve fındık yağı biyodizelinin CO emisyonları değerlerinin motor devrine balı değişimi



Şekil 6. Dizel yakıtı ve fındık yağı biyodizelinin NO_x emisyon değerlerinin motor devrine balı değişimi

Dizel yakıtı ve fındık yağı biyodizelinin ışık absorpsiyon katsayısı değerleri değişimleri şekil 7'de görülmektedir. Işık absorpsiyon katsayısı, egzoz gazı içerisinde bulunan ve şeffaf olmayan parçacıkların, gazdan geçen ışığın aydınlatma şiddetini azaltması ile ilgili bir katsayıdır. Dizel yakıtı ile ölçülen en düşük değer 2400 d/d'da 1.3 1/m iken fındık yağı biyodizeli ile ölçülen en düşük değer 2800 d/d'da 0.5 1/m'dir. Fındık yağı biyodizelinin ışık absorpsiyon katsayısı dizel yakıtına göre %30.76 ila %66.67 arasında azalma göstermiştir. Işık absorpsiyon katsayısındaki azalma nedeni fındık yağı biyodizelinin moleküler yapısında %10 civarında oksijen bulunması ve Setan sayısının dizel yakıtına göre daha yüksek olmasıdır. Ayrıca tüm biyodizelerde olduğu gibi fındık yağı biyodizelinin de kükürt içermemesi ışık absorpsiyon katsayısı değerinin daha düşük çıkmasında etkili olmuştur.



Şekil 7. Dizel yakıtı ve fındık yağı biyodizelinin ışık absorpsiyon katsayısı değerlerinin motor devrine balı değişimi

4. SONUÇLAR

Fındık yağı biyodizelinin yenilenebilir olması, bünyesinde kükürt, aromatik hidrokarbonları ve ham petrol artıklarını içermemesi, dizel yakıtına göre yağlama özelliğinin daha iyi olması, Setan sayısının ve parlama noktasının daha yüksek olması ve ayrıca ısıl değer, yoğunluk, akma noktası ve viskozite değerleri gibi fiziksel özelliklerinin de dizel yakıtı değerlerine çok yakın olması alternatif dizel yakıtı olarak kullanımında en önemli avantajlarıdır.

Fındık yağı biyodizeli ile elde edilen motor performans değerleri dizel yakıtı değerlerine yakındır. Fındık yağı biyodizeli kullanımında tork ve güç değerlerinde meydana gelen ortalama azalma miktarı sırasıyla % 3.22 ve %3.10 oranında olmuştur. Fındık yağı biyodizelinin özgül yakıt tüketimi değerlerinin büyük oranda ısıl değerinin düşük olmasından dolayı artış göstermiştir. Özgül yakıt tüketiminde ortalama artış miktarı % 9.24'dür. Fındık yağı biyodizeli ile CO emisyonlarında %48.74 ve ışık absorpsiyon katsayısı da %66.67'ye varan azalmalar sağlanırken, NO_x emisyonlarında ise %14.90 kadar varan artışlar görülmüştür. Bununla birlikte fındık yağı biyodizeli ile yapılan ölçümlerde SO_x emisyonları da tespit edilmemiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Keskin,A., "Tall Yağı Esaslı Biyodizel ve Yakıt Katkı Maddesi Üretimi ve Bunların Dizel Motor Performansı Üzerindeki Etkileri", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 2005.
2. İlkılıç,C. and Yücesu, H.S., "Investigation of the Effect of Sunflower Oil Methyl Esther on the Performance of a Diesel Engine", Energy Sources, 27:1225 – 1234, 2005
3. Wedel,R.V., "Technical handbook for Marine Biodiesel", National Renewable Energy Laboratory, 1-5, USA, 1999.
4. Altın,R., "Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 1998.

5. Acaroğlu, M., "Alternatif Enerji Kaynakları", Atlas Yayın Dağ, s.229-226, İstanbul, 2003.
6. Kalligeros, S., Zannikos, F., Stournas, S., Lois, E., Anastopoulos, G., Teas, C., and Sakellaropoulos, F., "An investigation of using biodiesel/marine diesel blends on the performance of a stationary diesel engine", *Biomass and Bioenergy*, 24; 141-149, 2003.
7. Van Gerpen, V, J., Shanks, B., Pruszko, R., Clement, D. and Knothe, G., "Basics of Biodiesel Production", *Biodiesel Production Technology*, NREL/SR-510-36244, Colorado, 1-22 (2004).
8. Silva, F.N., Prata, A.S., Teixeira, J.R., "Technical feasibility assessment of oleic sunflower methyl ester utilisation in diesel bus engines", *Energy Conversion and Management* 44; 2857-2878, 2003.
9. Yamık, H., "Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkânlarının Araştırılması", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 2002.
10. Oğuz, H., "Tarım kemsinde yaygın olarak kullanılan dizel motorlarda Fındık Yağı Biyodizelinin Yakıt olarak Kullanım imkanlarının incelenmesi" Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 2005.
11. Schumacher, L., Borgelt, S.C., Hires, W.G., Wetherell, W., ve Nevils, A., "100,000 Miles of Fueling 5.9L Cummins Engines with 100% Biodiesel", *Society of Automotive Engineers*, USA, 1996.
12. Kinast, J.A. "Production of Biodiesel From Multiple Feedstocks and Properties of Biodiesels and Biodiesel/Diesel Blends", *Final Report*, NREL National Renewable Energy Laboratory, 2003.
13. Rakopoulos, C. D., "Comparative performance and emission studies when using olive oil as a fuel supplement in DI and IDI diesel engines", *Renewable Energy*, 2(3): 327-331 (1992).

TALL YAĞI BİYODİZELİ ÜRETİMİ VE BUNUN DİZEL MOTOR PERFORMANSI VE EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Ali KESKİN

G.Ü., Makina Eğitimi Bölümü, Ankara/Türkiye

Kadir AYDIN

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

ÖZET : *Bu çalışmada, kağıt fabrikalarında üretim esnasında yan ürün olarak ortaya çıkan tall yağından biyodizel üretimi ve bunun motor performansı ve emisyonuna olan etkileri araştırılmıştır. Ham tall yağı ilk önce distilasyon yöntemi ile reçine ve yağ asitlerine ayrılmıştır. Tall yağı yağ asitlerinden metil ester (Biyodizel) üretilip, fiziksel ve kimyasal özellikleri ölçülmüştür. Üretilen tall yağı biyodizeli tek silindri direkt püskürtmeli bir dizel motorunda tam yük şartlarında performans ve emisyon testine tabii tutulmuştur. Dizel yakıtı değerlerine göre, tall yağı biyodizelinin tork ve güç değerlerinde sırasıyla %2.72 ve %2.59'e varan oranlarında azalmalar görülmüştür. Tall yağı biyodizelinin kullanımı CO emisyonlarında %37.27, is emisyonlarında ise %12.5'e varan azalmalar sağlamıştır. Bununla birlikte NO_x emisyonların da %18.98'e kadar varan artışlar görülmüştür.*

Anahtar Kelimeler : *Biyodizel, Tall Yağı, Yağ Asidi, Dizel Yakıtı, Dizel Motoru*

PRODUCTION OF TALL OIL BIODIESEL AND THE EFFECTS ON PERFORMANCE AND EMISSIONS OF A DIESEL ENGINE

ABSTRACT: *In this study, production of tall oil biodiesel and usability as alternative fuel for diesel engine were investigated. Tall oil is a by-product in the pulp manufacturing by craft or sulphate pulping process. Initially, fatty acids and resins acids were distilled from crude tall oil by fractional distillation. Tall oil methyl ester (biodiesel) was produced from tall oil fatty acids. Fuel properties of tall oil biodiesel were measured. Therefore, tall oil biodiesel was tested between 1800 and 3200 rpm at full load-different engine speeds in a single cylinder direct injection diesel engine. According to diesel fuel values, torque and power output of the engine with tall oil biodiesel decreased by 2.72% and 2.59%, respectively. Using of tall oil biodiesel, emissions of CO decreased up to 37.27% and also smokes decreased up to 12.5%, however, emissions of NO_x increased by 19.98%.*

Key Words : *Biodiesel, Tall Oil, Fatty Acid, Diesel Fuel, Diesel Engine*

1. GİRİŞ

Son yıllarda ülkemizde fosil kökenli enerji kaynaklarının yerini alabilecek, çevreye karşı daha duyarlı, yerel ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde daha fazla durulmaya başlanmıştır. Bu kaynaklar güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrojen ve biyokütle enerjisi gibi kaynaklardır. Bu kaynaklardan biyokütle enerjisi, güneş enerjisini bitkilerin fotosentez yolu ile depolanması sonucu oluşan bitkisel ürünlerdir. Bol güneş alan ve geniş tarım alanlarına sahip ülkemiz için gelecek vaat etmektedir. Bu enerji çeşitlerinden, bitkisel ya da hayvansal yağ kökenli olan biyodizel, en fazla gündemde olanıdır. Biyodizel, dizel motorlarda herhangi bir değişikliğe gidilmeden direk olarak yada dizel yakıtı ile belirli oranlarda karıştırılarak kullanılabilir. (1).

Biyodizel, bitkisel yağların, kullanılmış atık yağların veya hayvansal yağların alkol ile uygun bir katalizör kullanılarak kimyasal reaksiyona sokulması sonucu elde edilen esterlere denir. Reaksiyon esnasında bitkisel yağ molekülünün (trigliserit) yapısında bulunan yağ asitleri alkol ile yeni esterler oluştururlar. Gliserin, reaksiyonun yan ürünü olarak ortaya çıkar, saflaştırılıp parfüm ve kozmetik sanayi gibi alanlarda değerlendirilebilmektedir (1).

Biyodizelin kimyasal yapısı petrol kökenli, dizel yakıtından farklıdır. İçerisinde bulunan hidrokarbon zincirlerinin yanı sıra ağırlığının yaklaşık %11'ini oksijen oluşturur (2). Biyodizel, dizel motor yanma verimini ve emisyon oluşumunu olumsuz etkileyen kükürt'ü, aromatik hidrokarbonları, metalleri ve ham petrol artıklarını bünyesinde içermez (3). Biyodizel dizel yakıtına göre yağlama özelliğinin daha iyi, Setan sayısının daha yüksek ve daha az toksik olması önemli avantajları iken, viskozitesinin yüksek olması ve soğuk davranış özelliklerinin kötü olması ise dezavantajlarıdır (4).

Bu çalışmada üzerinde çalışılan tall yağı, kağıt fabrikalarında proses sonunda ortaya çıkan bir yan ürün olup büyük oranda bitkisel yağ asitleri ve reçine asitlerinden oluşur. Tall yağı 10-15 yıl öncesine kadar değeri bilinmeyip deniz tabanına deşarj edilerek çevre katliamı yapılırken, günümüzde ise ekonomik değere sahip hale gelmiştir. Halen fiyatı diğer bitkisel yağlardan çok daha ucuzdur. Yapılan çalışmalarda tall yağı bünyesindeki bitkisel yağ asitleri biyodizel üretiminde kullanılmıştır. Ayrıca reçine ise briket kömür üretiminde bağlayıcı olarak kullanılabilir. (5).

2. TALL YAĞI ÖZELLİKLERİ

Tall yağı büyük oranda reçine ve yağ asitlerinden oluşur. Bununla birlikte bünyelerinde azda olsa sabunlaşmayan maddeler (B-sitesterol) içerirler. Tall yağında yağ asitleri olarak linoleik asit (%40), oleik asit (%50), linolenik asit (%5), stearik asit (%2) ve palmitik asit (%0,1) vardır (5). Tall yağı içerisinde var olan yağ asitlerinin özellikleri çizelge 1'de verilmiştir. Tall yağı reçine asitleri ise abiyetik asit (%27-%37), dehydroabietic asit (%29), neoabiyetik asit (%4-%5), palastrik asit (%10-%14), pimarik asit (%1-%2) ve izopimaric asitten (%8-%15) oluşur (5). Tall yağının kimyasal yapısı ağacın türüne, depoda bekleme süresine, üretim prosesine, ağacın yetiştirildiği coğrafi şartlara ve iklim şartlarına bağlı olarak değişim gösterir. Tall yağının elementel yapısı çizelge 2'de görüldüğü gibi bitkisel yağların yapısı ile benzerlik göstermektedir.

Çizelge 1. Tall yağında bulunan yağ asitlerinin özellikleri (6,7).

Yağ Asitleri	Kapalı Formülü	% Oranı	Çift Bağ Sayısı	Kaynama Sıcaklığı (°C)	Erime Sıcaklığı (°C)
Oleik Asit	C ₁₇ H ₃₃ COOH	50	1	286	16
Linoleik Asit	C ₁₇ H ₃₁ COOH	40	2	202	-5
Linolenik Asit	C ₁₇ H ₂₉ COOH	5	2	230	-11
Stearik Asit	C ₁₇ H ₃₅ COOH	2	0	371	71
Palmitik Asit	C ₁₅ H ₃₁ COOH	0.1	0	349	63

Çizelge 2. Tall yağının elementel analizi (8).

Elementler	(%)
C	79.1
H	9.9
O	11.0

Çizelge 3'de Dalaman ve Çaycuma kağıt fabrikası tall yağı analiz sonucunun değerleri verilmiştir. Bu araştırmada Çaycuma SEKA Kağıt Fabrikasından alınan tall yağı örnekleri üzerinde çalışma yapılmıştır.

Çizelge 3. Dalaman ve Çaycuma kağıt fabrikalarında üretilen tall yağının özellikleri (9)

	Dalaman	Çaycuma
Çift bağ değeri	11.53	10.77
Asit değeri	127.77	116.93
İndene-coumarone muhtevası, kütlece (%)	20.78	19.75
Yağ asitleri, kütlece (%)	24.8	37.0
Reçine asitleri, kütlece (%)	73.4	58.0
Sabunlaşmayan madde, kütlece (%)	1.8	5.0

3. MATERYAL METOT

3.1. Tall Yağından Yağ Asitlerinin Ayrılması

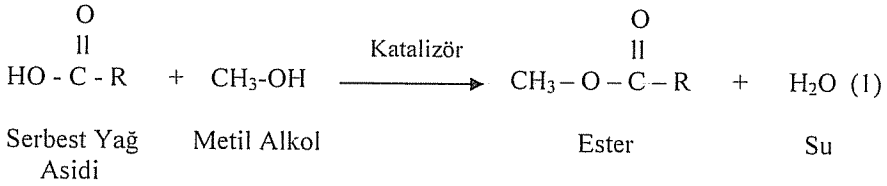
Ham tall yağı yapısında bulunan, yağ asitleri, reçine asitleri ve diğerleri, fraksiyonlu distilasyon yöntemi uygulanarak birbirlerinden ayrılmıştır. Distilasyon düzeneği, 5 lt kapasiteli manyetik karıştırıcılı termostat kontrollü ısıtıcı, 5 lt'lik yüksek sıcaklığa dayanıklı kavanoz şeklinde bir balon, kelepçeli iki boyunlu kapak, 50 cm uzunluğunda düz soğutucu ve 370 °C sıcaklığa kadar ölçüm yapabilen termometreden oluşmaktadır. Distilasyon, ürünlerin buharlaşma sıcaklığı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Distilasyon, sabit ısıda her seferinde aynı miktarda tall yağı kullanılarak yapılmıştır. Değişik sıcaklıklarda distile olan ürünlerin fiziksel ve kimyasal analizleri yapılarak ürünlerin distile oldukları sıcaklıklar belirlenmiştir. Ham tall yağından ilk distile olan ürün su olmuş, daha sonra ise sırasıyla yağ asitleri ve reçine asitleri distile olmuştur.

3.2. Tall Yağı Yağ Asitlerinin Esterleştirilmesi

Yağların (trigliserit) transesterifikasyonunda yaygın olarak kullanılan sodyum hidroksit (NaOH), potasyum hidroksit (KOH) gibi alkali katalizörlerin serbest yağ asitlerinin esterleştirilmesinde kullanımı mümkün değildir. Çünkü alkali katalizörler esterleşme reaksiyonundan çok daha hızlı bir şekilde serbest yağ asitleri ile kimyasal reaksiyona girerek sabun oluşturmaktadırlar. Bu yüzden serbest yağ asitlerinin esterleştirilmesinde sülfürik asit (H₂SO₄) veya hidroklorik asit (HCL) gibi asit katalizörlerin kullanımı daha uygundur (10).

Asit katalizörler ile serbest yağ asitlerinin esterleşme reaksiyonlarında trigliseridin transesterifikasyonunda yan ürün olarak elde edilen gliserin elde edilemez. Aşağıdaki (1) numaralı eşitlikten de görüldüğü gibi bir mol yağ asidinin esterleşme reaksiyonu sonunda bir mol ester ve bir mol su oluşur (11).



Çalışmada esterleşme reaksiyonu, 1 lt'lik reaktörde, serbest yağ asitleri kütlesinin %20'si kadar metil alkol ve %5'i kadar katalizör olarak sülfürik asit (H₂SO₄) kullanılarak, 75 °C sıcaklıkta, 3 saat reaksiyon süresinde, gerçekleştirilmiştir. Kimyasal tepkime sonunda elde edilen ham metil esterin içerisindeki, sülfürik asit ve kimyasal tepkimeye girmeyen maddeleri ayırmak için sodyum bikarbonat çözeltisi ile iki defa yıkanıp ayırma hunileri yardımıyla metil esterden ayrılmıştır. Yıkama sonrası elde edilen metil ester distile edilerek saf metil ester elde edilmiştir. Bu esnada tall yağı metil esteri içerisinde kalan reçine asitleri de bünyeden ayrılmıştır.

Üretilen tall yağı biyodizelinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Otomotiv Anabilim Dalı'na ait Yakıt Analiz Laboratuvarı'nda ASTM test metotları uygulanarak ve TS EN 14214 "Otomobil Yakıtları-Dizel Motorlar için Yağ Asidi Metil Esteri (YAME)-Özellikler ve Deney Yöntemleri" standardına göre belirlenmiştir.

Biyodizellerin, fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek için laboratuarda kullanılan tüm cihazlar ASTM kalibrasyon numuneleri ile kalibre edilmiş olup, testlerde kullanılan cihazlar aşağıda belirtilmiştir.

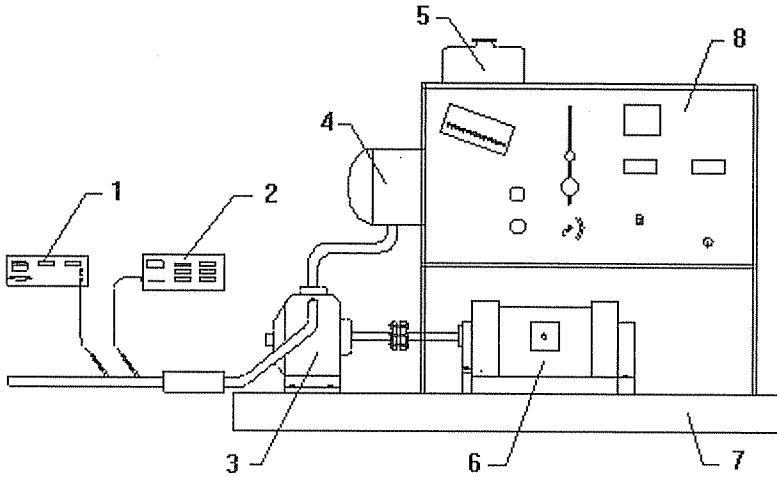
- * KOEHLER Saybolt Viskozimetre Cihazı,
- * IKA C2000 Tam Otomatik Kalorimetre Cihazı,
- * ISL CPP 97-2 Soğuk Filtre Tıkanma, Bulutlanma ve Akma Noktası Tayin Cihazı,
- * TANAKA APM-7 Pensky-Martens Kapalı Kap Parlama Noktası Tayin Cihazı,
- * ZELTEX ZX440 Benzin ve Dizel Yakıtı Analiz Cihazı,
- * OXFORD LAB-X 3500 XRF Kurşun-Kükürt Analiz Cihazı,
- * KEM Yoğunluk Ölçme Cihazı ve ISOLAB Dansitometre.

3.3. Motor Test Düzenegi

Bu çalışmada deney motoru olarak teknik özellikleri çizelge 4’de verilen, tek silindirli 4 zamanlı direkt enjeksiyonlu bir dizel motoru kullanılmıştır. Deney öncesi motor yakıt pompası ve enjektör ayarları orijinal değerlere göre ayarlanmıştır. Tall yağı biyodizelinin motor performans ve emisyonlarına olan etkilerini belirlemek amacıyla motorun tam yük şartlarında 200 dev/dak adımla 1800-3200 dev/dak arasında testler yapılmıştır. Motor testlerinde performans ve emisyon ölçümlerine geçilmeden önce deney motoru 15 dakika yüksüz çalıştırılıp normal çalışma sıcaklığına getirilmiştir. Çalışma ortamının basıncı ve sıcaklığı ölçülerek performans değerleri üzerindeki etkileri dikkate alınmıştır. Tork ve güç ölçümleri için bir elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Emisyon ölçümlerinde ise VLT 2600 S ve Gaco-SN marka emisyon cihazları kullanılmıştır. Deney düzeneginin şematik görünümü şekil 1’de görülmektedir. Her bir deney yakıtı 3 kez test edilmiş ve ölçülen değerlerin ortalamaları alınmıştır.

Çizelge 4. Deney motorunun teknik özellikleri

Marka ve model	Lombardini 6LD 400
Çalışma prensibi	4 zamanlı, direkt enjeksiyonlu
Silindir sayısı	1
Silindir hacmi	395 cm ³
Silindir çapı	86 mm
Strok	68 mm
Sıkıştırma oranı	18:1
Enjektör püskürtme basıncı	200 bar



Şekil 1. Motor test düzeneginin şematik görünümü

1. Dizel emisyon cihazı, 2. Duman ölçüm cihazı, 3. Deney motoru, 4. Hava metre, 5. Yakıt deposu, 6. Dinamometre, 7. Platform, 8. Kontrol paneli

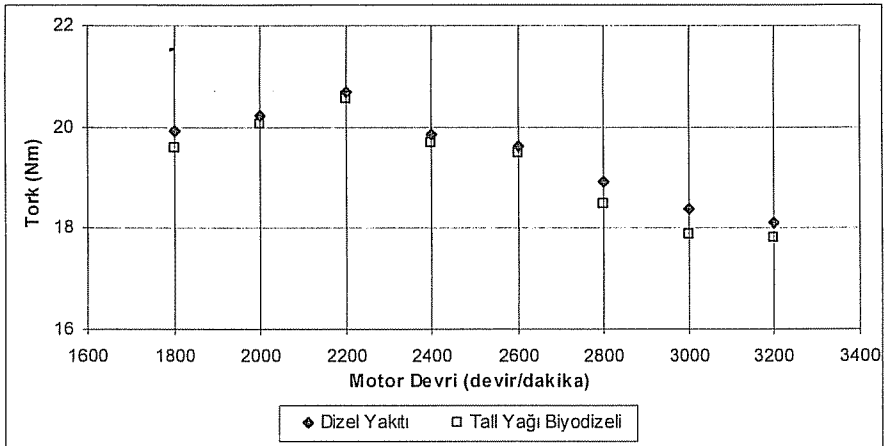
4. DENEY SONUÇLARI

Deneylerde kullanılan dizel yakıtının ve tall yağı biyodizelinin fiziksel ve kimyasal yakıt özellikleri çizelge 5’de verilmiştir. Tall yağı biyodizelinin Setan sayısının dizel yakıtına göre daha yüksek olması ve çok az kükürt içermesi en önemli avantajlarındandır. Tall yağı biyodizelinin akma noktası, bulutlanma noktası ve soğuk filtre tıkanma noktası (CFPP) değerleri diğer birçok biyodizele göre oldukça düşüktür. Bu özellik, kış şartlarında kullanım için avantajlar sunmaktadır.

Çizelge 5. Deneylerde kullanılan yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri.

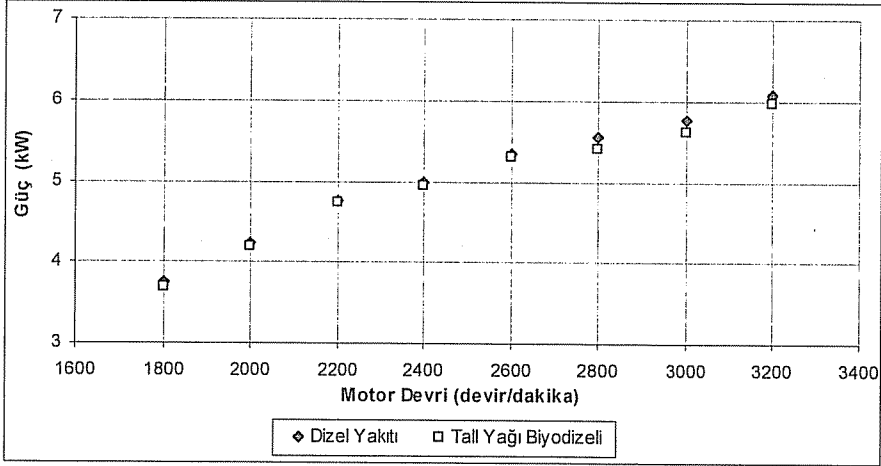
	Dizel Yakıtı	Tall Yağı Biyodizeli
Yoğunluk (kg/m ³) 15°C	835	883
Isıl değer (kJ/kg)	43 760	40 023
Kükürt (wt%)	0.2579	0.0012
CFPP (°C)	-8	-2
Akma Noktası (°C)	-23	-6
Parlama noktası (°C)	73	111
Bulutlanma noktası (°C)	-6	0
Setan sayısı	47	53
Viskozite 40°C (mm ² /sn)	2.6	6.7

Dizel yakıtı ve tall yağı biyodizelinin tork değerleri değişimleri şekil 2’de görülmektedir. Tall yağı biyodizeli ile elde edilen motor tork değerleri, dizel yakıtı ile elde edilen değerlere yakındır. Dizel yakıtı ve tall yağı biyodizeli için maksimum tork değerleri 2200 dev/dak’da sırasıyla 20.70 Nm ve 20.58 Nm olarak ölçülmüştür. Tall yağı biyodizeli değerlerinde, dizel yakıtı değerlerine göre meydana gelen maksimum azalma 3000 dev/dak’da %2.72, ortalama azalma oranı ise %1.41’dir. Tork değerlerindeki azalmanın temel nedeni tall yağı biyodizelinin ısıl değerinin düşük olması ve viskozitesinin yüksek olmasıdır.



Şekil 2. Dizel yakıtı ve tall yağı biyodizelinin tork değerleri değişimleri

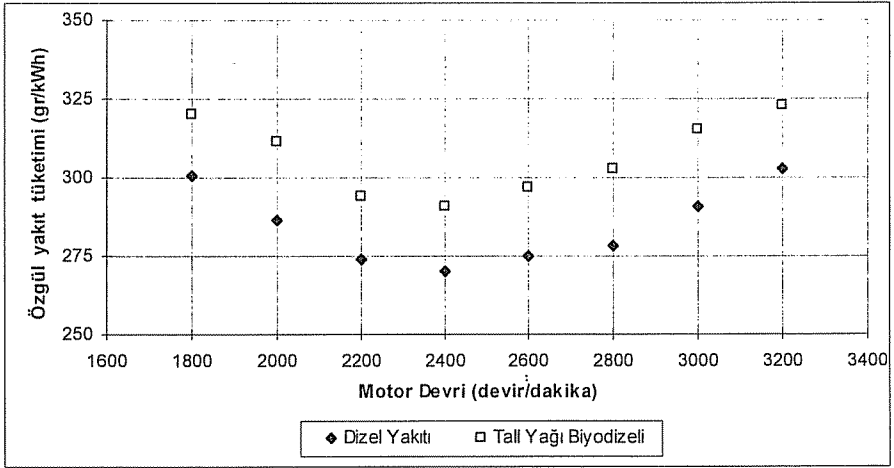
Şekil 3’de dizel yakıtı ve tall yağı biyodizelinin güç değerleri değişimleri görülmektedir. Dizel yakıtı ve tall yağı biyodizeli için maksimum güç değerleri 3200 dev/dak’da sırasıyla 6.07 kW ve 5.97 kW olarak ölçülmüştür. Tall yağı biyodizeli güç değerlerinde, dizel yakıtı değerlerine göre meydana gelen ortalama azalma miktarı %1.43, ölçülen maksimum azalma miktarı ise 3000 dev/dak’da %2.59 oranında olmuştur. Maksimum tork devri olan 2200 dev/dak’da tall yağı biyodizeli güç değeri %0.63 oranında azalma göstermiştir.



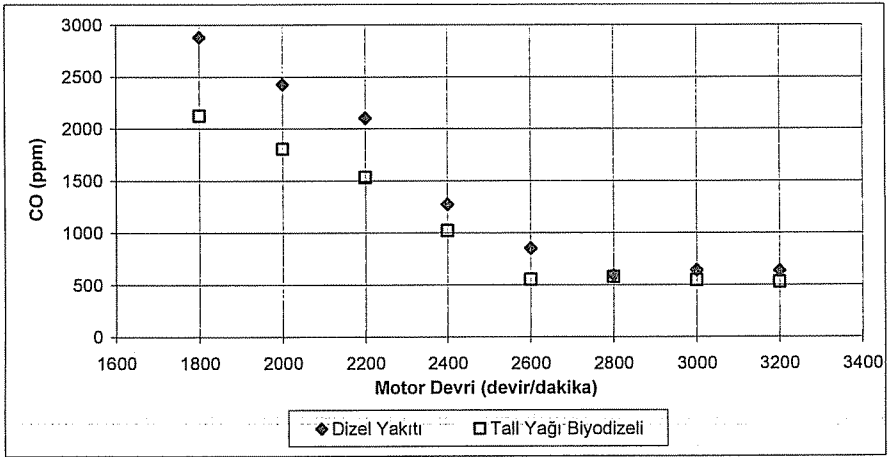
Şekil 3. Dizel yakıtı ve tall yağı biyodizelinin güç değerleri değişimleri

Tall yağı biyodizelinin özgül yakıt tüketimi değerleri şekil 4’de görülmektedir. Tall yağı biyodizeli özgül yakıt tüketimi değerleri dizel yakıtı değerlerine göre artış göstermiştir. Tall yağı biyodizeli ile yapılan testlerde özgül yakıt tüketimi değerlerinde %6.52 ila %8.88 arasında artışlar meydana gelmiştir. Meydana gelen ortalama artış oranı %7.72 dir. Tall yağı biyodizeli ve dizel yakıtı için minimum özgül yakıt tüketimi değerleri 2400 dev/dak’da sırasıyla 290.52 gr/kWh ve 270.07 gr/kWh olarak ölçülmüştür. Özgül yakıt tüketimindeki artışın nedeni tall yağı biyodizelinin ısıl değerinin dizel yakıtına göre daha düşük olmasıdır.

Şekil 5’de görüldüğü gibi tall yağı biyodizeli ile ölçüm yapılan bütün motor devirlerinde dizel yakıtı değerlerine göre daha düşük oranlarda CO emisyonları ölçülmüştür. Tall yağı biyodizeli ile CO emisyonlarında dizel yakıtına göre meydana gelen maksimum azalma 2600 dev/dak’da %37.27 oranında olmuştur. Tall yağı biyodizeli ile ölçülen minimum CO emisyonu değeri 3200 dev/dak’da 528 ppm, dizel yakıtı ile ölçülen değer ise 2800 dev/dak’da 590 ppm’dir. CO emisyonlarının azalmasının en önemli nedenleri tall yağı biyodizelinin moleküler yapısında %11 civarında oksijen bulunması ve motorda kullanım esnasında hava fazlalık katsayılarının dizel yakıtına göre daha yüksek olmasıdır. Bu iki faktör yanma esnasında CO emisyonlarının oksitlenerek CO₂’e dönüşümünde etkili olmuştur.

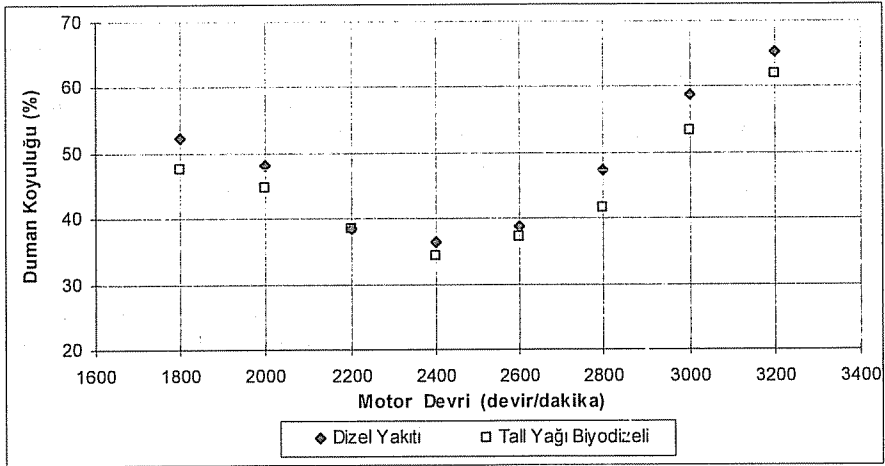


Şekil 4. Dizel yakıtı ve tall yağı biyodizelinin özgül yakıt tüketimi değerleri değişimleri



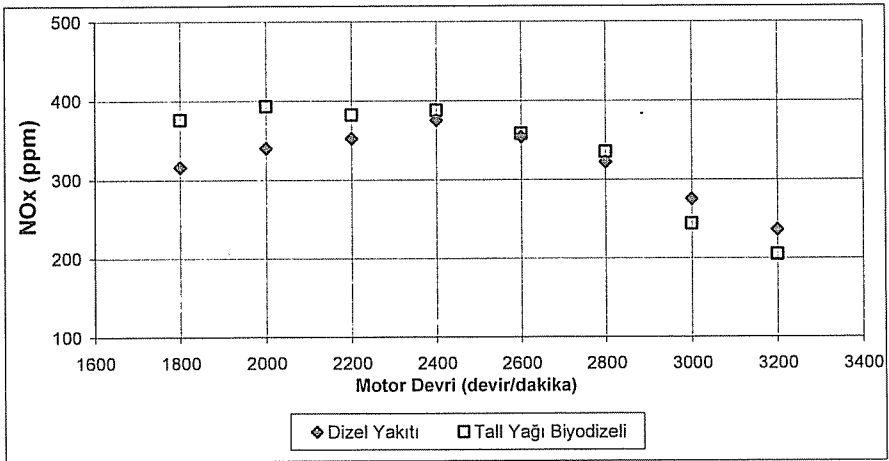
Şekil 5. Dizel yakıtı ve tall yağı biyodizelinin CO emisyonları değerlerinin değişimleri

Duman koyuluğu, egzoz gazı içerisinde bulunan şeffaf olmayan partiküllerin gazdan geçen ışığın aydınlatma şiddetini azaltma yüzdesidir. Tam şeffaf gaz için duman koyuluğu %0, ışığı geçirmeyen bir gaz için ise %100 dür. Tall yağı biyodizelinin duman koyuluğu değerleri özellikle düşük ve yüksek motor devirlerinde azalma eğilimi göstermiştir (şekil 6). Meydana gelen maksimum azalma 2800 dev/dak'da %12.05 oranında olmuştur. Tall yağı biyodizeli ve dizel yakıtı için ölçülen en düşük duman koyuluğu değeri 2400 dev/dak'da sırasıyla 36.5 ve 34.4 olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. Dizel yakıtı ve tall yağı biyodizelinin duman koyuluğu değeri değişimleri

Biyodizel yakıtların bünyelerindeki oksijen oranına bağlı olarak NO_x emisyonları dizel yakıtı değerlerine göre artış eğilimleri gösterebilmektedir. Çünkü yakıt içerisindeki oksijen yanma verimini arttırdığı için yanma sonu sıcaklığını yükselmekte ve azot gazının oksitlenerek NO_x emisyonlarına dönüşmesinde etkili olabilmektedir. Şekil 7'de görüldüğü üzere tall yağı biyodizeli ile dizel yakıtına göre ölçüm yapılan bütün devirlerde daha yüksek NO_x emisyonları ölçülmüştür. Tall yağı biyodizeli ile dizel yakıtı değerlerine göre meydana gelen maksimum artış oranı 1800 dev/dak'da %18.98'dir. Ölçülen en yüksek NO_x emisyonu değerleri dizel yakıtı ile 2200 dev/dak'da 375 ppm, tall yağı biyodizeli ile 2000 dev/dak'da 393 ppm'dir.



Şekil 7. Dizel yakıtı ve tall yağı biyodizelinin NO_x emisyon değerleri değişimleri

5. SONUÇLAR

Ham tall yağı fiyatlarının, biyodizel üretiminde ham madde olarak kullanılan diğer yağların fiyatlarından çok daha ucuz olması, ekonomik olarak büyük avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca tall yağı biyodizelinin bünyesinde kültür, aromatik hidrokarbonları ve ham petrol artıklarını içermemesi, dizel yakıtına göre yağlama özelliğinin daha iyi olması, Setan sayısının ve parlama noktasının daha yüksek olması ve ayrıca ısı değeri, yoğunluk, akma noktası ve viskozite değerleri gibi özelliklerinin dizel yakıtı değerlerine yakın olması, alternatif dizel yakıtı olarak kullanımında ki en önemli avantajlarıdır.

Tall yağı biyodizeli elde edilen tork ve güç değerlerinde dizel yakıtı değerlerine göre meydana gelen ortalama azalma oranları sırasıyla %1.41 ve %1.43 dür. Tall yağı biyodizelinin özgül yakıt tüketimi değerleri, ısı değeri düşük olmasına bağlı olarak dizel yakıtı değerlerine göre ortalama % 7.72 oranında artmıştır. Tall yağı biyodizeli ile CO emisyonları %37.27, duman yoğunluğu emisyonları ise %12.05'e kadar varan azalmalar göstermiştir. Yanma sonu sıcaklığının yükselmesinden dolayı NO_x emisyonları ise dizel yakıtına göre %18.98'e kadar varan artışlar göstermiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Keskin, A., "Tall Yağı Esaslı Biyodizel ve Yakıt Katkı Maddesi Üretimi ve Bunların Dizel Motor Performansı Üzerindeki Etkileri", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 2005.
2. Tyson, K.S., "Biodiesel Handling and Use Guidelines", Report of National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-580-3004 U.S., 1-3 2001.
3. Wedel, R.V., "Technical handbook for Marine Biodiesel", National Renewable Energy Laboratory, 1-5, USA, 1999.
4. Van Gerpen, V.J., Shanks, B., Pruszko, R., Clement, D. and Knothe, G., "Basics of Biodiesel Production", Biodiesel Production Technology, NREL/SR-510-36244, 2004.
5. Drew, J. and Propst, M., "Tall Oil. Pulp Chemicals Association" Pulp Chemicals Association, 65-70, New York, 1981.
6. Yamık, H., "Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması" Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 2002.
7. Kinast, J. A. "Properties Of Biodiesels From Multiple Feedstocks", Production of Biodiesels from Multiple Feedstocks and Properties of Biodiesels and Biodiesel/Diesel Blends, NREL/SR-510-31460, 9-26, 2003.
8. Sharma, R.K. and Bakhshi, N.N., "Upgrading of Tall Oil to Fuels and Chemicals Over HZSM-5 Catalyst Using Various Diluents", The Canadian Journal of Chemical Engineering, 69: 1082-1086, 1991.
9. Üstün, G. ve Civelekoğlu, H., "Copolymerization of Turkish Tall Oil Specimens with Indene-Coumarone. II. Production and Properties of Indene-Coumarone Modified Tall Oil Varnishes", Journal of Applied Polymer Science, 43:1969-1975, 1991.
10. Freedman, B., Butterfield, R.O. and Pryde, E.H. "Transesterification kinetics of soybean oil", JAOCS, 63: 1375-1380, 1986.
11. Altın, R., "Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 1998.

ÜNİFORM YÜKLÜ DAİRESEL TEMEL ALTINDA YATAY GERİLME ANALİZİ

Mustafa LAMAN ve M. Salih KESKİN
Ç.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü Adana/Türkiye

ÖZET : *Bu çalışmada, kumlu zeminler üzerine oturan dairesel temelden dolayı zeminde oluşan ilave yatay gerilme değerleri, model deneyler yapılarak incelenmiştir. Deneyler, kare kesitli bir kasa içerisinde gerçekleştirilmiş ve gerilme değerlerini ölçmek için basınç transduceri kullanılmıştır. İki farklı sıklıkta hazırlanan kum zeminler üzerinde sıklığın yatay gerilmeye etkisi araştırılmıştır. Elde edilen gerilme değerleri, mevcut teorik yöntemlerden elde edilen gerilme değerleriyle karşılaştırılmıştır.*

LATERAL STRESS ANALYSIS BELOW A UNIFORMLY LOADED CIRCULAR FOUNDATION

ABSTRACT : *In this study, the lateral soil stress values of a circular footing on sand soils were investigated by model tests. The model tests are performed in a square shaped box and pressure transducer was used to measure the stresses. Sand specimens with two different densities were prepared to investigate the effect of density on lateral soil stress. The experimental results were compared with theoretical results.*

1. GİRİŞ

Gerek zeminin kendi ağırlığından dolayı, gerekse uygulanan dış yüklerin etkisi altında zeminde yatay gerilmeler oluşmaktadır. Zemin mekaniğinde yatay gerilmeler, düşey gerilmelerin belli bir oranı olarak tanımlanmıştır. Yatay yönde herhangi bir deformasyonun olmaması durumunda bu oran sükunetteki zemin basınç katsayısı K_0 ile ifade edilmektedir. Bu durumda σ_z düşey gerilmeyi göstermek üzere, yatay gerilme aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\sigma_x = K_0 \sigma_z \quad (1)$$

Sükunetteki zemin basınç katsayısının bulunmasında bazı teorik ve ampirik ifadeler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin kullanılabilmesi için, zeminin kayma mukavemet açısı, ϕ , plastisite indisi, I_p ve aşırı konsolidasyon oranı, AKO gibi ilave zemin parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır (1).

Zemin yüzüne uygulanan dış yüklerin de zemin içinde ilave yatay gerilmeler oluşturacağı açıktır. Uygulanan dış yükler altında meydana gelen yatay gerilmeler ve bu gerilmelerin derinlikle değişimi elastisite teorisi kullanılarak bulunabilmektedir. Düşey gerilmelerden farklı olarak yatay gerilmeler zeminin elastisite modülü, E ve poisson oranına, μ bağlı olmaktadır. Bu durumda, bu zemin özelliklerinin değerlerinin gerçekçi olarak saptanması önem kazanmakta ve başlı başına bir problem oluşturmaktadır (2).

Zeminlerde ilave yüklerden dolayı oluşan ilave yatay gerilme değerlerinin en doğru bir şekilde deneysel yollarla bulunabileceği açıktır. Bu çalışmada, elde edilen deney sonuçları ayrıca literatürde mevcut teorik çözümler ile karşılaştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Zeminlerde oluşun düşey ve yatay gerilme değerlerinin belirlenmesi amacıyla birçok araştırmacı tarafından laboratuvar düzenekleri geliştirilmiş ve deneysel çalışmalar yapılmıştır (3-12).

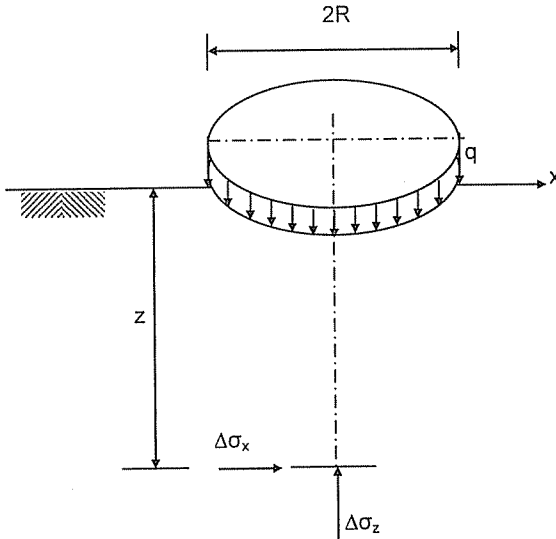
Ayrıca, literatürde elastisite teorisinden yararlanılarak elde edilen teorik çözümler mevcuttur. Boussinesq (13), Şekil 1'de gösterilen, üniform yayılı dairesel yükten dolayı temelin merkezi altında oluşan ilave düşey ve yatay gerilme dağılımlarının,

$$\Delta\sigma_z = q \left[1 - \left\{ \frac{1}{1 + (R/z)^2} \right\}^{3/2} \right] \quad (2)$$

$$\Delta\sigma_x = \frac{q}{2} \left[(1 - 2\mu) + \frac{2(1 + \mu)z/R}{[1 + (z/R)^2]^{1/2}} + \frac{(z/R)^3}{[1 + (z/R)^2]^{3/2}} \right] \quad (3)$$

bağıntılarından elde edilebileceğini göstermiştir. Burada $\Delta\sigma_z$ ilave düşey gerilmeyi, $\Delta\sigma_x$ ilave yatay gerilmeyi, q uygulanan üniform yük değerini, μ poisson oranını, z derinliği, R ise dairesel temelin yarıçapını göstermektedir.

Ayrıca, Ahlvin ve Ulery (14) tarafından ilave düşey ve yatay gerilme değerleri z/R oranına bağlı olarak tabloleştirilmiştir (15).



Şekil 1. Üniform Yüklü Dairesel Alan

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneyisel çalışma, kum zemin üzerine yerleştirilen dairesel kesitli model temel plakasının yüklenmesi sonucu, zemin içinde oluşan ilave yatay gerilme değerlerinin ölçülmesi ve farklı sıklıklarda hazırlanan kum zeminlerde sıklığın yatay gerilme üzerine etkisinin araştırılmasını içermektedir.

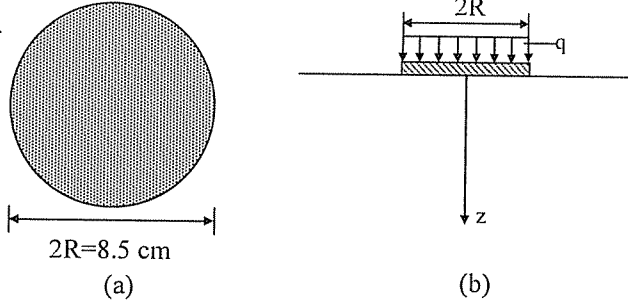
Deneyisel çalışmalarda, Çukurova bölgesi, Seyhan nehir yatağından getirilen kum numuneler kullanılmıştır. Kum numuneler üzerinde yapılan elek analizi ve piknometre deneyleri sonucunda kullanılan kumun zemin sınıfı, kötü derecelenmiş ince ve temiz kum (SP) ve dane birim hacim ağırlığı $\gamma_s=26.8 \text{ kN/m}^3$ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 1. Elek Analiz Sonuçları

Granülometri Parametreleri	Birim	Değer
Kaba Kum Yüzdesi	%	0.0
Orta Kum Yüzdesi	%	34
İnce Kum Yüzdesi	%	66
Efektif Dane Çapı, D_{10}	mm	0.26
D_{30}	mm	0.30
D_{60}	mm	0.40
Zemin Sınıfı	-	SP

Deneylerde, dairesel temel olarak $2R=D=8.5\text{cm}$ genişliğinde ve 2.0cm kalınlığında rijit metal plaka kullanılmıştır (Şekil 2).

Model deneyler, 70cm x 70cm x 70cm boyutlarındaki kare kesitli kasa içerisinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Deney kasisının iskeleti, çelik profillerden olup, ön ve arka yüzeyi 8mm kalınlığındaki cam, yan yüzeyler ile alt taban ise 20 mm kalınlığındaki ahşap malzemeden yapılmıştır.



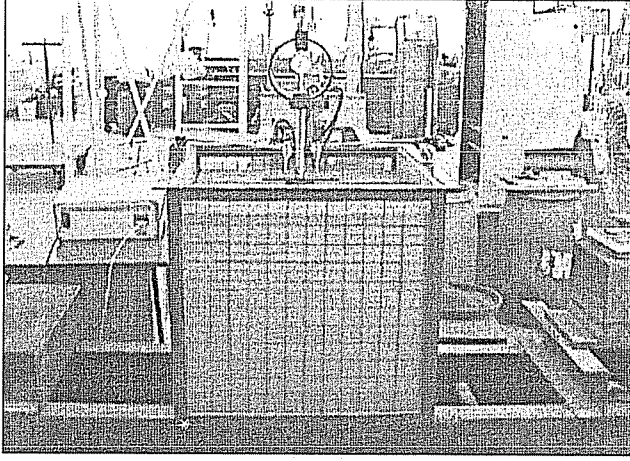
Şekil 2. Model Temel Plakası a) Plan b) Kesit

Deney kasisı içerisinde kum numuneler tabakalar halinde birim hacim ağırlıkları $\gamma_k=15.0$ ve 17.1 kN/m^3 olacak şekilde, dinamik yöntem ile sıkıştırılarak yerleştirilmiştir.

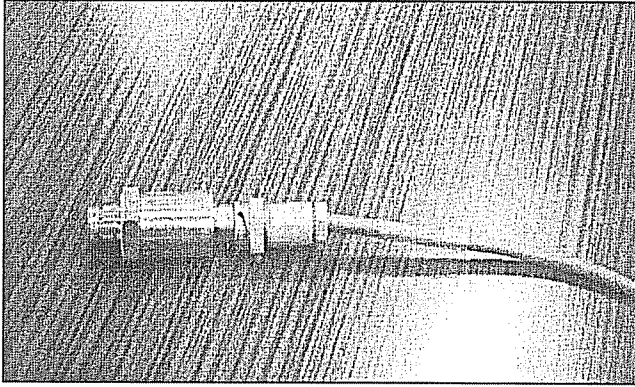
Yükleme, temel plakası merkezine düşey yönde ve statik olarak uygulanmıştır. Yüklem sırasında temel plakası merkezi altında meydana gelen yatay gerilmeler, kasa içerisinde temel plakasının merkezine gelecek şekilde yatay pozisyonda monte edilmiş olan transducer yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 4). Uygulanan basınçlardan dolayı transducerde oluşacak gerilmeleri doğru bir şekilde tesbit etmek için, önceden hassas bir şekilde kalibre edilmesi gerekmektedir. Bunun için transducer üzerinde, değeri bilinen basınçlar oluşturmak sureti ile, meydana gelen gerilmeler okunmuştur. Bu amaçla model kasa merkezine yerleştirilen transducer üzerine 10'ar cm'lik kum tabakaları serilmiş ve strain indikatör yardımı ile her tabaka altında okuma alınmıştır. Yapılan kalibrasyonun doğruluğunun görülmesi açısından, birkaç kez yenilenmiş ve her defasında aynı sonuçları verdiği görülmüştür.

Deneyler sırasında transducerin bulunduğu seviyede oluşan gerilmelerin okunması için, dijital strain indikatör kullanılmıştır (Şekil 5). Cihazın kullanımı aşağıda, maddeler halinde anlatılmıştır.

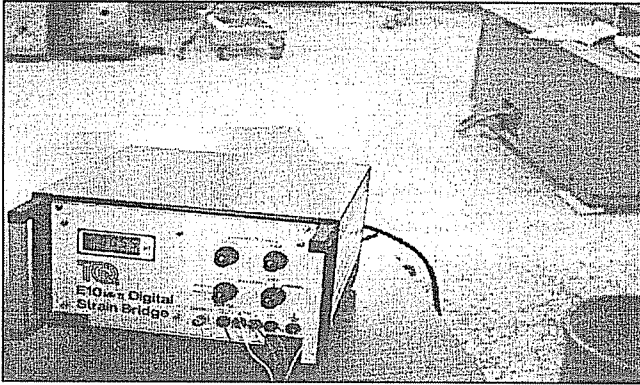
1. Transducer cihaza çeşitli elektrik devreleri oluşturularak bağlanır. Bunlar çeyrek köprü, yarım köprü ve Wheaston köprüsü denilen tam köprü devrelerdir.
2. Köprü seçici düğmesi oluşturulan köprüye uygun pozisyona getirilir.
3. Duyarlılık düğmesi tamamen saat yönünde döndürülür.
4. Büyük denge düğmesi, (0000) konumuna kadar döndürülür.
5. Güç kaynağı düğmesi Bat veya MAINS konumuna getirilir.
6. Numune yüklenmeden, büyük denge düğmesi sıfıra getirilir.
7. Okuma almak için yüklem yapılır.



Şekil 3. Deney Kasası



Şekil 4. Basınç Transducere



Şekil 5. Strain İndikatör

4. DENEYSEL VE TEORİK SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

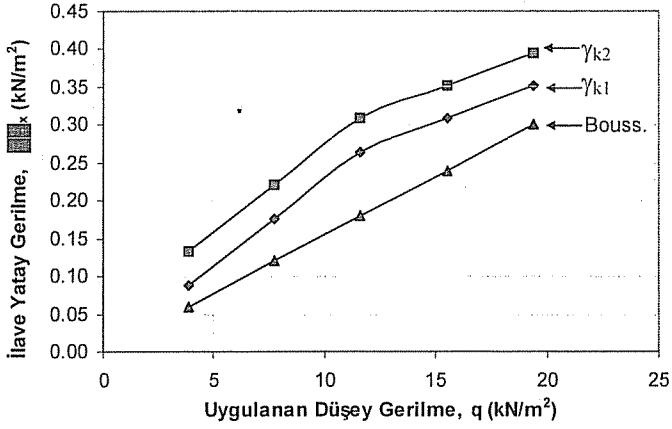
Çalışmada, $2R=D=8.5\text{cm}$ çaptaki dairesel temel altında iki farklı sıklıkta ($\gamma_k=15.0\text{ kN/m}^3$ ve 17.1 kN/m^3) hazırlanan kum zemin koşullarında, üç farklı derinlikte (1.0D, 1.5D ve 2.0D) deneyler yapılmış ve deney sonuçları Denklem 3'de verilen Boussinesq çözümleriyle karşılaştırılmıştır.

Zemin birim hacim ağırlığı $\gamma_{k1}=15.0\text{ kN/m}^3$ ve $\gamma_{k2}=17.1\text{ kN/m}^3$ olarak hazırlanan deney düzeneğinde, kasa içerisine yatay konumda yerleştirilmiş transducer yardımıyla temel merkezinin altında üç farklı derinlikte yatay gerilme ölçümleri alınmıştır. Deney sonuçları ve teorik çözümler Çizelge 2'de toplu halde gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 6, 7 ve 8'de sırasıyla $z=1.0D$, $z=1.5D$ ve $z=2.0D$ derinliklerinde iki farklı sıklıkta elde edilen sonuçlar grafik olarak karşılaştırılmıştır.

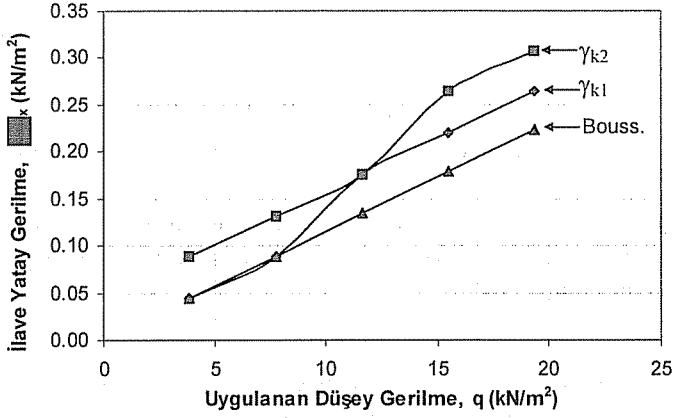
Çizelge 2'de verilen değerler incelendiğinde, derinlik arttıkça ilave gerilme değerlerinin azaldığı, Boussinesq çözümlerinin ölçüm alınan ilk iki derinlikte deney sonuçlarından düşük kaldığı ve gevşek halde hazırlanmış zeminde oluşan yatay gerilme değerlerine daha yakın olduğu görülmektedir. Sıkı halde oluşan yatay gerilme değerlerinin ise derinlik arttıkça daha büyük değerler verdiği gözlenmektedir. Ayrıca deney sonuçlarına göre sıklığın artmasına bağlı olarak yatay gerilme değerlerinde artış gözlenirken, Boussinesq çözümü her iki sıklık değeri için de aynı sonuçları vermektedir.

Çizelge 2. $D=8.5\text{cm}$ 'lik Dairesel Temelde Farklı Sıklıkta Oluşan Yatay Gerilmeler

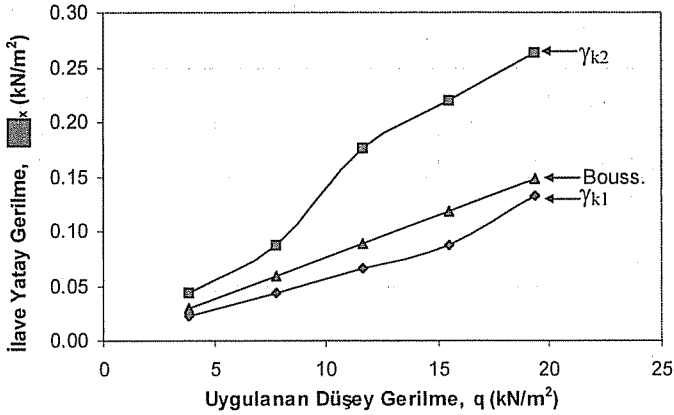
z (m)	q (kN/m^2)	$\Delta\sigma_x(\text{kN/m}^2)$			
		DENEYSEL		TEORİK	
		$\gamma_{k1}=15.0$ (kN/m^2)	$\gamma_{k2}=17.1$ (kN/m^2)	$\gamma_{k1}=15.0$ (kN/m^2)	$\gamma_{k2}=17.1$ (kN/m^2)
0.085 (1.0D)	3.877	0.088	0.132	0.060	0.060
	7.754	0.176	0.220	0.120	0.120
	11.631	0.264	0.308	0.180	0.180
	15.508	0.308	0.352	0.240	0.240
	19.385	0.352	0.395	0.300	0.300
0.1275 (1.5D)	3.877	0.044	0.088	0.045	0.045
	7.754	0.088	0.132	0.089	0.089
	11.631	0.176	0.176	0.134	0.134
	15.508	0.220	0.264	0.179	0.179
	19.385	0.264	0.307	0.223	0.223
0.170 (2.0D)	3.877	0.022	0.044	0.030	0.030
	7.754	0.044	0.088	0.059	0.059
	11.631	0.066	0.176	0.089	0.089
	15.508	0.088	0.220	0.118	0.118
	19.385	0.132	0.264	0.148	0.148



Şekil 6. z=1.0D=8.5 cm Derinliğinde Yatay Gerilme Artışı



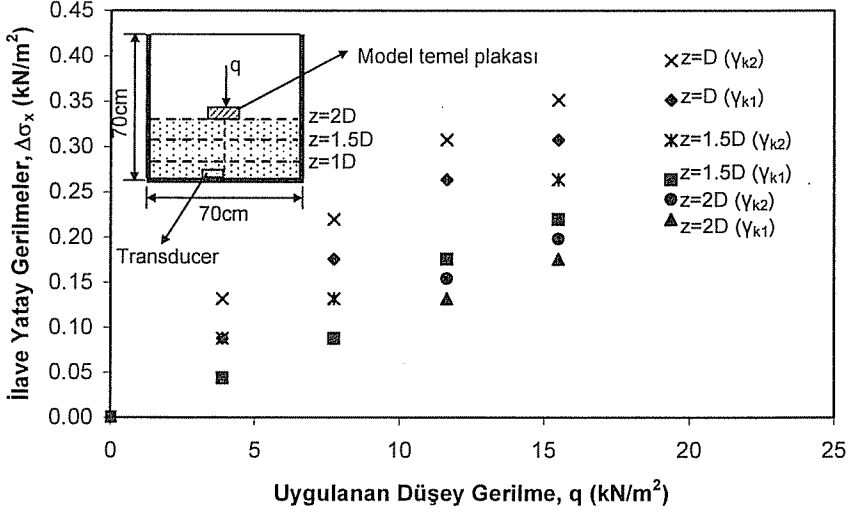
Şekil 7. z=1.5D=12.75 cm Derinliğinde Yatay Gerilme Artışı



Şekil 8. z=2.0D=17 cm Derinliğinde Yatay Gerilme Artışı

4.1. Farklı Sıklıkta Ölçülen Yatay Gerilmelerin Karşılaştırılması

Aşağıda, dairesel temelde üç derinlik için iki farklı sıklıkta, aynı yüklemeler kademeleri altında ölçülen yatay gerilmelerin dağılımı görülmektedir.



Şekil 9. Dairesel Temelde Farklı Sıklıklarda Yatay Gerilme Dağılımı

Şekil 9'dan daha büyük γ_k değerinde daha büyük yatay gerilme değerlerinin oluştuğu gözlenmektedir. Bazı noktadaki sapmaların transducerin hassasiyeti nedeniyle meydana geldiği düşünülmektedir.

5. SONUÇ

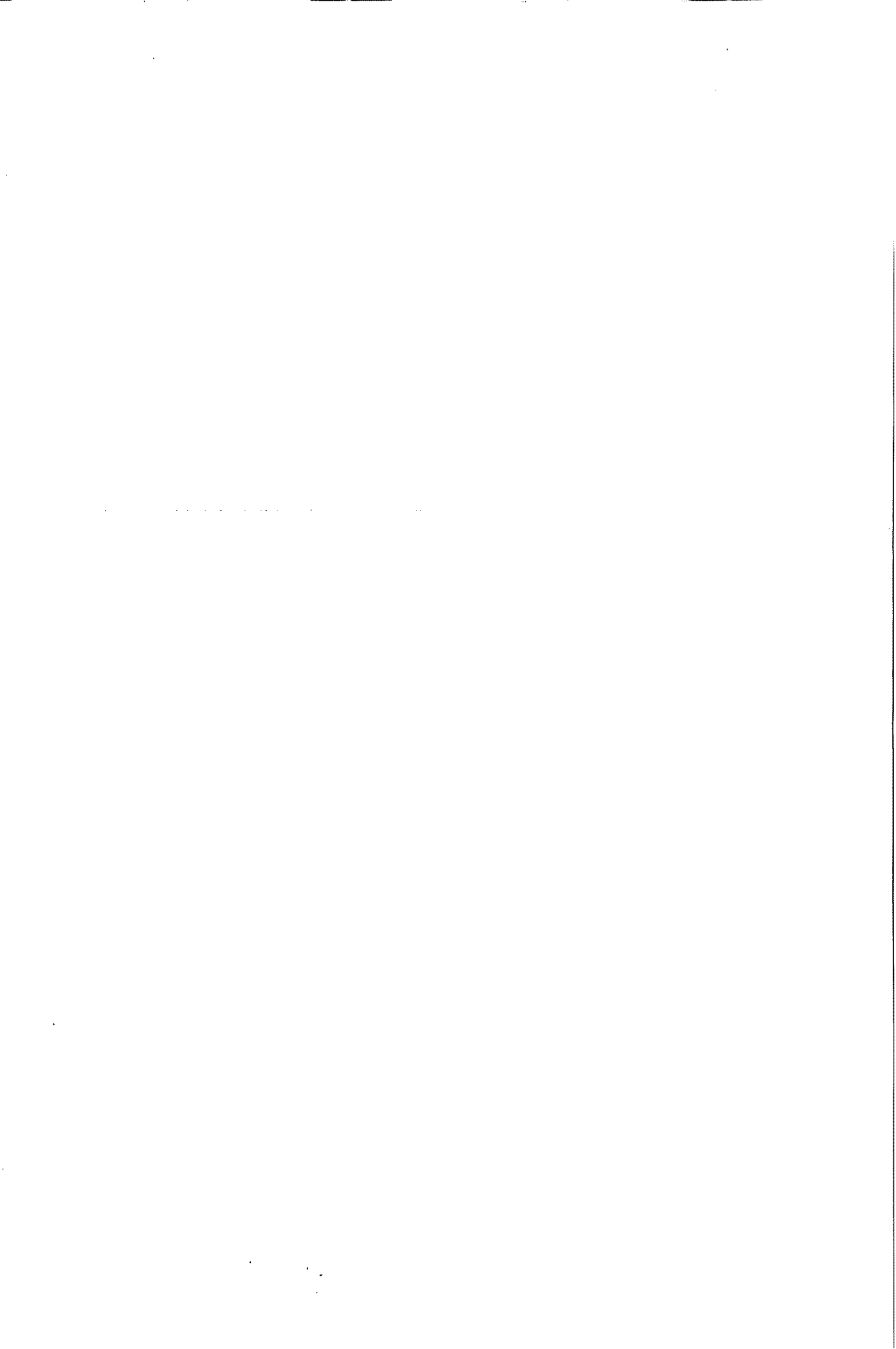
DeneySEL çalışmalarda sıklık oranının yatay gerilme değerlerine etkisi araştırılmış ve kum zeminin sıklık oranı arttıkça aynı yük değerleri altında ve eşit derinliklerde yatay gerilme değerlerinin arttığı görülmüştür. Teorik çözümde ise yatay gerilmeler hesaplanırken, zemini sıklık durumunun gözönüne alınmadığı, her sıklık için aynı gerilme değerlerinin elde edildiği gözlenmiştir.

Ayrıca ölçüm derinliği arttıkça yatay gerilme değerlerinin azaldığı, teorik çözümün yüzeye yakın derinliklerde deney sonuçlarından düşük kalmakla birlikte özellikle gevşek halde hazırlanmış zeminde oluşan yatay gerilme değerlerine yakın olduğu görülmüştür. Sıkı halde ölçülen yatay gerilme değerlerinin ise ölçüm derinliğinin artmasıyla büyük değerler verdiği gözlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Tekinsoy, M.A. ve Laman, M., "Elastik Zemin Problemleri", Süleyman Demirel Üniversitesi Basımevi, Isparta, 316s, 2000.
2. Özyayın, K., "Zemin Mekaniği", Meva Matbaacılık ve Yayıncılık, İstanbul, 395s, 1989.
3. Terzaghi, K., "Old Earth Pressure Theories and New Test Results", Engrg. News-Rec., 85 (14), 632-657, 1920.

4. Kjellman, W., "Report on an Apparatus for the Determination of the Coefficient of Lateral Earth Pressure at Rest", Proc. 1st Int. Conf. On Soil mech. And Fnd. Engrg., Harvard Printing Office, Cambridge, Mass., 2, 16-20, 1936.
5. Hendron, A.J., "The Behaviour of Sand in One Dimensional Compression", Ph. D. Thesis, University of Illinios, USA, 1963.
6. Sağlamer, A., "Kohezyonsuz Zeminlerde Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısının Zemin Parametreleri Cinsinden İfadesi", Ph. D. Thesis in Civil Engineering, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1972.
7. Bellotti, R., Formigoni, G. and Jamiolkowski, M., "Remarks on the Effects of Overconsolidation on K_0 ", Proc., İstanbul Conf. On Soil Mech. And Found. Engrg., Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Ankara, Turkey, 1, 17-25, 1975.
8. Daramola, O., "On Estimating K_0 for Overconsolidated Granular Soils", Geotechnique, 30 (3), 310-313, 1980.
9. Fedas, J., " K_0 Coefficient of Sand in Triaxial Apparatus", J. Geotech. Engrg., ASCE, 110 (4), 519-524, 1984.
10. Jamiolkowski, M., Ladd, C.C., Germanie, J.T. and Lancellotta, R., "New Development in Field and laboratory Testing of Soils", 11th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Engrg., A. A. Balkema, Rotterdam, the Netherlands, 1, 57-153, 1985.
11. Hanna, A. and Ghaly, A., "Effects of K_0 and Overconsolidation on Uplift Capacity", Journal of Geotechnical Engineering, 118 (9), 1449-1469, 1992.
12. Hanna, A.M. and Soliman-Saad, N., "Effect of Compaction Duration on the Induced Stress Levels in a Laboratory Prepared Sand Bed", Geotechnical Testing Journal, 24 (4), 430-438, 2001.
13. Boussinesq, J., "Application des Potentiels a L'etude de L' equilibre et du Movement des Solids Elastiques, Gauthier-Villars, Paris, 1885.
14. Ahlvin, R.G. and Ulery, H.H., "Tabulated Values for Determining the Complete Pattern of Stresses, Strains and Deflections Beneath a Uniform Load on a Homogeneous Half Space, Highway Research Board, Bulletin 342, 1-13, 1962.
15. Poulos, H.G. and Davis, E.H., "Elastic solution for Soil and Rock Mechanics", John Wiley and Sons, Inc., 411p, 1974.



**PREFABRİK YAPI ELEMANI ÜRETİMİNDE KULLANILAN
ÇELİK KALIPLARIN TİTREŞİM ETKİSİNDE
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

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

ÖZET : Prefabrik yapı elemanı üretiminde yaşanan şantiye deneyimleri, kalıba dökülen taze betonun yeterli ölçüde sıkıştırılmasının, titreşim için kullanılan dış vibratörün tipine ve konumuna bağlı olduğunu göstermiştir. Vibratör tipi ve konumunun deneme-yanılma yöntemi ile belirlenmesi zaman kaybına yol açmakta ve her zaman en iyi sonucu vermemektedir. Bu nedenle bilgisayar destekli kalıp tasarımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, bilgisayar destekli kalıp tasarımına bir temel teşkil etmek üzere, KAMBETON firmasında üretimde kullanılan bazı kalıpların titreşim özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, kalıp tasarımında taze beton-kalıp etkileşiminin göz önüne alınması gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Prefabrik yapı elemanı, Deneysel ölçüm, Dış vibratör

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF STEEL MOULDS USED
IN THE PRODUCTION OF PRECAST CONCRETE UNITS
UNDER VIBRATION**

ABSTRACT : Site experiences acquired in the production of precast concrete structures have shown that, the adequate compaction of the fresh concrete in the mould depends on the type and location of the external vibrators used for vibration. The determination of the type and location of the vibrators with the method of trial and error leads to losing time and doesn't yield the best result. Hence, the computer-aided mould design is required. In this study, the properties of vibration of some moulds used in the production of KAMBETON Company were investigated experimentally to establish a base for the computer-aided mould design. The results obtained indicate that the fresh concrete-mould interaction has to be taken into account in the mould design.

Keywords: Precast concrete unit, Experimental measurement, External vibrator

1. GİRİŞ

Öngerilmeli beton ve betonarme yapı elemanı üretiminde en önemli husus, taze betonun, kalıp içerisine boşluksuz olarak yerleşmesini ve dolayısıyla betonun arzu edilen mukavemet özelliklerine sahip olmasını sağlamaktır.

Beton malzemelerinin karılması ve taze betonun yerine yerleştirilmesi işlemleri esnasında, beton karışımının içinde bir miktar hava boşluğu kalmaktadır. Taze betonun içerisindeki istenmeyen havanın dışarı atılması işlemine “betonun sıkıştırılması” denilmektedir. Taze betonun sıkıştırılmasında amaç, betonu yerine yerleştirdikten hemen sonra, içerisinde biriken havanın mümkün olabildiği kadar dışarı atılmasıdır. Böylece beton daha yoğun hale gelmektedir.

Taze betonun kalıp içerisine boşluksuz olarak yerleşmesi ve kompaksiyonu için yaygın olarak kullanılan yöntem, “Vibrasyon” tekniğidir. Bu yöntemde belli başlı iki önemli hedef vardır.

- 1) Betonun kalıbın her tarafına yaymak ve donatıların devamlı bir şekilde kaplanmasını sağlamak,
- 2) Betonun sıkıştırmak, böylelikle hava boşluklarını azaltarak kompaksiyonu artırmaktır.

Dış vibratörler, yaygın olarak, prefabrik beton elemanlarının sıkıştırılmasında kullanılmakta olup, çok ekonomik ve efektif olmaktadır. Vibratörlerin çalıştırılmasıyla beton kalıbına aktarılan titreşimin etkisi ile, kalıp içerisindeki taze betona da titreşim uygulanmaktadır. Vibrasyon hareketi bir periyodik hareket olup, sinüzoidal fonksiyon (P_0 , $Sin\omega t$, P_0 : Yükün genliği, ω : Açısal frekans, t : Zaman) ile ifade edilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, yanlış frekans ve fazla süre ile uygulanacak vibrasyonun taze betonda segregasyona ve terlemeye (taze betonun yüzeyinde su toplanması, bleeding) sebep olması riskidir. Bu nedenle, vibrasyonun kalıp yüzeyinde hangi noktalardan, hangi frekans ve süre ile uygulanacağını belirlemesi gerekmektedir.

Vibrasyon tekniğinde dikkate alınması gereken diğer önemli husus ise, vibrasyonun kalıp üzerine uygulayacağı dinamik etkilerdir. Bu husus üretimde kullanılacak kalıbın mukavemetini ve dolayısıyla tasarımını çok yakından ilgilendirmektedir.

Bu çalışmanın amacı, prefabrik yapı elemanı üretiminde kullanılan ve uygulanan vibrasyon nedeniyle dinamik yük altında bulunan kalıpların bilgisayar destekli tasarım ilkelerinin belirlenmesidir. Bu amaca birbirini izleyen üç aşama ile ulaşılabileceği düşünülmektedir, bu adımlar:

- a) **DeneySEL veri toplama:** Mevcut üretim tesislerinde bulunan üretim kalıplarının özelliklerinin belirlenmesi ve bu kalıplar ile yapılan üretim sırasında, titreşimin kalıp üzerinde çeşitli ve kritik görülen noktalarda zamanla değişiminin ölçülmesi,
- b) **Teorik model geliştirme:** Taze betonun vibrasyon etkisindeki davranış özellikleri dikkate alınarak, kalıp ve taze betonun birlikte davranışını içeren sonlu elemanlar yöntemine dayalı teorik bir model geliştirilmesi ve geliştirilecek model ile elde edilecek sonuçların, bir önceki adımda bulunan deneysel veriler ile karşılaştırılarak modelin doğruluğunun test edilmesi,
- c) **Bilgisayar destekli tasarım algoritması geliştirme ve tasarım sonuçlarının kontrolü:** (b)'de geliştirilecek teorik modele dayalı kalıp tasarımı için genel amaçlı olarak, bir bilgisayar paket programı hazırlanması ve geliştirilecek olan paket programın

vereceği sonuçlara göre üretilecek yapı elemanlarının istenilen dayanım özelliklerini sağlayıp sağlamadığının kontrol edilmesi.

Bu çalışmada, prefabrik yapı elemanı üretiminde kullanılan çelik kalıpların bilgisayar destekli tasarımına temel teşkil etmek üzere, dış vibratörlerce titreştirilen çelik kalıp yüzeyinde seçilen bazı noktalarda, zamana bağlı yanal deplasman değerleri deneysel olarak elde edilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde, taze betonun titreşim altındaki davranışının belirlenmesine yönelik teorik ve/veya deneysel, ayrıca, dış vibratörler ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Yapılan hemen tüm çalışmalarda taze betonun, titreşimsiz durumda, Newton akışkanı olmadığı ve Bingham modeline uyduğu belirtilmiştir.

2.1. Deneysel ve Teorik Çalışmalar

Titreşim etkisindeki kalıpta taze betonun davranışı henüz tam olarak incelenmemiştir. Literatürde, titreşim altında taze betonun davranışının modellenmesi hakkında sınırlı sayıda teorik çalışma mevcuttur (1-5).

Tattersal ve Baker (6), titreşimsiz taze betonun akış davranışını aşağıdaki Bingham modeli ile göstermişlerdir.

$$\tau = \tau_0 + \mu \dot{\gamma} \quad (1)$$

Burada τ kayma gerilmesi, τ_0 akma (yield) gerilmesi, μ plastik viskozite, $\dot{\gamma}$ kayma hızı olmaktadır. Ayrıca, bir cihaz yardımıyla yaptıkları çalışmada, taze betona titreşim uygulandığında, akma gerilmesinin değerini kaybettiği, dolayısıyla taze betonun Newton akışkanı (akma gerilmesi sıfır) özelliğini kazandığını ve plastik viskozite değerinin azaldığını göstermişlerdir.

Larrard ve arkadaşları (7), taze betonun akma gerilmesinin titreşim etkisinde yarıya indiğini, bazı durumlarda ihmal edilebilir olduğunu ve plastik viskozitesinin titreşimden etkilenmediğini belirtmişlerdir.

2.2. Dış Vibratörler İle İlgili Çalışmalar

Wenzel (8), taze betonun sıkıştırılması ile ilgili ilkeler, pratik, ve bazı özel problemleri incelemiştir. Prefabrik yapı üretiminde betonun sıkıştırılması için kullanılan dış vibratör titreşimlerinin, genellikle, kalıp yüzeyinde 20cm'den fazla nüfuz derinliğine ulaşamadığı, bu nedenle, bundan büyük kesitlerde vibratörlerin iki tarafa bağlanması gerektiği belirtilmiştir. Kalıba, 50 Hz'lik devrimsel frekans uygulandığında, büyük genlik oluştuğu için "segregasyona" neden olduğu, görülmüştür. Bu durum iyi bir kompaksiyon etkisi elde etmek için, betonun daha yüksek frekanslara maruz kalması görüşüne yol açmıştır. Bu amaçla en uygun frekansların 75-200Hz arasında olduğu tespit edilmiştir. Bunların kullanım alanları ve özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

75 Hz. Vibratörler: Kullanım alanları, özellikle büyük beton bileşenler ve hafif beton bileşenlerdir. Bu düşük frekansta "segregasyon" oluşmaya eğilimli olup, bunu en aza indirmek için, kompaksiyon işlemi mümkün olduğunca kısa süreli uygulanmalıdır.

100 Hz. Vibratörler: Duvar panelleri, kirişler, kolonlar, çatı kafesleri, sanayi yapı elemanları uygulama alanlarıdır. Deneyimler, bu frekansta çalışan dış vibratörlerin beton teknolojisi açısından en uygun çözüm olduğunu göstermektedir.

150 Hz. Vibratörler: Kalınlığı az olan döşeme bileşenleri, eşik, dış yüzey betonu, laboratuvar işleri vb. narin boyutlu elemanlarda kullanılmaktadır. Segregasyon riski çok azdır.

200 Hz. Vibratörler: Bu frekansta çalışan dış vibratörler, iletim ortamında (kalıp, v.s.) hızlıca sönümlenmekte ve göreceli olarak küçük genlik oluşturmaktadırlar. Bu nedenle, onların etki alanı çok sınırlıdır. Bu yüksek emme kapasitesine sahip ahşap kalıplarda kullanılmasının uygun olmadığını göstermektedir. Bu vibratörler, mükemmel titreşim iletme özelliklerine sahip çelik kalıplarda uygulansa bile, bazı olumsuz etkiler oluştururlar. Yüksek frekans, çeliğin moleküler yapısının bozulmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden bu vibratörlerin kullanımının sınırlı sayıda uygulama alanı vardır. Örneğin; şantiye beton inşaatında (yüksek frekanslı iç vibratörler yaygın kullanılır) donatılar çok yoğun olup iç vibratörlerin girmesine elverişli değilse, laboratuvarda titreşim tablalarıyla test küpleri yapmak için uygundur. Burada kompaksiyon, kısa süreli uygulanmalıdır.

Postacıoğlu (9), vibrasyon yönteminin, taze betonun kalıba yerleştirilmesi ve sıkıştırılmasında, en pratik ve faydalı sonuçlar oluşturduğunu belirtmiştir. Vibratör denilen özel aletlerle beton titreşim haline sokulmakta, vibrasyona maruz kalan beton, bir sıvının karakteristiğine sahip olarak, kalıp içerisinde kolaylıkla yayılmaktadır. Vibratörün hareketi durdurulunca, beton, tekrar eski sıkı kıvamını kazanmaktadır. Vibrasyon yönteminde bazı kurallara uyulduğu takdirde betonun yerleştirilmesinde ve kompaksiyonunda istenilen sonuçlara varılabileceğini ifade etmiştir. Postacıoğlu'nun çalışmasında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

- 1) Vibratörün frekansı en az 6000devir/dakika (100Hz) olmalıdır. Vibrasyonla sıkıştırma işinde bütün beton kütlelerinin titreşime maruz kalması sağlanmalıdır.
- 2) Vibrasyon kısa bir süre için uygulanacak olursa, kompaksiyonun yeter derecede gerçekleşmeyeceği, vibrasyon işleminin gereğinden fazla devam etmesi aşırı terlemeye yol açacağından, sakıncalıdır. Bu bakımdan vibrasyon süresinin gayet iyi bir şekilde ayarlanması gerekmektedir. Bu süreyi etkileyen çok değişik faktörler bulunduğundan bu konuda şu kurala göre hareket edilmelidir: Vibrasyon uygulanırken taze beton yüzeyinde su toplamaya başladığı vakit, ki bu beton yüzeyinde bir parılmanın görülmesiyle anlaşılır, vibratör derhal durdurulmalıdır.
- 3) Kalıplar sağlam yapılmalı ve yerleştirme sırasında aralanmamalıdır. Vibrasyona maruz kalan beton kalıplara önemli basınç yapar ve bunun etkisi ile meydana gelen aralıklardan, özellikle su ve bir miktar çimento dışarıya çıkar. Bu durum betonun mukavemetinin önemli derecede azalmasına neden olmaktadır. Prefabrik yapı elemanları üretiminde, aynı boyuttaki elemanın çok sayıda üretilmesi halinde, metal kalıplara başvurulması faydalıdır. Burada kalıp, genellikle, 3-6 mm kalınlığında çelik sacdan oluşturulmaktadır.
- 4) Su sıkışmaya engel olduğundan, betonda karma suyu miktarı az olmalıdır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmada kullanılan deney seti (veri toplama sistemi, VTS) aşağıda tanıtılmaktadır.

3.1. Donanım

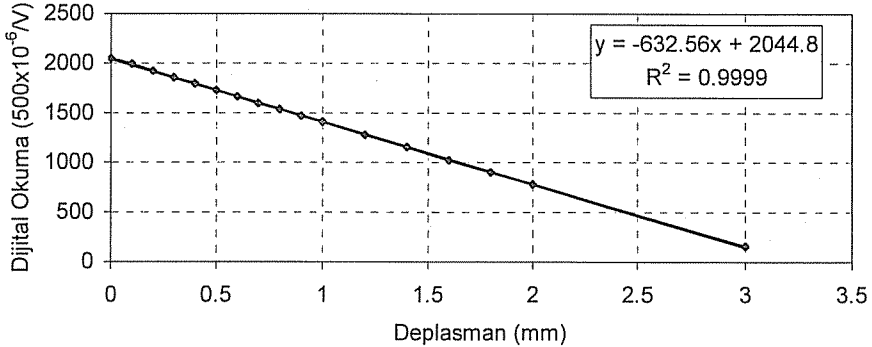
- Dinamik şekil değiştirme (gerinme) ölçme cihazı (dynamic strain meter), Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd., adlı firmaya ait bu cihazın DA-32D tipi,
- RC-Electronics, Inc., adlı firmaya ait 16 kanallı ISC-16 PCI veri toplama kartı,
- LVDT (Deplasman Transdüceri).

3.2. Yazılım

RC-Electronics, Inc. ISC-16 PCI veri toplama kartına uygun, Ziegler-Instruments GmbH, Germany (1990), isimli firmanın SIGNALYS adlı programı.

3.3. Cihazın Kalibrasyonu

Deneyler sırasında deplasman ölçümlerinin doğru bir şekilde yapılabilmesi için cihazın kalibrasyonu yapılmıştır. Burada, 1/100 mm hassasiyetli okuma saati (dial gage) yardımıyla, sıfır değeri ile başlanıp belli deplasman artımlarına karşılık gelen dijital okuma değerleri elde edilmiştir. Bu değerlere ait grafik, Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deplasman Transdüceri kalibrasyon eğrisi

3.4. Deneyin Yapılışı

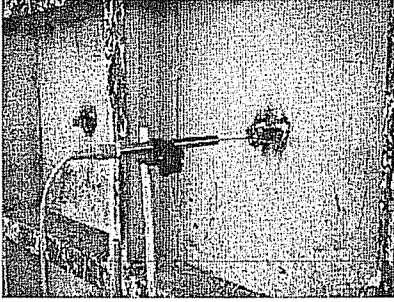
Deneyler, iki farklı prefabrik yapı (kolon ve kutu menfez) elemanına ait kalıplar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kalıplar, 5mm kalınlığında çelik sac'dan oluşup, ayrıca, kalıbı güçlendirici değişik boyut ve kesite sahip çelik profiller, yatay, düşey ve diyagonal olarak kalıba bağlıdır (Şekil 2).

Deneylerde kullanılan prefabrik kolon kalıbının plan ve ölçüm yüzeyinin görüntüleri Şekil 3 ve 4'de, kutu menfez kalıbının plan ve ölçüm yüzeyinin görüntüleri ise, Şekil 5 ve 6'da sunulmuştur.

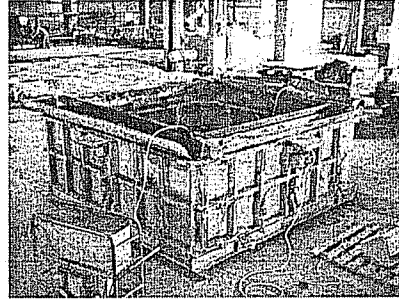
Üretimde kullanılan dış vibratörler ile ilgili özellikler, Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Dış vibratörün özellikleri

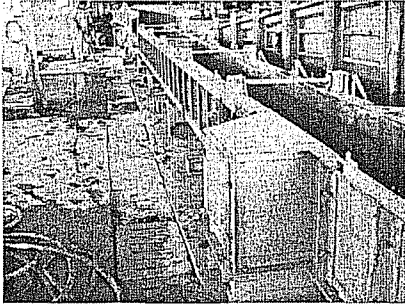
Mekanik Özellikler				Elektrik Özellikleri		
Vibratör tipi	Merkezkaç kuvvet		Ağırlık	Mak. girdi güç	Mak. akım A	
Devir/dak.	kg	kN	kg	W	42V	250V
6000-200Hz	1157	11.34	25	1200	23	-



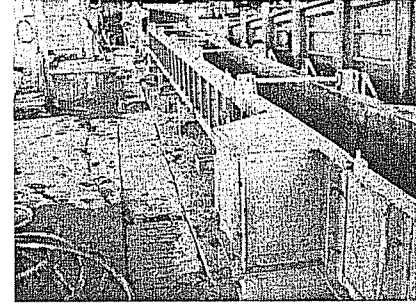
(a)



(b)

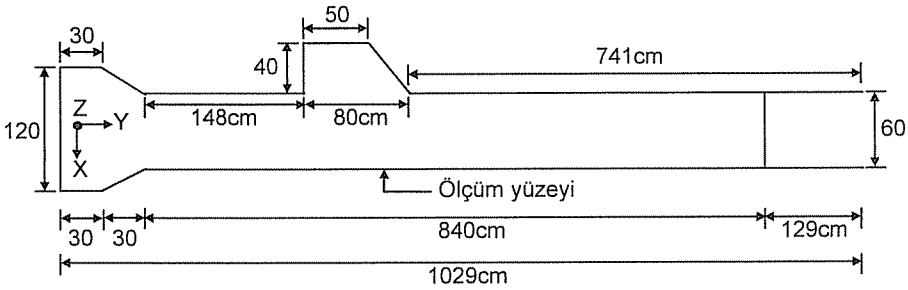


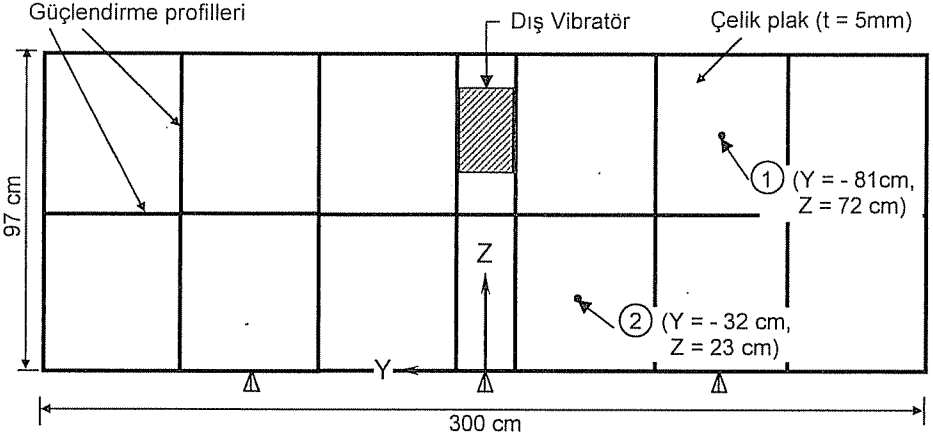
(c)



(d)

Şekil 2. Deneyde kullanılan kalıplar ve cihazlar. (a) LVDT bağlantısı, (b) Kutu menfez kalıbı, (c) Dış Vibratör, (d) Kolon kalıbı

Şekil 3. Kolon kalıbının plan görünümü ($h = 60$ cm)



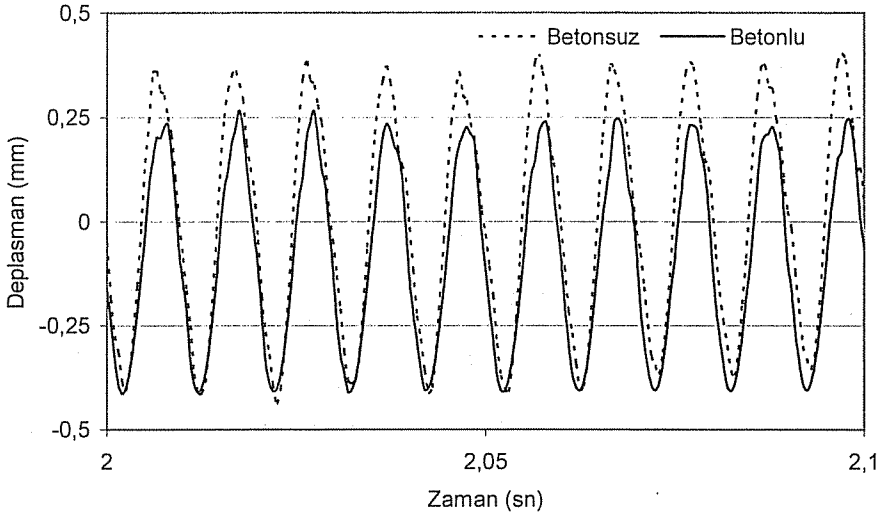
Şekil 6. Kutu menfez kalıbının ölçüm yüzeyi (Y-Z düzlemi, X = -145 cm)

4. DENEYSEL BULGULAR

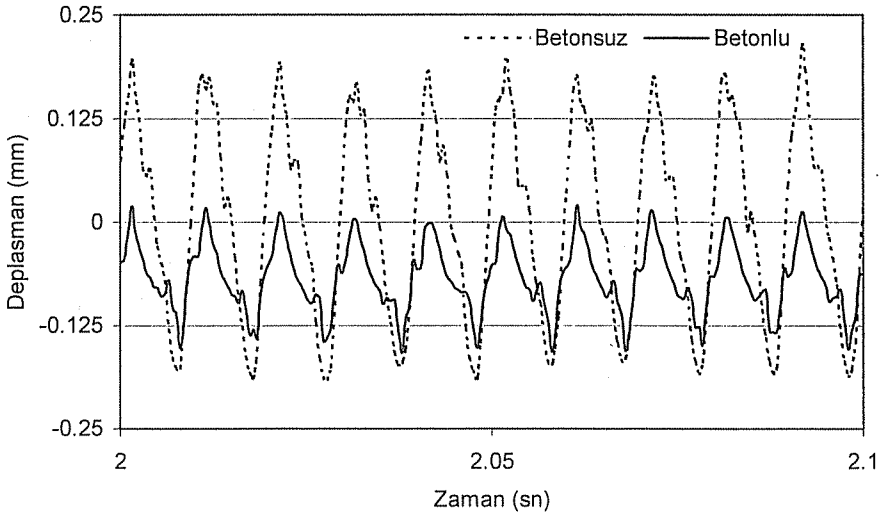
Bu bölümde, daha önce de bahsedilen, Kambeton firması üretim tesislerindeki iki farklı prefabrik yapı elemanının kalıpları üzerinde gerçekleştirilen, deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular ele alınmaktadır. Dinamik davranışın başlangıç devresinde belirgin bir düzensizlik olmakla birlikte bu durum çok kısa süre içinde yok olmakta ve davranış düzenli hale gelmektedir. Bu nedenle grafikler, davranışın düzenli olduğu tipik bir zaman dilimi için sunulmaktadır. Tüm grafiklerde, deplasmanın pozitif yönleri kalıp yüzeyinden içeriye doğrudur.

4.1. Uygulama 1

Kutu menfez kalıbı boş (betonsuz) ve dolu (betonlu) iken, ölçüm yüzeyinde bir dış vibratör kullanılarak, iki noktada (1 ve 2) 0.5msn okuma aralığı ile, deplasman değerleri kaydedilmiştir. Sonuçlar, tipik bir zaman aralığı için Şekil 7 ve 8'de görülmektedir.



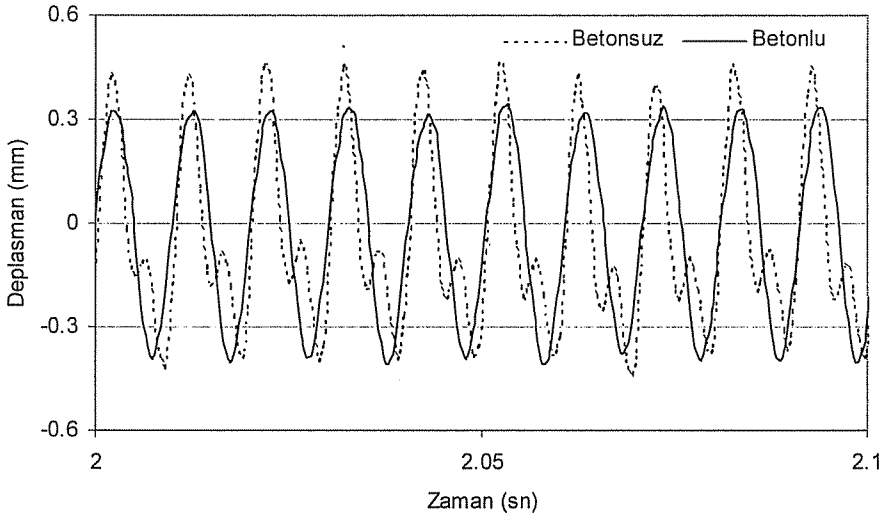
Şekil 7. Kalıp yüzeyinde ölçülen deplasmanın zamanla değişimi
(Kutu menfez, 1 nolu nokta)



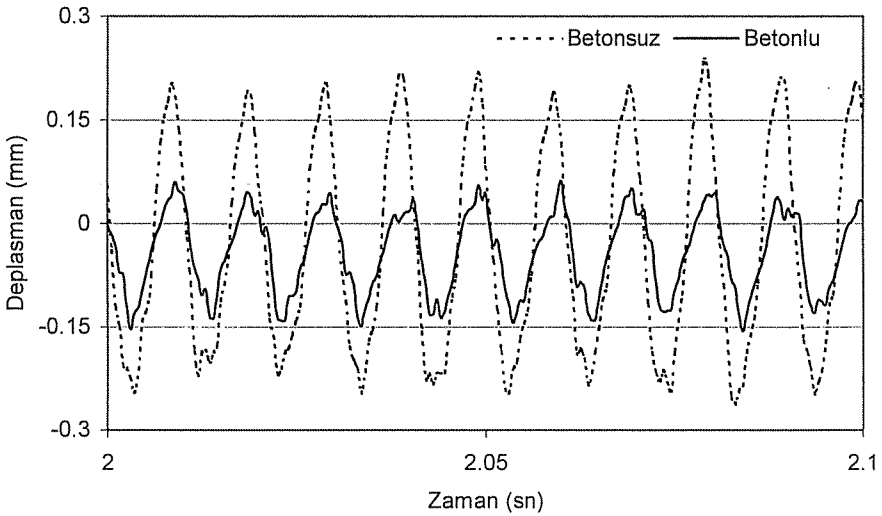
Şekil 8. Kalıp yüzeyinde ölçülen deplasmanın zamanla değişimi
(Kutu menfez, 2 nolu nokta)

4.2. Uygulama 2

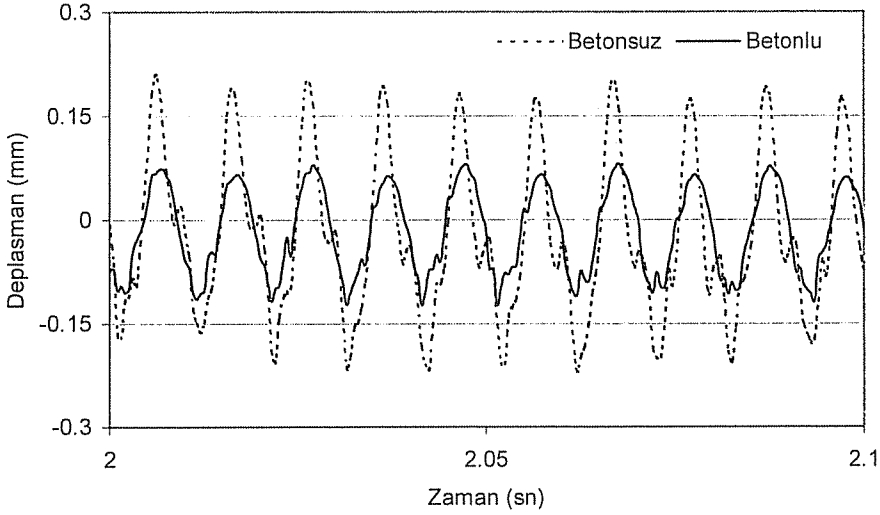
Kolon kalıbı boş ve dolu iken, ölçüm yüzeyinde iki dış vibratör kullanılarak, üç noktada (A, B ve C) 0.5msn okuma aralığı ile, deplasman değerleri kaydedilmiştir. Sonuçlar, tipik bir zaman aralığı için Şekil 9-11'de görülmektedir.



Şekil 9. Kalıp yüzeyinde ölçülen deplasmanın zamanla değişimi (Kolon, A noktası)



Şekil 10. Kalıp yüzeyinde ölçülen deplasmanın zamanla değişimi (Kolon, B noktası)



Şekil 11. Kalıp yüzeyinde ölçülen deplasmanın zamanla değişimi
(Kolon, C noktası)

5. SONUÇLAR

Dış vibratörler kullanılarak üretilen prefabrik yapı elemanlarında, şantiye deneyleri, Kambeton firmasının (Adana) üretim tesislerinde, veri toplama sistemi (VTS) kullanılarak, gerçekleştirilmiştir. İki farklı prefabrik yapı elemanında deneyler, bu elemanları oluşturan çelik kalıpların yüzeyinde seçilen bazı noktalarda, hem kalıbın boş (betonsuz) hem de dolu (betonlu) olması hallerinde ayrı ayrı ölçümler alınarak, gerçekleştirilmiştir. Deneysel bulgular, kalıp içine dökülen taze betonun, kalıp davranışını önemli ölçüde değiştirdiğini ve bilgisayar destekli kalıp tasarımında taze beton-kalıp etkileşiminin mutlaka gözönüne alınması gerektiğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, söz konusu teorik modellemeye ışık tutacak niteliktedir.

6. KAYNAKLAR

1. Alexsandridis, A. and Gardner, N.J., "Mechanical behaviour of fresh concrete", *Cement and Concrete Research*, 11 (3), 323-339, 1981.
2. Tanigawa, Y. and Mori, H., "Analytical study on deformation of fresh concrete", *Journal of Engineering Mechanics*, 115 (3), 493-508, 1989.
3. Tucek, A. and Bartak, J., "Mathematical modelling of the dynamics of the concrete mix", *Cement and Concrete Research*, 21, 21-30, 1991.
4. Murata, J. and Kikukawa, H., "Viscosity equation for fresh concrete", *ACI Materials Journal*, 89 (3), 230-237, 1992.
5. Krstulovic, P. and Juradin, S., "Modelling of fresh concrete behaviour under vibration", *International Journal for Engineering Modelling*, 12 (1), 43-51, 1999.
6. Tattersall, G.H. and Baker, P.H., "Effect of vibration on the rheological properties of fresh concrete", *Magazine of Concrete Research*, 40 (143), 79-89, 1988.

7. Larrard, F.D., Hu, C., Sedran, T., Sziitkar, J.C., Joli, M., Claux, F. and Derks, F., "New rheometer for soft-to-fluid fresh concrete", *ACI Materials Journal*, 94 (3), 234-243, 1997.
8. Wenzel, D., "Compaction of concrete-principles, practice, special problems", *Betonwerk und Fertigteil - Technik*, 52 (3), 153-158, 1986.
9. Postacıoğlu, B., "Beton", *Teknik Kitaplar Yayınevi*, 404s, İstanbul, 1987.

**PREFABRİK YAPI ELEMANI ÜRETİMİNDE KULLANILAN
ÇELİK KALIPLARIN TİTREŞİM ETKİSİNDE
TEORİK VE DENEYSSEL OLARAK İNCELENMESİ**

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

ÖZET : Prefabrik yapı elemanı üretiminde kullanılan vibratör tip ve konumunun deneme-yanılma yöntemi ile belirlenmesi zaman kaybına yol açmakta ve her zaman en iyi sonucu vermemektedir. Bu nedenle bilgisayar destekli kalıp tasarımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, bilgisayar destekli kalıp tasarımına bir temel teşkil etmek üzere, Kambeton Firmasında üretimde kullanılan bazı kalıpların titreşim özellikleri deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Deneysel kısmı, prefabrik yapı elemanına ait kalıp üzerinde seçilen bazı noktalarda yapılmıştır. Teorik kısmı ise, SAP2000® yazılımı kullanılarak, Sonlu Elemanlar Yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Zaman Tanım Alanında analiz, Mod Birleştirme Yöntemi ile, Özvektörler ve Ritz-vektörleri kullanılarak yapılmıştır. Teorik ve deneysel deplasman değerleri karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Prefabrik yapı elemanı, Deneysel ölçüm, Dış vibratör, Ritz-vektör analizi, Özvektör analizi

**THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF STEEL
MOULDS USED IN THE PRODUCTION OF PRECAST CONCRETE UNITS
UNDER VIBRATION**

ABSTRACT : The determination of the type and location of the vibrators used in the production of precast concrete units with the method of trial and error leads to losing time and doesn't yield the best result. Therefore, the computer-aided mould design is required. In this study, the properties of vibration of some moulds used in the production of Kambeton Company were investigated experimentally and theoretically to establish a base for the computer-aided mould design. The experimental part was performed at some points selected on the mould of precast concrete members. The theoretical part was realized employing Finite Element Method used in SAP2000® software. Time History analysis was carried out by mode-superposition method, in which load-dependent Ritz vectors and Eigenvectors were used. The computational results of displacement histories were compared with the experimental ones.

Keywords: Precast concrete unit, Experimental measurement, External vibrator, Ritz-vector analysis, Eigenvector analysis

Bu çalışma Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: FBE2002D180

1. GİRİŞ

Prefabrik yapı elemanı üretiminde en önemli husus, taze betonun, kalıp içerisine boşluksuz olarak yerleşmesini ve dolayısıyla betonun arzu edilen mukavemet özelliklerine sahip olmasını sağlamaktır. Şantiye deneyimleri, prefabrik yapı elemanlarına ait çelik kalıplarda taze betonun yeterli sıkıştırılmasının, titreşim için kullanılan dış vibratörlerin tipine ve konumuna bağlı olduğunu göstermiştir.

Dış vibratörler, yaygın olarak, prefabrik beton elemanlarının üretiminde kullanılmakta olup, çok ekonomik ve efektif olmaktadır. Vibratörlerin çalıştırılmasıyla beton kalıbına aktarılan titreşimin etkisi ile, kalıp içerisindeki taze betona da titreşim uygulanmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, yanlış frekans ve fazla süre ile uygulanacak vibrasyonun taze betonda segregasyona ve terlemeye (taze betonun yüzeyinde su toplanması) sebep olması riskidir. Vibrasyon tekniğinde dikkate alınması gereken diğer önemli husus ise, vibrasyonun kalıp üzerine uygulayacağı dinamik etkilerdir.

Wenzel (1), prefabrik yapı elemanı üretiminde betonun sıkıştırılması için kullanılan dış vibratör titreşimlerinin, genellikle, 20 cm'den fazla nüfuz derinliğine ulaşmadığı, bu nedenle, bundan büyük kesitlerde vibratörlerin iki tarafa bağlanması gerektiği belirtilmiştir. Kalıba, 50 Hz'lik devirsel frekans uygulandığında, büyük genlik olduğu için "segregasyona" neden olduğu, görülmüştür. Bu durum iyi bir kompaksiyon etkisi elde etmek için, betonun daha yüksek frekanslara maruz kalması görüşüne yol açmıştır. Bu amaçla en uygun frekansların 75-200 Hz arasında olduğu tespit edilmiştir.

Prefabrik yapı elemanı üretiminde kullanılan vibratör tip ve konumunun deneme-yanılma yöntemi ile belirlenmesi zaman kaybına yol açmakta ve her zaman en iyi sonucu vermemektedir. Bu nedenle bilgisayar destekli kalıp tasarımına ihtiyaç duyulmakta olup, çelik kalıp ve taze betonu içeren çok serbestlik dereceli yapı sisteminin modellenmesi ve dinamik analizinin yapılması gerekmektedir. Dinamik analiz için yaygın olarak "Mod Birleştirme Yöntemi" kullanılmaktadır.

Wilson ve ark. (2), Dinamik Mod Birleştirme analizinde Ritz vektörler ve Özvektörleri kullanarak, bunların karşılaştırmalarını bazı örnek yapılar üzerinde uygulamışlardır.

Bu çalışmada, prefabrik yapı elemanı üretiminde kullanılan çelik kalıpların bilgisayar destekli tasarımına temel teşkil etmek üzere, dış vibratörlerce titreştirilen çelik kalıp yüzeyinde seçilen bazı noktalarda, deneysel ve teorik olarak elde edilen zamana bağlı yanıl deplasman değerleri karşılaştırılmaktadır.

Çalışmanın deneysel kısmı, Kambeton firmasının (Adana) üretim tesislerinde, 100Hz (devir/sn)'lik dış vibratörler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Teorik kısmı ise, SAP2000(3) bilgisayar yazılımı kullanılarak, Sonlu Elemanlar Yöntemi ile yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmada kullanılan deney seti (veri toplama sistemi, VTS) aşağıda tanıtılmaktadır.

2.1. Donanım

a) Dinamik şekil değiştirme (gerinme) ölçme cihazı (dynamic strain meter), Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd., adlı firmaya ait bu cihazın DA-32D tipi,

- b) RC-Electronics, Inc., adlı firmaya ait 16 kanallı ISC-16 PCI veri toplama kartı,
c) LVDT (Deplasman Transducere).

2.2. Yazılım

RC-Electronics, Inc. ISC-16 PCI veri toplama kartına uygun, Ziegler-Instruments GmbH, Germany (1990), isimli firmanın SIGNALYS adlı programı.

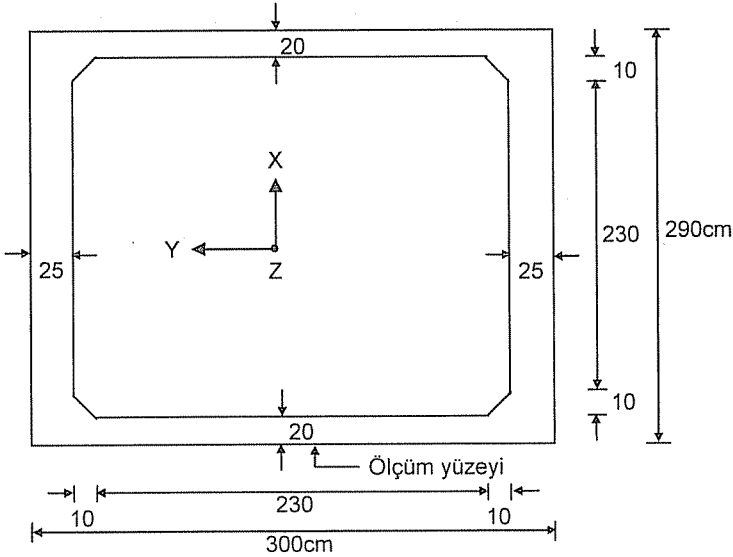
2.3. Deneyin Yapılışı

Deneyler, iki farklı prefabrik yapı (kolon ve kutu menfez) elemanına ait kalıplar üzerinde hem kalıbın boş (betonsuz) hem de taze beton ile dolu olması hallerinde ayrı ayrı ölçümler alınarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında kalıp dış yüzeyinde seçilen bazı noktalarda, kalıp yüzeyine dik deplasmanın zamanla değişimi, 0,5 msn (milisaniye) okuma aralığında 4.096 sn süre ile kaydedilmiştir. Deneylerde kullanılan Kutu menfez ve Kolon kalıplarının üstten görünüşü ve boyutları (cm cinsinden) Şekil 1 ve 2'de görülmektedir.

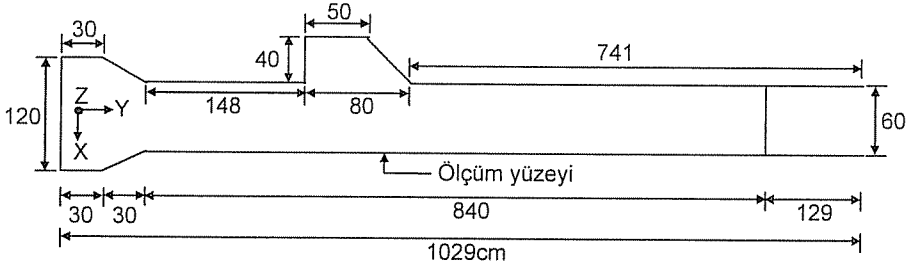
Üretimde kullanılan dış vibratörler ile ilgili özellikler, Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Dış vibratörün özellikleri

Mekanik Özellikler				Elektrik Özellikleri	
Vibratör tipi	Merkezkaç kuvvet		Ağırlık	Mak. girdi güç	
Devir/dak.	kg	kN	kg	W	Mak. akım A
6000-200Hz	1157	11.34	25	1200	23
					-



Şekil 1. Kutu menfez kalıbının üstten görünümü (h = 97 cm)



Şekil 2. Kolon kalıbının üstten görünümü ($h = 60$ cm)

3. TEORİK ANALİZ

Sonlu sayıda eleman ile modellenmiş serbestlik derecesi N olan bir yapısal sistemin hareket denklemi, düğüm deplasmanları cinsinden

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C} \dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K} \mathbf{u} = \mathbf{P}(s, t) \quad (1)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Burada \mathbf{M} , \mathbf{C} ve \mathbf{K} sistemin $N \times N$ boyutlu kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini, $\ddot{\mathbf{u}}$, $\dot{\mathbf{u}}$ ve \mathbf{u} sırasıyla sistemin $N \times 1$ boyutlu zamana bağlı ivme, hız ve deplasman vektörlerini, $\mathbf{P}(s, t)$ ise, yer ve zamanla değişen $N \times 1$ boyutlu yük vektörünü göstermektedir.

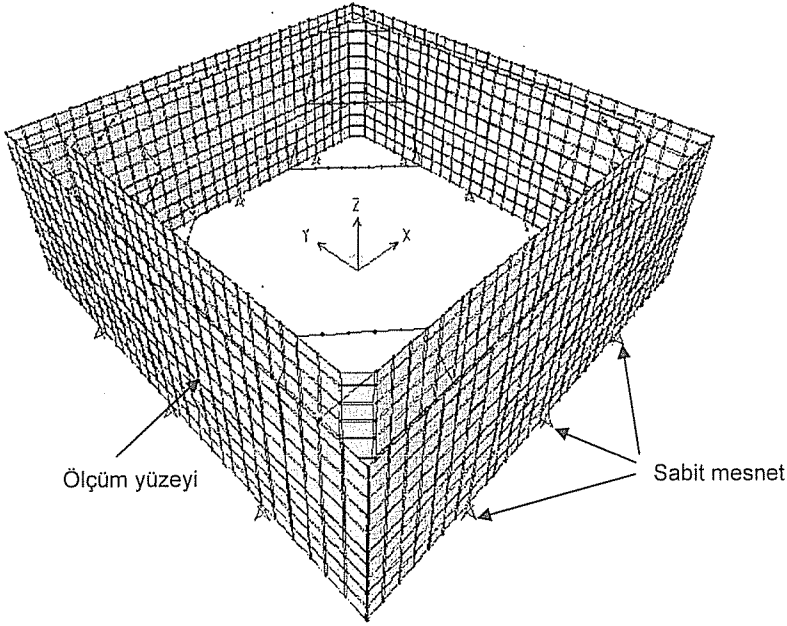
Sistem hareket denkleminin Zaman Tanım Alanında çözümü, Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılmıştır. Kullanılan mod vektörleri özvektörler ya da yüke bağlı Ritz vektörleri olabilmektedir.

Bu çalışmada, dinamik analiz sadece kalıbın boş (betonsuz) olması hali için yapılmıştır; burada amaç, analizlerde kullanılan yöntemlerin ve sonlu eleman ağının doğruluğunun denetlenmesidir.

4. KALIBIN BOŞ İKEN (betonsuz) MODELLENMESİ

Kutu menfez ve Kolon prefabrik yapı elemanlarına ait kalıp gövdeleri, 5 mm kalınlığında çelik sacdan imal edilmiş olup, ayrıca, kalıbı güçlendirici değişik boyut ve kesite sahip çelik profiller yatay, düşey ve diyagonal olarak kalıba bağlanmıştır. Dolayısıyla kalıplar, kabuk ve çubuk elemanlarından oluşturulmuştur. Kabuk sonlu elemanları geometriye bağlı olarak yaklaşık 10×10 cm boyutlu dört düğümlü kare, dikdörtgen, trapez ve bağlantı amaçlı üç düğümlü üçgen elemanlarından oluşturulmuştur. Çubuk elemanları kabuk elemanlarıyla ortak düğüm noktaları kullanılarak elde edilmiştir.

Kutu menfez ve Kolon kalıplarına ait üç boyutlu sonlu eleman ağları sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'de sunulmaktadır.



Şekil 3. Kutu menfez kalıbına ait sonlu elemanlar ağının üç boyutlu görünümü

4.1. Dış Vibratörlerin Kalıba Uyguladığı Yük

Dış vibratörler, bağlı buldukları kalıp yüzeyine

$$P(t) = P_0 \sin \omega t \quad (2)$$

değerinde, yüzeye dik sinüzoidal bir dinamik yük uygulamaktadır. Burada

P_0 : Yükün genliğini,

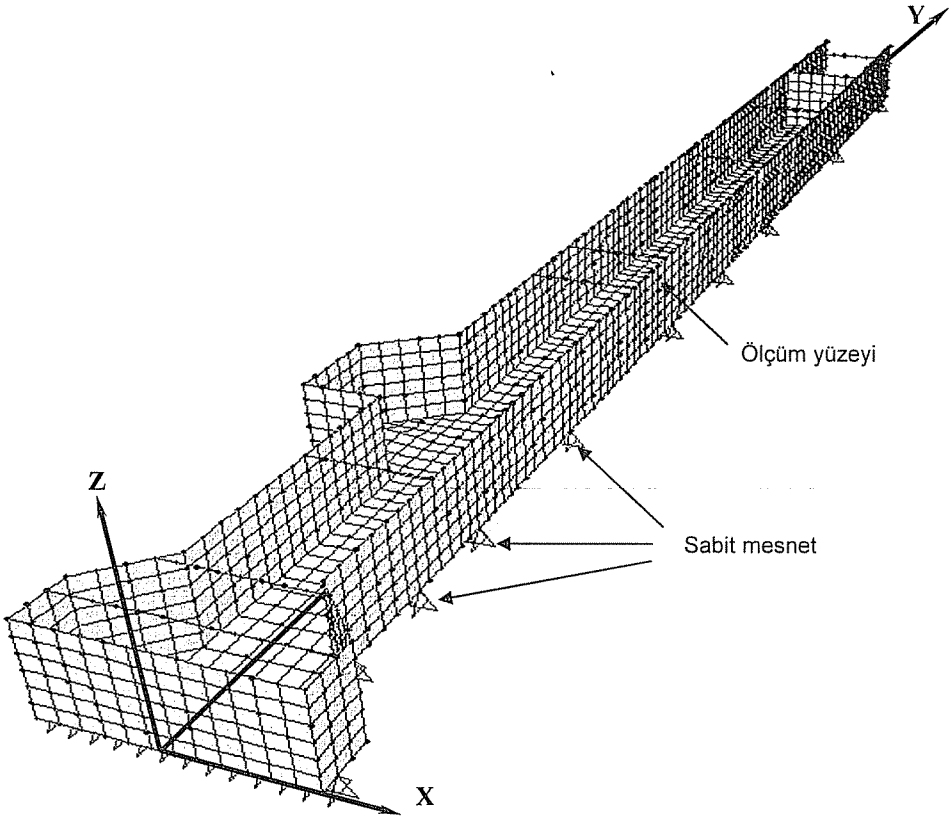
ω : Yükün açısal frekansını (zorlama frekansını),

t : Zamanı,

göstermektedir. Yükün periyodu (T) ve devirsel frekansını (f) ise, açısal frekans cinsinden

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$
$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{T} \quad (\text{Hz}) \quad (3)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Vibratörler 20x25cm boyutunda rijit bir plakaya bağlı olup bu plaka vasıtasıyla kalıp yüzeyine sabitlenmektedir. Bu çalışmada boş kalıp üzerinde yapılan analizlerde, vibratör yükünün, vibratörün bağlı bulunduğu plaka ile temas eden kabuk eleman yüzeylerine düzgün yayılı bir basınç yükü olarak etki ettiği kabul edilmektedir.



Şekil 4. Kolon kalıbına ait sonlu elemanlar ağının üç boyutlu görünümü

5. UYGULAMALAR

Bu bölümde, Kambeton firmasının prefabrik Kutu menfez ve Kolon elemanları üretiminde kullanılan iki farklı çelik kalıp üzerinde yapılan deneysel ve teorik çalışmalardan elde edilen bulgular sunulmakta ve değerlendirilmektedir. Dinamik davranışın başlangıç devresinde belirgin bir düzensizlik olmakla birlikte bu durum çok kısa süre içinde yok olmakta ve davranış düzenli hale gelmektedir. Bu nedenle grafikler, davranışın düzenli olduğu tipik bir zaman dilimi için sunulmaktadır. Teorik analizler SAP2000® paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerdeki titreşim modu sayısının belirlenmesinde, yapının global X, Y ve Z yönlerindeki kümülatif kütle katılım oranlarının %90'ı geçmesi esas alınmıştır. Tüm grafiklerde, deplasmanın pozitif yönleri kalıp yüzeyinden içeriye doğrudur.

Çelik kalıplara ait bazı parametre değerleri aşağıdaki gibi seçilmiştir.

Çelik birim hacim ağırlığı	: $7.682 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^3$
Çelik Elastisite modülü	: 199948 N/mm^2
Çelik Poisson oranı	: 0.3
Sönüm oranı	: % 5 (tüm modlar için)

5.1. Uygulama 1

Bu uygulamada, Kutu menfez ve Kolon kalıpları boş halde iken, serbest titreşim analizi gerçekleştirilmiştir. Kalıbın ilk altı titreşim moduna ait devirsel frekans değerleri Çizelge 2’de görülmektedir.

Çizelge 2. Boş halde Kutu menfez ve Kolon kalıplarına ait serbest titreşim frekansları

Mod No	Kutu menfez kalıbı Frekans (Hz)	Kolon kalıbı Frekans (Hz)
1	31.64	8.69
2	41.90	12.42
3	41.99	15.23
4	45.65	16.54
5	49.00	21.59
6	50.89	39.37

Frekans değerlerinin incelenmesinden görüleceği gibi, kalıba ait en etkili frekans değerleri, 100 Hz olan vibratör frekansına göre çok küçük kalmaktadır. Dolayısıyla, kalıba 100 Hz’lik vibratörler yardımıyla titreşim uygulanmasının rezonansa sebep olmayacağı ve kalıp stabilitesini bozmayacağı anlaşılmaktadır.

Bu uygulamada ayrıca, Mod Birleştirme Yönteminde alternatif olarak kullanılabilecek olan Özvektör ve Ritz vektörlerinin kümülatif kütle katılım oranına katkısı incelenmiştir. Mod sayısına göre kütle katılım oranlarının yönleri göre değişimi Kutu menfez kalıbı için Çizelge 3’de, Kolon kalıbı için Çizelge 4’de görülmektedir.

Çizelgelerin incelenmesinden görüleceği gibi, Ritz vektörleri kullanılarak elde edilen kütle katılım oranlarının, Özvektörler ile elde edilenlere kıyasla çok daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 3. Boş halde Kutu menfez kalıbına ait kütle katılım oranları

Mod sayısı	Vektör tipi	Kütle katılım oranları (%)		
		X yönü	Y yönü	Z yönü
50	Özvektör	27.81	28.94	0.01
	Ritz vektörü	92.53	93.48	98.84
100	Özvektör	35.01	31.44	0.02
	Ritz vektörü	98.30	98.08	99.63
150	Özvektör	52.35	50.66	0.18
	Ritz vektörü	99.37	99.29	99.84
250	Özvektör	59.84	59.89	5.50
	Ritz vektörü	99.81	99.82	99.95
500	Özvektör	69.42	73.74	86.95
	Ritz vektörü	≈ 100	≈ 100	≈ 100
650	Özvektör	80.68	81.09	92.86
	Ritz vektörü	≈ 100	≈ 100	≈ 100

Çizelge 4. Boş halde Kolon kalıbına ait kütle katılım oranları

Mod sayısı	Vektör tipi	Kütle katılım oranları (%)		
		X yönü	Y yönü	Z yönü
50	Özvektör	72.00	1.36	4.51
	Ritz vektörü	94.12	89.94	96.89
100	Özvektör	74.46	2.49	29.42
	Ritz vektörü	98.50	95.67	99.40
150	Özvektör	76.10	4.67	37.14
	Ritz vektörü	99.51	98.20	99.77

Kolon kalıbında iki vibratör kullanıldığından bunların arasında faz farkı oluşabilmektedir. Çeşitli faz farkı değerlerine göre genlikteki değişimin belirlenebilmesi için analizler yapılmış, sonuçlar, Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. Faz farklarına göre genlikteki değişim

Faz Farkı (msn)	Genlik (mm)		
	A	B	C
0.0	0.4633	0.2026	0.1537
0.5	0.4630	0.2023	0.1538
1.0	0.4625	0.1998	0.1557
1.5	0.4619	0.1954	0.1596
2.0	0.4612	0.1894	0.1650
2.5	0.4606	0.1825	0.1714
3.0	0.4600	0.1753	0.1781
3.5	0.4595	0.1686	0.1846
4.0	0.4592	0.1630	0.1901
4.5	0.4591	0.1590	0.1941
5.0	0.4592	0.1571	0.1964
5.5	0.4595	0.1574	0.1963
6.0	0.4600	0.1599	0.1944

Çizelgeden görüleceği üzere, vibratörler arasındaki faz farkı deplasman genliklerini önemli ölçüde etkilememektedir. Faz farklarına göre genlikteki değişim küçük ve faz farkı tam olarak bilinmediğinden dolayı, teorik analizde vibratörlere faz farkı verilmemiştir; yani, vibratörlerin aynı anda harekete geçtiği kabul edilmiştir.

5.2. Uygulama 2

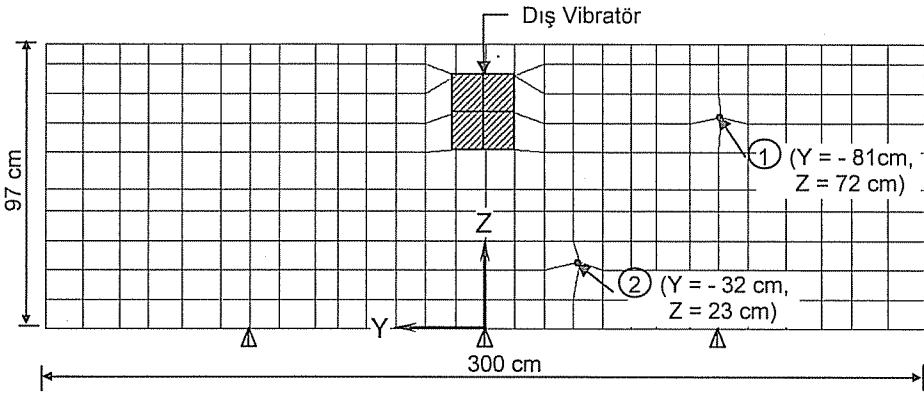
Bu uygulamada, Kutu menfez ve Kolon kalıpları boş halde iken, teorik titreşim analizi gerçekleştirilmekte ve sonuçlar deneysel veriler ile karşılaştırılmaktadır.

Kutu menfez kalıbında ölçüm yüzeyinde bulunan bir dış vibratör etkisi altında 1 ve 2 nolu noktalarda (Şekil 5), Kolon kalıbında ise, ölçüm yüzeyinde bulunan iki dış vibratör etkisi altında A, B ve C noktalarında (Şekil 6) kalıp yüzeyine dik doğrultudaki deplasmanın zamanla değişimi ölçülmüştür.

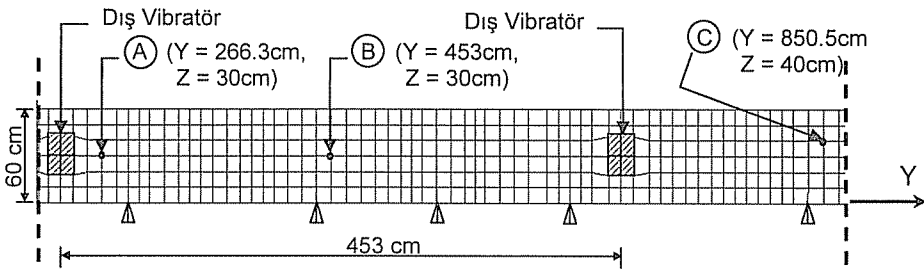
Kalıpların zaman tanım alanındaki analizi, seksen adet Ritz vektörü kullanılarak yapılmıştır. Başlangıç Ritz vektörleri olarak, vibratörün kalıba uyguladığı basınç yükü ve global eksen takımındaki ivme vektörleri kullanılmıştır. Kalıplara ait titreşim parametreleri, Çizelge 6'da görülmektedir.

Çizelge 6. Boş halde Kutu menfez ve Kolon kalıplarına ait titreşim parametreleri

Dinamik serbestlik derecesi sayısı		Kümülatif kütle katılım oranları (%) (Ritz vektörü sayısı = 80)		
		X yönü	Y yönü	Z yönü
Kutu menfez kalıbı	7353	97.14	97.10	99.42
Kolon kalıbı	6330	97.62	93.67	99.04

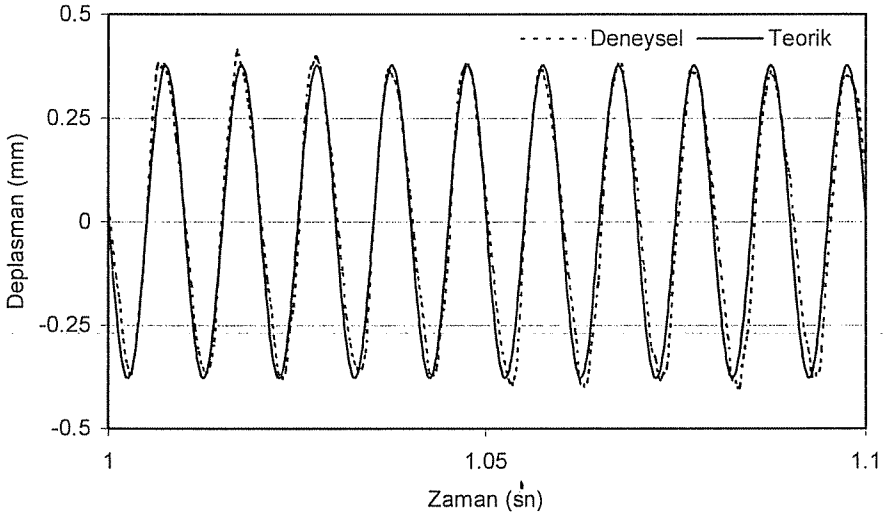


Şekil 5. Kutu menfez kalıbının ölçüm yüzeyi (Y-Z düzlemi, X = -145 cm)

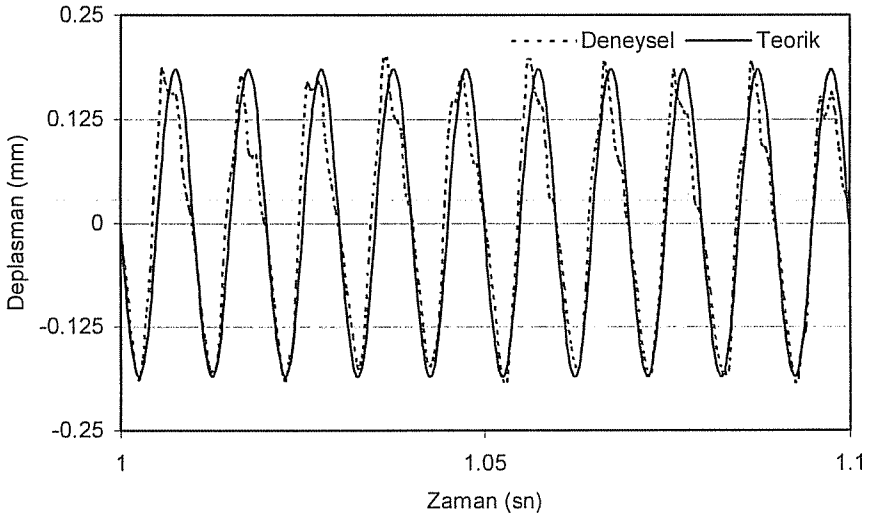


Şekil 6. Kolon kalıbının ölçüm yüzeyi (Y-Z düzlemi, X = 30 cm)

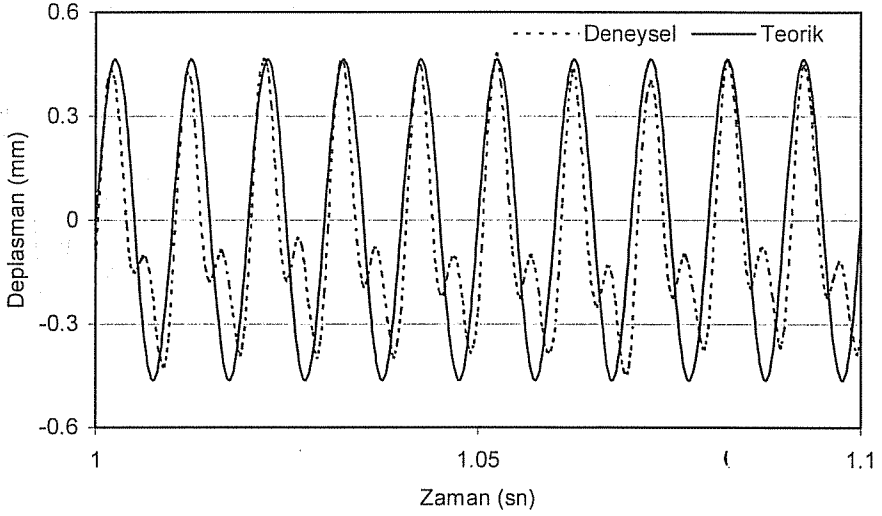
İki kalıp sistemi için seçilen noktalarda teorik olarak hesaplanan deplasmanın zamanla değişimi, aynı noktalarda ölçülen deneysel veriler ile, tipik bir zaman dilimi için Şekil 7-11’de karşılaştırılmaktadır. Şekillerin incelenmesinden, teorik ve deneysel sonuçların uyum içinde olduğu görülmektedir.



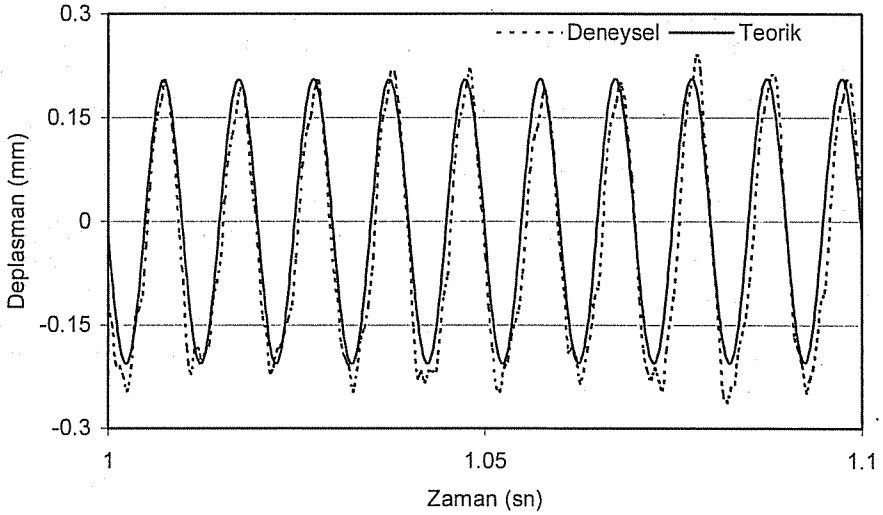
Şekil 7. 1 nolu noktada kalıp boş iken deneysel ve teorik olarak elde edilen deplasmanın zamanla değişimi (Kutu menfez kalıbı)



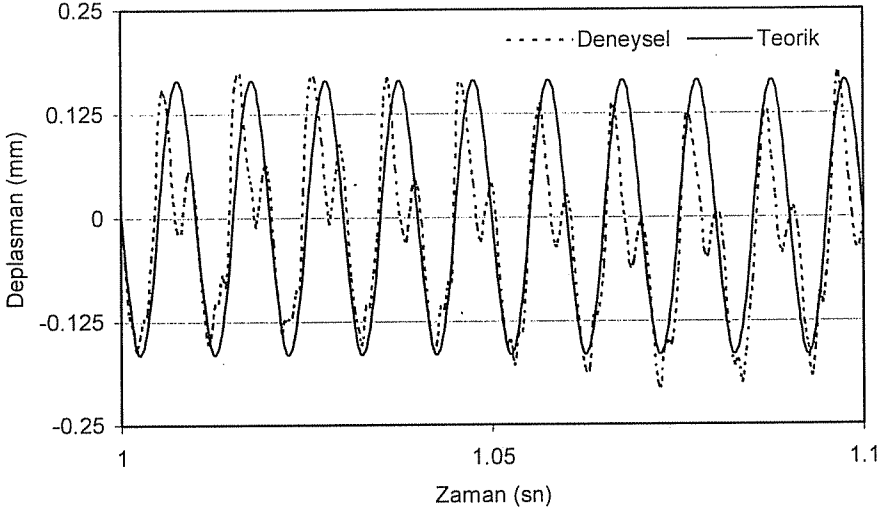
Şekil 8. 2 nolu noktada kalıp boş iken deneysel ve teorik olarak elde edilen deplasmanın zamanla değişimi (Kutu menfez kalıbı)



Şekil 9. A noktasında kalıp boş iken deneysel ve teorik olarak elde edilen deplasmanın zamanla değişimi (Kolon kalıbı)



Şekil 10. B noktasında kalıp boş iken deneysel ve teorik olarak elde edilen deplasmanın zamanla değişimi (Kolon kalıbı)



Şekil 11. C noktasında kalıp boş iken deneysel ve teorik olarak elde edilen deplasmanın zamanla değişimi (Kolon kalıbı)

6. SONUÇLAR

Dış vibratörler kullanılarak üretilen prefabrik yapı elemanlarında şantiye deneyleri, Kambeton firmasının (Adana) üretim tesislerinde, veri toplama sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Prefabrik yapı elemanı üzerinde yapılan deneylerde, bu elemanı oluşturan çelik kalıbın yüzeyinde seçilen bazı noktalarda, hem kalıbın boş olması hem de taze beton ile dolu olması hallerinde ayrı ayrı ölçümler alınarak kaydedilmiştir. Bu çalışmada, teorik analizler sadece boş kalıplar üzerinde gerçekleştirilmiş ve sonuçlar, boş kalıplar üzerinde deneysel olarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Dinamik mod birleştirme analizinde, aynı sayıda mod kullanılması koşuluyla, Ritz vektörleri kullanılarak yapılan analizlerin tamamlanma süresi (computer time) Özvektörlerin kullanılmasına göre çok önemli oranda azalmaktadır; ayrıca, dinamik kütle katılım oranları büyük ölçüde artmaktadır. Bu nedenle, binlerce dinamik serbestlik derecesine sahip karmaşık kalıp sistemleri için, dinamik mod birleştirme analizinde, Ritz vektörlerinin kullanılması önerilmektedir.

7. KAYNAKLAR

1. Wenzel, D., "Compaction of concrete-principles, practice, special problems". *Betonwerk und Fertigteile - Technik*, 52 (3), 153-158, 1986.
2. Wilson, E.L., Yuan, M.W. and Dickens, J.M., "Dynamic Analysis by Direct Superposition of Ritz Vectors", *Earthquake Eng. and Structural Dynamics*, 10, 813-823, 1982.
3. SAP2000®, "Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures", *Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA, 1999.*

NEHİR AKIMLARININ DETERMİNİSTİK VE STOKASTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ*

Murat ÇOBANER

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

Mahmut ÇETİN

Ç.Ü., Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana/Türkiye

Recep YURTAL

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

ÖZET : *Su yapılarının tasarımında hidrolojik ve meteorolojik verilerin işlenmesi ve temel girdi olarak kullanılması önemlidir. Bu veriler, doğası gereği rastgele karakterli olduğundan dolayı, gelecekte alacakları değerlerde olasılık ve istatistik kuralları ile belirlenebilmektedir. Bu çalışmada, aylık nehir akımlarına en iyi uyan otoregresif (AR(p)) modelin saptanması amaçlanmıştır. Verilerin ön istatistiksel analizleri %5 önem düzeyinde yapılmış ve verilerin gidiş bileşenine sahip olmadığı görülmüştür. Stokastik bileşenin elde edilebilmesi için verilere Fourier analizi uygulanarak tarihi serilere ait ortalama ve standart sapmadaki periyodik bileşen verilerden uzaklaştırılmıştır. Korelogram yapısından serinin üçüncü mertebeden otoregresif (AR(3)) modelle ifade edilebileceği belirlenmiştir. Otoregresif modele ait artık terimler Ljung-Box istatistiği ile analiz edilmiştir ve artık terimlerin bağımsız olduğu sonucuna varılmıştır.*

INVESTIGATION OF DETERMINISTIC AND STOCHASTIC PROPERTIES OF STREAMFLOWS

ABSTRACT : *Processing and using hydrological and meteorological data as basic input variables are of importance in planning water related structures. Because the nature of hydrometeorological data whose characteristics are expected to be random. Their future values can be determined by the rules of probability and statistics. In this study, investigating the best-fitted autoregressive model (AR (p)) to the monthly stream flows is aimed. Statistical analyses indicated that the studied stream flow data did not have a trend component at 5 % level of significance. The periodic component in the mean and standard deviation were removed through applying Fourier analyses from historical data to obtain stochastic component. Correlogram analyses indicated that the dependent part of stochastic component was defined well by the third order autoregressive model (AR (3)). The residuals of the autoregressive model were analyzed with Ljung-Box statistic; and it was concluded that residuals were uncorrelated.*

* Bu çalışma Çukurova Üniv. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.
Proje No: MMF2002BAP57

1. GİRİŞ

Herhangi bir akarsu üzerinde bir su yapısının projelendirilmesi için akarsuyun o kesitindeki günlük debilerin gelecekte alacağı değerlerin tahmin edilebilmesi gerekir. Gözlem istasyonlarının genellikle kayıt uzunluklarının kısa olması nedeni ile, gözlemlerden faydalanılarak istatistik metodlarla hesaplanan istatistikler ve bu istatistikler kullanılarak elde edilen belirli güven düzeyindeki populasyon parametreleri yeterli derecede sağlıklı sonuçlar vermeyebilir. Bu nedenle, mevcut kısa süreli verilere dayanarak nehir akımlarını temsil eden bir model kurmak ve bu modele ilişkin parametreleri tahmin ederek yeni zaman dizileri türetmek sureti ile gözlem süresince elde edilemeyen kritik değerlerin izlenmesi mümkün olabilir.

Zaman serilerinin deterministik ve stokastik olmak üzere iki grup bileşeni vardır. Deterministik kısmını gidiş ve periyodik bileşenler oluşturmakta ve matematiksel olarak ifade edilebilmektedir. Stokastik bileşen ise, iç bağımlılık yapısı ve olasılık dağılımına bağlı olarak değişim göstermektedir.

Hidrolojik çalışmalarda zaman serisi analizi yapılırken varsa gidiş ve periyodik bileşenler tespit edilerek serinin bu bileşenlerden arındırılması yani standardize edilmesi gerekmektedir [1].

Bu çalışmada, Ceyhan havzasında yer alan Hurman Suyu üzerindeki 2015 nolu akım gözlem istasyonuna (AGİ) [2] ait uzun yıllık aylık nehir akımlarının matematiksel olarak ifade edilmesi ve geleceğe dönük aylık akım tahmini yapılabilmesi için gerekli otoregresif modelin (AR(p)) ortaya konulması amaçlanmaktadır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Materyal

Bu çalışmada, K. Maraş'ın Elbistan ilçesinin Kuzey-batısında yer alan Ceyhan havzasındaki Hurman suyuna ait EİEİ Genel Müdürlüğünce işletilen 2015 nolu akım gözlem istasyonunun (AGİ) 1957-1994 yılları arasında gözlemlenen aylık nehir akımları kullanılmıştır [2].

2.2. Metod

2.2.1. Matematik Model

Zaman serisinin (X_t), gidiş (T_t), periyodik (P_t) ve stokastik bileşenleri (S_t) toplam, çarpım veya herikisinin bileşimi şeklinde de ifade edilebilmektedir. Hidrolojik zaman serileri analizinde, genellikle (1) Eşitliği ile deyimlenen toplamsal zaman serisi ifadesi kullanılmaktadır [3].

$$X_t = T_t + P_t + S_t \quad (1)$$

2.2.1. Deterministik Bileşen Analizi

Zaman serilerinin deterministik bileşenlerinden olan gidiş bileşeninin saptanmasında Spearman, Kendall Sıra Korelasyon ve regresyon testleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Gidişin saptanmasında hesaplama kolaylığı, lineer olmaması ve serideki gidişin başlangıç noktası hakkında bilgi vermesi nedeni ile ardışık Man-Kendall $u(t_i)$ testi yaygın olarak kullanılmaktadır [4]. Bu test, gözlem değerleri yerine sıra sayılarını (y_i) esas almaktadır [4]. n elemanlı bir seri artan yönde sıralandığında,

yeni bir dizi oluşturan sıra sayılarının $i > j$ için ($i=2, \dots, n; j=1, \dots, i-1$), $y_i > y_j$ koşulunu sağlayan y_j elemanlarının sayısı, n_i , saptanarak her alt grup i için, test istatistiği t_i , beklenen değer $E(t_i)$, varyansı $Var(t_i)$ ile standardize değişken $u(t_i)$ Eşitlik (2) ile hesaplanabilir [5].

$$t_i = \sum_{k=2}^i n_k; \quad i = 2, 3, \dots, n; \quad E(t_i) = \frac{i(i-1)}{4} \quad (2)$$

$$Var(t_i) = \frac{i(i-1)(2i+5)}{72}; \quad u(t_i) = \frac{t_i - E(t_i)}{\sqrt{Var(t_i)}}$$

Eşitlik (2)'de verilen hesaplamalar, serinin sonundan başına doğru (ters yönde) tekrarlanarak $u'(t_i)$ standardize değişkeni hesaplanır. $u(t_i)$ ve $u'(t_i)$ standardize değişkenleri zamana karşı grafiklenerek belirlenen α önem düzeyinde gidişin varlığı ve yönü saptanır.

Gözlem serisinde gidişin varlığı tespit edilirse, regresyon analizi Kottegoda [6] veya diğer yöntemlerle gidişin seriden uzaklaştırılması gerekmektedir.

Aylık gözlemlerden oluşan bir serinin ortalama, standart sapma vb. parametrelerindeki olası periyodik bileşen, *Fourier yaklaşımı* kullanılarak Eşitlik (3) ile temsil edilebilir [7]. Eşitlik (3)'teki *Fourier kat sayıları* ve *anlamli harmoniklerin* saptanması Yevjevich [8]'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

$$V_t = \bar{u} + \sum_{j=1}^h \left\{ A_j \cos\left(\frac{2\pi j \tau}{w}\right) + B_j \sin\left(\frac{2\pi j \tau}{w}\right) \right\}, \quad \tau = 1, 2, \dots, w; \quad \bar{u} = \frac{1}{w} \sum_{\tau=1}^w u_t \quad (3)$$

$$A_j = \frac{2}{w} \sum_{\tau=1}^w u_t \cos\left(\frac{2\pi j \tau}{w}\right); \quad B_j = \frac{2}{w} \sum_{\tau=1}^w u_t \sin\left(\frac{2\pi j \tau}{w}\right); \quad j = 1, 2, 3, \dots, h$$

Burada;

u_t = Hidrolojik serinin gözlenen parametresi,

$\tau = Ay$,

A_j, B_j = Fourier kat sayıları,

h = Toplam harmonik sayısı,

w = Periyot, aylık seriler için 12 alınır.

Ortalama ve standart sapmadaki periyodik bileşenler (m_τ ve s_τ) saptandıktan sonra, süreçteki i yılı ve τ ayındaki gözlenen $x_{i,\tau}$ gözlem değerinden (4) Eşitliği kullanılarak periyodik bileşen uzaklaştırılır ve seri durağan hale getirilir [7].

$$y_{i,\tau} = \frac{x_{i,\tau} - \alpha_\tau}{s_\tau}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, v; \quad \tau = 1, 2, 3, \dots, 12; \quad (4)$$

Burada: α_τ , ortalama için τ ayına ait periyodik bileşeni; S_τ , standart sapma için τ ayına ait periyodik bileşeni; v ise, toplam yıl sayısını ifade etmektedir.

Stasyoner sürecin iç bağımlılık yapısı, korelogram analizi ile ortaya konulur [1]. k gecikmeli otokorelasyon kat sayısı, r_k , değerlerinin %95 olasılık düzeyinde sıfırdan anlamlı derecede farklı olup olmadığı, Anderson testi [9] kullanılarak belirlenir.

2.2.2. Stokastik Bileşen Analizi

Otokorelasyon analizi ile önemli bulunan r_k değerleri kullanılarak, kısmi otokorelasyon kat sayıları (5) ve (6) Eşitlikleri ile hesaplanmaktadır [10].

$$\phi_{p,p} = \frac{r_p - \sum_{j=1}^{p-1} \phi_{p-1,j} r_{p-j}}{1 - \sum_{j=1}^{p-1} \phi_{p-1,j} r_j} \quad (5)$$

$$\phi_{p,j} = \phi_{p-1,j} - \phi_{p,p} \phi_{p-1,p-j} \quad (6)$$

Burada;

p = AR model mertebesi

r_j = j gecikmeli otokorelasyon kat sayısı

$\phi_{p,j}$ = p mertebeli otoregresif modelin j inci otoregresif kat sayısı

Otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon kat sayılarının korelogramları birlikte yorumlanmak sureti ile olası otoregresif model mertebesine (AR(p)) karar verilir [11]. Model mertebesine karar verildikten sonra, modele ait parametreler Yule-Walker denklemleri yardımıyla hesaplanır [12].

2.2.3. Artık Terimler Analizi

Yule-Walker denklemleri ile elde edilen parametreler Eşitlik (7)'de verilen otoregresif modelde yerine konularak artık terimler ε_t elde edilir.

$$\varepsilon_t = Z_t - \sum_{k=1}^p \phi_{p,k} Z_{t-k} \quad (7)$$

Burada;

Z_t = Stokastik Sürecin t zamanında alacağı değer

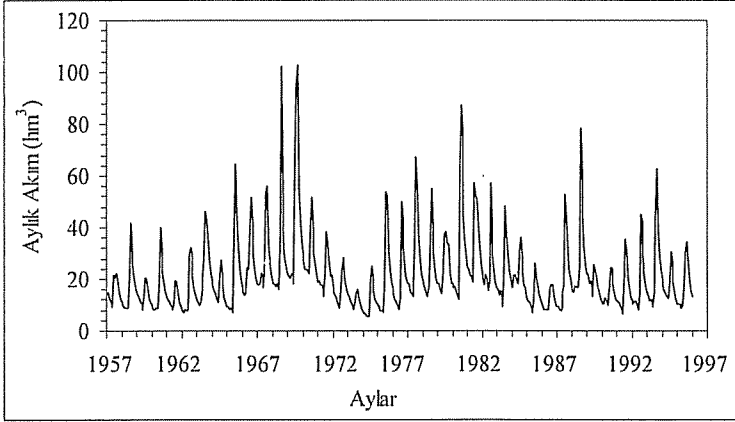
$\phi_{p,k}$ = p inci mertebeden otoregresif modelin (AR(p)) k ncı otoregresif kat sayısı

Artık terimlerin otokorelasyon kat sayılarının sıfırdan önemli derecede farklı olup olmadığı, Ljung-Box istatistiği ile %5 önem düzeyinde test edilir [13].

İncelenen zaman serisinin bütün bileşenleri deterministik ve stokastik olarak belirlendikten sonra elde edilen artık terimlere uyan olasılık yoğunluk fonksiyonu belirlenir. Bu dağılıma uyan rastgele karakter taşıyan belirli uzunluktaki ε_t serisi türetilir. Saptanan deterministik ve stokastik bileşenler yerine konularak bütünlük model elde edilir; bu model sentetik seri üretiminde kullanılabilir [1].

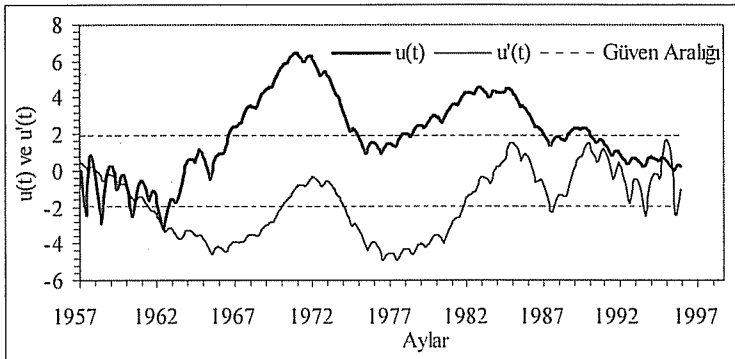
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Ceyhan nehrinin 2015 nolu Akım Gözlem İstasyonuna (AGİ-2015) ait aylık akım değerleri Şekil 1'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, debi gidiş çizgisinde gözle görülebilir herhangi bir eğilim izlenmemektedir.



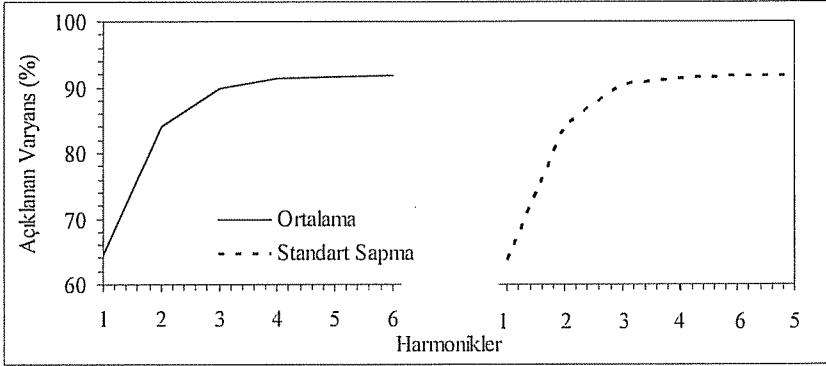
Şekil 1. Hurman suyu aylık akımları gidiş çizgisi

AGİ-2015'in uzun yıllık aylık akım serisi Mann-Kendall $u(t)$ gidiş testine tabi tutulmuştur ve sonuçlar Şekil 2'de verilmiştir. Seride 1963-1971 ve 1976-1984 yılları arasında artan yönde bir gidiş, 1971-1976 ve 1984-1989 yılları arasında da azalan yönde gidiş görülmektedir. 1963-1989 tarihleri arasında 13 yıllık periyoda sahip dalgalanmalar görülmektedir. Bunların yanı sıra, gidiş çizgisinin birbirine benzeyen başlangıcına ve sonuna bakıldığında 1963 yılından başlayan ve 1990'lı yıllarda tamamlanan uzun yıllık periyoda da sahip olabileceği düşünülebilir. Serideki değişik zamanlarda meydana gelen dalgalanmalar, %95 güven sınırlarını aşsa da periyodik bir seyir sonunda tekrar güven sınırlarının içine girmiştir. Akım serisinde, yapılan test sonucunda gidiş olmadığı kanaati olduğundan gidiş bileşeni modellenmemiştir.



Şekil 2. AGİ-2015'in uzun yıllık aylık akım serisi Mann-Kendall $u(t)$ ve $u'(t)$ testi sonuçları

Gidiş bileşeni içermeyen aylık ortalama akım serisinin ortalama ve standart sapmadaki periyodikliği belirlemek amacıyla, seri elemanları *Fourier Analizine* tabi tutulmuştur. Aylık akımların ortalama ve standart sapmasına ilişkin periyodogramları Şekil 3'te gösterilmiştir.

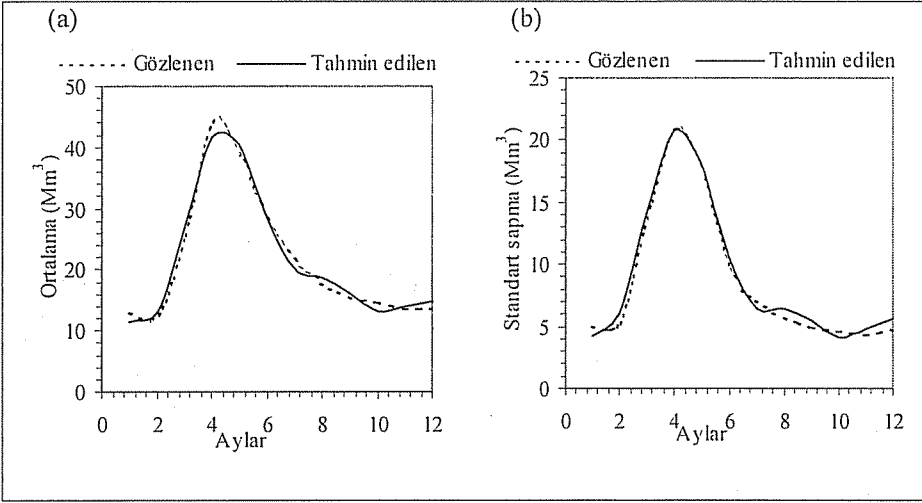


Şekil 3. Aylık akımların (a) ortalama ve (b) standart sapmasına ilişkin periyodogramları

Periyodogram analizi sonucunda, ortalamadaki periyodikliğin %89.96 ve standart sapmadaki periyodikliğin ise, %90.60 oranında açıklanabileceği anlaşılmıştır. Ortalama ve standart sapmaya ilişkin Fourier analizi sonucu elde edilen kat sayılar, Çizelge 1'de sunulmuştur. Saptanan Fourier kat sayıları kullanarak süreçteki periyodik bileşen modellenmiş; gözlenen ve modelle tahmin edilen parametreler Şekil 4(a) ve 4(b)'de verilmiştir. Serinin ortalama ve standart sapma parametreleri etrafındaki periyodik bileşen, kurulan periyodik model yardımıyla seriden uzaklaştırılmış ve seri stasyonere hale getirilmiştir.

Çizelge 1. Ortalama ve standart sapmaya ilişkin Fourier kat sayıları

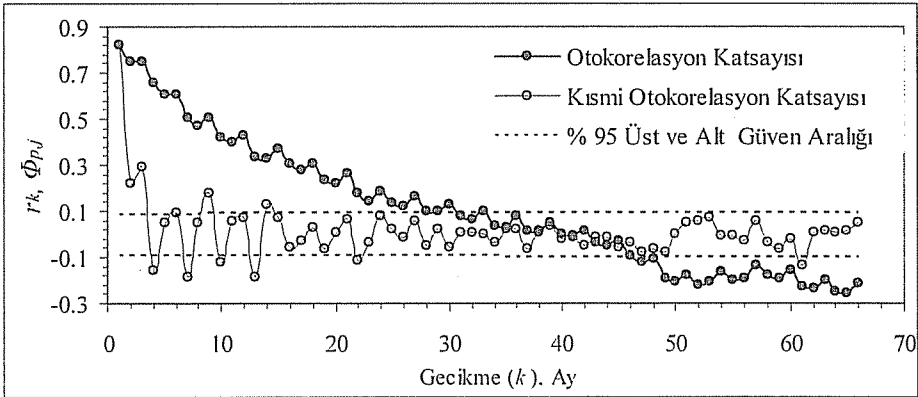
Harmonikler (j)	Ortalama		Standart Sapma	
	A_j	B_j	A_j	B_j
1	-10.15	6.61	-4.472	4.712
2	-0.11	-6.65	-0.919	-3.552
3	3.42	1.20	2.057	0.419



Şekil 4. Hurman suyu aylık akımlarına ilişkin gözlenen ve *Fourier analizi* ile tahmin edilen parametrelerinin değişimi

Elde edilen stasyonere serinin ortalaması ($\bar{y} = 0.021$) ve standart sapması ($S_y=1.020$) kullanılarak seri tam standardize hale getirilmiştir. Tam standardize serinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonları Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 5 incelendiğinde, birçok r_k değerinin %5 önem düzeyinde sıfırdan önemli derecede farklı olduğu görülmektedir. Otokorelasyon fonksiyonunun üssel olarak azalması ise, serinin otoregresif (AR) bir model ile tanımlanabileceğini ima etmektedir (13). Kısmi otokorelasyon fonksiyonu incelendiğinde ise, dördüncü gecikmeden sonra genellikle $\Phi_{p,j}$ kat sayıları %95 güven sınırları içinde kaldığı izlenmektedir.



Şekil 5. Hurman suyu aylık akımlarına ilişkin tam standardize değişkenin (Stokastik bileşenin) otokorelasyon (r_k) ve kısmi otokorelasyon ($\Phi_{p,j}$) fonksiyonu

Yule-Walker denklemlerinin çözümünden otoregresif kat sayılar $\Phi_{1,3} = 0.58$, $\Phi_{2,3}=0.028$, $\Phi_{3,3} = 0.298$, olarak bulunmuştur. Buna göre tam standardize serinin otoregresif modeli $AR(p=3)$ kurulmuş ve Eşitlik (8) ile verilmiştir.

$$Z_t = 0.58 Z_{t-1} + 0.028 Z_{t-2} + 0.298 Z_{t-3} + \varepsilon_t \quad (8)$$

Eşitlik (8) ile saptanan stokastik modelin uygunluğu, ε_t artık terimlere ilişkin otokorelasyon kat sayılarının analizi sonucu hesaplanan *LJung-Box istatistiği* ile yapılmıştır. $AR(1)$ 'in artık terimlerinin bağımlılığı $t_1=3.85 > t_{critical}=1.25$, $AR(2)$ 'nin artık terimlerinin bağımlılığı $t_2=1.38 > t_{critical}=1.25$, $AR(3)$ 'ün ise artık terimlerinin bağımlılığı $t_3=1.01 < t_{critical}=1.25$ olarak bulunmuştur. $AR(3)$ otoregresif modeline ait artık terimlerin iç bağımlı kontrol edilmiş ve iç bağımlılığın %95 olasılıkdüzeyinde önemsiz olduğu saptanmıştır; dolayısıyla seçilen $AR(3)$ otoregresif modelin uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile 2015 nolu AGİ'ye ait uzun yıllık aylık akım serilerinin matematik modelinin elde edilmesi amacıyla yapısal analizi yapılmıştır. Veriler, deterministik ve stokastik bileşenlerine ayrılmış ve bileşenlere ait parametreler saptanmıştır. Yapılan testlere göre; ortalama ve standart sapma etrafındaki periyodik bileşen 3 harmonikli bir modelle; stokastik bileşen ise, $AR(3)$ modeli ile ifade edilebilmiştir. Deterministik ve stokastik model parametreleri bütünlük modelde yerine yazılırsa, herhangi bir i yılının τ ayına ait aylık akım değeri $X_{i,\tau}$, önceki aylık akım değerlerine bağlı olarak aşağıdaki denklem yardımıyla kestirilebilir.

$$X_{i,\tau} = [S_y * (AR(3)) + \bar{y}] S_\tau + \alpha_\tau \quad (9)$$

Burada:

\bar{y}, S_y = Stasyoner serinin ortalaması ve standart sapması,

$$\alpha_\tau = 21.69 + \sum_{j=1}^3 \left[A_j \cos\left(\frac{2\pi j \tau}{w}\right) + B_j \sin\left(\frac{2\pi j \tau}{w}\right) \right] \quad (10)$$

$$S_\tau = 8.86 + \sum_{j=1}^3 \left[A_j \cos\left(\frac{2\pi j \tau}{w}\right) + B_j \sin\left(\frac{2\pi j \tau}{w}\right) \right] \quad (11)$$

Fourier kat sayıları Çizelge 1' den alınacaktır. İç Bağımlılığı sıfırdan farklı olmayan otoregresif modele ait (ε_t) artık terimlerin iki parametrelili *Gamma dağılımına* uyduğu belirlenmiştir. Artık terimlerin bazı değerleri sıfırdan küçük olduğu için tüm terimlere 1.5 ilave edilmiş ve artık terimlerin ortalaması $\bar{\varepsilon}_t = 1.496$ ve standart sapması $S_{\varepsilon_t} = 0.527$ elde edilmiştir. *Gamma dağılımına* ait parametreler sırasıyla; $\alpha_{Gamma} = 7.985$ ve $\beta_{Gamma} = 5.337$ olarak bulunmuştur. Eşitlik (9) ve *Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonu* kullanılarak istenen uzunlukta aylık akım değerleri türetilebilir. Böylece, herhangi bir i yılının τ ayına ait aylık akım değeri $X_{i,\tau}$ 'yi elde edebiliriz. Böylelikle bu modele

dayanarak çok uzun süreli serilerin türetilmesi mümkün olabilecektir. Dolayısıyla, geçmişte gözlenemeyen ve ardışık olarak elde edilmeye olanağı olan aylık akım serilerinin izlediği tavrın incelenme olanağı elde edilebilecektir. Aynı zamanda ciltler tutan gözlem sonuçları yerine parametreleri belli olan bir matematik modelle aylık akım debilerinin gelecekte alacağı değerler de belirlenebilecektir.

Bu araştırmada izlenen yol; su kaynaklarının planlanmasında, sulama amaçlı yapıların kapasitelerinin tayininde, aylık akımların büyüklük ve tekerrür aralıklarının belirlenmesinde, olası kuraklık analizinde, uzun zaman dönemlerinde olması muhtemel işletme senaryolarına ilişkin araştırmalarda kullanılabilir. Havzada yer alan her bir AGİ verisine, izlenen yöntem uygulanarak parametrelerin değişimi araştırılabilir; deterministik ve stokastik bileşenlere ait kat sayıların havza fiziksel nitelikleri ile ilişkileri incelenebilir.

5. SEMBOLLER

X_t	: zaman serisi değişkeni
T_t	: gidiş bileşeni
P_t	: periyodik bileşeni
S_t	: stokastik bileşeni
$E(t_i)$: beklenen değer
$Var(t_i)$: varyans
$u(t_i), u'(t_i)$: standardize değişkenler
u_τ	: hidrolojik serinin gözlenen parametresi,
τ	: ay
A_j, B_j	: fourier kat sayıları
h	: toplam harmonik sayısı
w	: periyot
α_τ	: serinin τ ayının ortalaması için periyodik bileşen
S_τ	: serinin τ ayının standart sapması için periyodik bileşen
p	: model mertebesi
r_k	: k gecikmeli otokorelasyon kat sayısı
$\Phi_{p,j}$: p mertebeli otoregresif modelin j inci otoregresif kat sayısı
Z_t	: stokastik Sürecin ta anındaki alacağı değer
Φ_l	: l inci mertebeden otoregresif modelin kat sayısı
k	: otoregresif modelin mertebesi
ε_t	: artık terim
$AR(p)$: p inci mertebeden otoregresif modeli

6. KAYNAKLAR

1. Çetin, M., "Jeoistatistiksel Yöntem İle Nokta ve Alansal Yağışların Saptanması ve Stokastik Olarak Modellenmesi Örnek Havza Uygulamaları", Doktora Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1996.
2. Nehir Akımları Yıllığı, Elektrik İşleri Etüd İdaresi, Ankara, (1957 – 1994).

3. Gupta,R.K., Chauhan,H.S., "Stochastic Modeling of Irrigation Water Requirements", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering (ASCE)*, Vol. 112, No. 1, 65-76, 1986.
4. Kadioğlu,M., Toros,H. ve Kurtuluş,B., "Küresel Isınma ve Türkiye'de Yağış Trendleri", DSİ 40. Kuruluş Yılı, Su ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı Bildirileri, Cilt 1, Ankara, 1994.
5. Türkeş,M., "Vulnerability of Turkey to Desertification with Respect to Precipitation and Aridity Conditions", *Turkish Journal of Engineering and Environmental Scence*, 23, p.363-380, 1999.
6. Kottegoda,N.T., "Stochastic Water Resources Technology", Department of Civil Engineering, University of Birmingham, The McMillan Press Ltd., London, 1980.
7. Salas,J.D., Delleur,J.W., Yevjevich,V and Lane,W.L., "Applied Modeling of Hydrologic Time Series", *Water Resources Publications*, Littleton, Colorado, 1980.
8. Yevjevich,Y., "Structural Analysis of Hydrologic Time Series", *Hydrology Papers*, Colorado State University, Colorado, Fort Collins, 1972.
9. Quimpo,R.G., "Stochastic Model of Daily River Flow Squences", *Hydrology Papers*, No. 18, Colorado State University, Colorado, Fort Collins, 1967.
10. Box,G.E.P., Jenkins,G.M., "Time Series Analysis Forecasting and Control", San Fransisco, Holden-Day Inc., 1976.
11. Johnston,J., Dinardo,J., "Econometric Methods", Mcgraw-Hill Intertional Editions, U.S.A., 1997.
12. Bowerman,B.L., O'connel,R.T., "Time Series and Forecasting", Duxbury Press, U.S.A., 1979.
13. Enders,W., "Applied Econometric Time Series", John Wiley&Sons, Inc., U.S.A, 1995.
14. Çetin,M., Tonkaz,T., Yücel,A., Topaloğlu,F., "Kimi İklim Ögelerinde Periyodik Bileşenin Otokorelasyon Yapısı Üzerine Etkisinin Araştırılması", 1. Türkiye Su Kongresi, İstanbul, 2001.

LİF TAKVİYELİ UÇUCU KÜLLÜ BETONLARIN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİ

Cengiz Duran ATİŞ ve Okan KARAHAN
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Uçucu kül, çelik lif ve polipropilen lif içeriğinin taze betondaki işlenebilirlik üzerindeki etkileri halen yürütülmekte olan bir laboratuvar çalışmasının sonuçlarının slump ve Vebe süresi sunularak gösterilmiştir. Kontrol beton karışımı için bağlayıcı ve agrega oranı ağırlıkça 1:4.7'dir. Su/bağlayıcı oranı 0.35, hiper akışkanlaştırıcı 1% olarak belirlenmiştir. Uçucu külü çimento ile kütlece %10, %15, %20, %25, %30 ve %45 ikame oranlarında yer değiştirilmiştir. 19 mm uzunluğundaki polipropilen lifler hacimce %0.05, %0.1 ve %0.2 oranlarında ve 35 mm uzunluğunda ve 0.55 mm çapındaki çelik lifler ise hacimce %0.25, %0.5, %1.0 ve %1.5 oranlarında ilave edilmiştir. Laboratuvar çalışmasının sonuçları lif tipine bakılmaksızın lif ilavesinin slump değerini azalttığını Vebe süresini ise arttırdığını göstermiştir. Bununla birlikte polipropilen liflerin işlenebilirlik üzerine etkisi çelik liflerin işlenebilirliğe olan etkisinden daha az olduğu bulunmuştur. Bu çalışmada sonuç olarak uçucu kül ikamesinin hem liflerle birlikte hem de ayrı olarak taze betonun işlenebilirliğine yardımcı olduğu anlaşılmıştır.

WORKABILITY PROPERTIES OF FIBER REINFORCED FLY ASH CONCRETE

ABSTRACT : An experimental results of an ongoing laboratory investigation conducted to evaluate the influence of fly ash, steel and polypropylene fibers content on the workability of fresh concrete was presented using slump and Ve-Be time. The control concrete mixture proportions were 1: 4.7 cement and aggregate in mass basis. Water-binder ratio and the amount of hyperplasticizer was kept constant as 0.35 and 1% of weight of cement respectively. Fly ash replacement ratios were 10%, 15%, 20%, 25%, 30% and 45%. Addition of fiber ratios were 0.05%, 0.1% and 0.2% for polypropylene fiber with 19 mm length, and 0.25%, 0.5%, 1.0% and 1.5% for steel fiber with 35 mm length and 0.55

diameter. The results of laboratory investigation show that the addition of fibers reduced the slump workability and increased the Ve-Be workability time regardless of fiber type. However, the influence of polypropylene fiber on the workability was found to be less than that of steel fiber. As a results of this laboratory work, it was concluded that fly ash replacement can help to improve the workability of fresh concrete containing steel and polypropylene fibers together and seperately.

1. GİRİŞ

Günümüzde beton üretiminde, maliyetin azaltılması ve daha iyi bir performans elde edilmesi açısından pek çok araştırmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Gevrek bir malzeme olan geleneksel betonlar çekme ve eğilme dayanımı, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı ve çatlak-sonrası-yük taşıma-kapasiteleri-bakımından zayıf özelliklere sahiptirler. Liflerin betona katılmasıyla betonların bu özelliklerinde belirgin iyileşmeler elde edilmiştir. Uçucu kül kullanımı ile ağırlıkça %50 yer değiştirme oranında normal beton dayanımına eşdeğer dayanım geliştiren beton üretilebileceği belirtmiştir (1,2). Böylece maliyeti yüksek olan Portland çimentosundan tasarruf sağlanmasına yardım ederken, betonun taze ve sertleşmiş haldeki performansını belirgin bir şekilde arttırmaktadır. Uçucu kül, hidrasyon ısısını düşürmekte ve işlenebilirliği arttırmakta, uzun vadede ise mekanik dayanımlara ve durabiliteye olumlu katkıda bulunmaktadır.

1.1. Liflerin İşlenebilirliğe Etkisi

Beton içerisine liflerin katılması sonucu taze beton özelliklerinde bazı değişiklikler gözlenir. Taze beton özelliği denince akla ilk gelen kavram işlenebilirlik, betonun kolayca karılabilmesi, segregasyon yapmadan taşınabilmesi, yerleştirilebilmesi, sıkıştırılabilmesi ve yüzeyin düzeltilebilmesi gibi tüm bu özelliklerle ilgilidir. Literatürde çalışmaların birçoğunda betona lif ilave edilmesiyle işlenebilirlikte önemli derecede azalmalar tespit edilmiştir. Bu azalma üzerindeki en önemli iki parametre, karışımdaki lif hacmi ve lif görünüm oranı olarak tanımlanan lifin uzunluk/çap oranı yani narinliğidir. Bu önemli parametrelerin dışında liflerin betona katılması, karıştırma teknikleri ve lifli betonun karışım tasarımları da lifli taze betonun özelliklerini önemli ölçüde etkiler.

Lifsiz betonlarda işlenebilirliği ölçmek için pratik olması nedeniyle çok kullanılan slump (çökme) deneyi çelik liflerle güçlendirilmiş beton karışımlarında pek kullanılmaz. Slump yöntemi ile yapılan işlenebilirlik deneylerinde lifli betonun işlenebilirliği sağlıklı olarak tespit edilememiştir (3). Bununla birlikte göreceli olarak slump yöntemi kullanılsa da işlenebilirliğin ölçüsü olarak değerlendirilmemektedir. Çelik lifler ile güçlendirilmiş betonların işlenebilirliğini ölçmek için en uygun yöntem Ve-Be deneyidir (3,4).

Uyan M., ve arkadaşları, 50 mm uzunluğunda ve 0.5 mm çapında çelik liflerin kullanıldığı 350 kg/m³ çimento dozajlı ve su/çimento oranının 0.58 olduğu karışımlar hazırlayıp, bu karışımların birisinde çimento ağırlığına oranı %0.3, diğerinde %0.5 su azaltıcı-akışkanlık verici katkıları kullanılmışlardır. Maksimum tane çapının 16 mm olduğu bu karışımlarda üç değişik yöntem ile taze betonun işlenebilirliği ve hava yüzdesi

ölçülmüştür. Beton içerisinde lif hacminin artmasıyla her üç yöntemde de işlenebilirliğin güçleştiği tespit edilmiştir. Ve-be ve ters koni yöntemleri kullanılarak yapılan ölçümlerde lif yüzdesinin yaklaşık 0.6-0.8 aralığından sonra işlenebilirlikte önemli güçlükler görülmüştür. Lif içeriğinin %0.8 olduğu karışımlarda ise liflerin karışım sırasında topaklandığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen bir diğer sonuç ta katkısız betonlarda lif içeriğinin artması ile taze betonda hava miktarının azalmasıdır (5).

Bayasi ve Soroushian (6), çalışmalarında lif içeriği ve görünüş (uzunluk/çap) oranının artması ile beton işlenebilirliğinde azalmalar tespit etmişlerdir, bu azalmanın lif içeriği ve geometrisi ile doğru orantılı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, lifli betonun işlenebilirliği lif şekli ve görünüş oranına göre değişmektedir. Lif içeriğinde kıvrımlı olan liflerin katılmış olduğu karışımlar işlenebilirlik açısından en iyi sonucu vermiştir.

1.2. Uçucu Külün İşlenebilirliğe Etkisi

Uçucu külün taze beton karışımı üzerindeki en iyi bilinen etkilerinden biri, betonun işlenebilirliğini bozmadan, gerekli su miktarını azaltabilme kabiliyetidir. Uçucu külün beton karışımı üzerindeki bu etkisi genellikle uçucu külün fiziksel özelliklerine, karbon içeriğine, tane inceliğine, tane şekline ve özellikle tane yüzey yapısına bağlıdır.

Uçucu külün taze betonun işlenebilirliği ve su ihtiyacı üzerindeki etkisi, laboratuvar araştırmalarının yanı sıra pratik uygulamalarda da gözlemlenmiştir. Brown (7), uçucu kül içeren betonun işlenebilirliği ve uçucu külün işlenebilirliğe etkisi üzerine bir araştırma yapmıştır. Uçucu kül miktarının kullanılması ile çökme (slump) ve V-B işlenebilirliğinin arttığını rapor etmiştir.

Ravina ve Mehta (8), uçucu külün beton işlenebilirliği üzerine olan etkisini göstermişlerdir. Çalışmalarının sonuçlarına göre, uçucu kül içeren beton karışımlarının işlenebilirliğinin, uçucu kül içermeyen kontrol betonlarına göre daha iyi olduğu rapor edilmiştir. Çimento malzemesi ağırlık bakımından %50 oranında uçucu kül ile yer değiştirilerek üretilen beton karışımlarının tamamında, hedef çökmeyi sağlamak için gerekli olan su miktarı yaklaşık olarak %5-%10 arasında azalmıştır.

Mehta (9), yan ürün olarak elde edilen silisli maddelerin fiziksel karakteristikleri, NPC beton karışımları içine katkı olarak kullanıldıklarında karışım suyu ihtiyacını azaltma kabiliyetlerinin sebeplerini açıklamaktadır. Bu mineral katkı maddelerinin camsı ve emici olmayan yüzey yapısı, çimento ile kısmi olarak yer değiştirilme yolu ile silisli yan ürünler içeren beton harç ve bağlayıcıların daha iyi işlenebilirliği ve daha az su ihtiyacı göstermelerinden kısmen sorumlu olduğu belirtilmiştir.

Naik ve Ramme (10), aynı işlenebilirlik ve farklı mukavemet düzeyleri için betonun su ihtiyacı ile uçucu külün kullanıma oranı arasındaki ilişki üzerinde çalışmışlar ve beton karışımındaki uçucu kül oranı arttıkça gerekli su miktarının azaldığı sonucunu elde etmişlerdir.

Ayrıca, uçucu külün işlenebilirlik üzerine olan etkisi, uçucu kül ve çimento arasındaki özgül ağırlıkların farklılıklarına da dayanmaktadır. Uçucu külün özgül ağırlığının normal Portland çimentosununkinden daha düşük olması nedeni ile ağırlık bazında yer değişimi,

taze betonun işlenebilirliğine hakim olan, betondaki yapıştırıcı hamur miktarını artırmakta ve işlenebilirliği iyileştirmektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

2.1.1. Çimento

Çalışmada Adana Çimento Sanayi tarafından üretilen standart PÇ-42.5 çimento kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal özellikleri Çizelge 1 de verilmektedir.

Başlangıç ve bitiş priz süresi 2.¹⁸ ve 3.²³ saattir. Çimento özgül ağırlığı 3.06 gr/cm³ olup, Blaine özgül yüzeyi 3250 cm²/gr dır.

Çizelge 1. Çimento ve Uçucu Kül Kimyasal Kompozisyonu (%)

Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	KK
Çimento	19.71	5.20	3.73	62.91	2.54	2.72	0.90	0.25	0.96
U.Kül	52.50	22.82	5.34	7.16	2.56	0.20	0.99	0.48	3.35

2.1.2. Uçucu Kül

İskenderun Su-gözü Termik santralinden taşkömürü yakılarak enerji elde edilmekte olan tesisten Adana ÇimSA Hazır Beton aracılığıyla temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan uçucu küle ait kimyasal kompozisyon Çizelge 1 de görülmektedir.

Su-gözü uçucu külü, reaktif kireç miktarının %10'un altında olması nedeniyle TS EN 197-1 (11) standardına göre V sınıfına (silissi uçucu kül) girmektedir. Yine ASTM C 618 (12) standardına göre SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ değerinin %70'nin üzerinde olması ve CaO miktarının %10'dan az olması nedeniyle F sınıfı (düşük kireçli) uçucu kül sınıfına uymaktadır. SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃'in %70'in üzerinde olması nedeniyle TS 639'da (13) istenen şarta uymaktadır. Uçucu kül özgül ağırlığı 2.31 gr/cm³, Blaine özgül yüzeyi ise 2900 cm²/gr dır.

2.1.3. Agregası

Beton karışımlarında kullanılan agreganın maksimum tane çapı 16 mm olup, yıkanmış ve etüvde kurutulduktan sonra kullanılmıştır. İnce ve iri agreganın kuru yüzey doymun özgül ağırlıkları sırasıyla 2.61 ve 2.70 dir. Karışımda kullanılan karışık agreganın eleklerden geçen yüzde değerleri Çizelge 2 de sunulmuş olup, TS 706 (14) standart sınırları ile birlikte verilmektedir. Agregası granülometrisi beton içinde kullanıma elverişli bulunmuştur.

Çizelge 2. Agregası Granülometrisi ve Standart Sınırları

Elek Açıklığı (mm)	Alt Sınır (A)	Orta Sınır (B)	Üst Sınır (C)	Agregası Granülometrisi

LİF TAKIYELİ UÇUCU KÜLLÜ BETONLARIN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİ

16	100	100	100	100
8	60	76	88	76.6
4	36	56	74	45.5
2	21	42	62	27.0
1	12	32	49	19.9
0.5	7	20	35	14.7
0.25	3	8	18	3.5

2.1.4. Lifler

Beksa Çelik Tel ve Kord San. ve Tic. Anonim Şirketinden temin edilen RC 65/35 BN tipi iki ucu kancalı, kaplamasız ve düşük karbonlu çelik tel ve Polipropilen Elyaf San. ve Dış Tic. Ltd. Şirketinden temin edilen fibrilize F19 tipi polipropilen lif kullanılmıştır. Kullanılan liflerle ilgili özellikler Çizelge 3 te verilmektedir.

Çizelge 3. Liflerin Özellikleri

Lif Tipi	Boy (mm)	Çap (mm- μ)	Narinlik (l/d)	Yoğunluk (g/cm ³)	Kullanılan Dozaj (%)
Çelik Tel	35 mm	0.55 mm	65	7.85	0.25, 0.5, 1.0, 1.5
Polipropilen	19 mm	0.022 μ	-	0.91	0.05, 0.1, 0.2

2.1.5. Akışkanlaştırıcı

Numunelerin hazırlanmasında erken yüksek mukavemet, mükemmel yüzey görünümü ve nihai yüksek performansa gereksinim duyulan, prefabrik beton ve hazır beton endüstrisi için geliştirilmiş, yüksek oranda su ihtiyacını azaltan, klor içermeyen yeni nesil YKS Glenium 51 hiper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanılmıştır. Katkının miktarı çimento ağırlığının %1'i olarak belirlenmiştir. Hiper akışkanlaştırıcının teknik özellikleri Çizelge 4 de verilmektedir.

Çizelge 4. Akışkanlaştırıcı Teknik Özellikleri

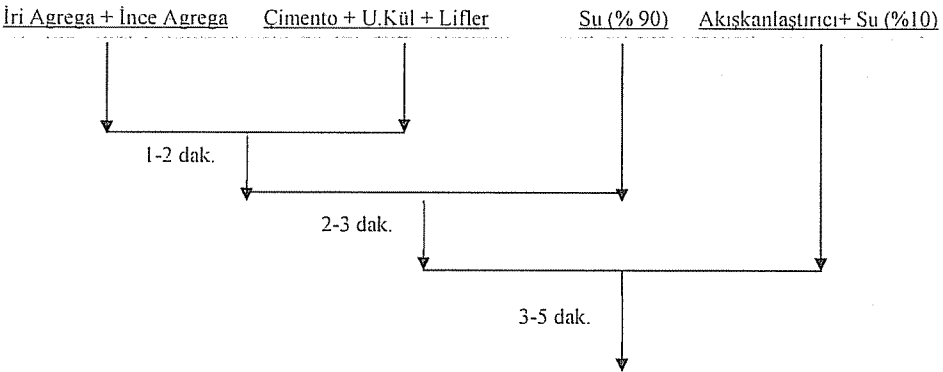
Yoğunluk (g/cm ³)	Klor (%)	Renk	Homojenite	Kimyasal İçeriği
1.07-1.012	<0.1	Amber	Homojen	Polikarboksilik Eter Zincirleri

2.2. Beton Karışımları

Yapılan bu çalışmada hazırlanan kontrol beton karışımı için çimento ve agrega oranı ağırlıkça 1: 4.7 olup, bağlayıcı (çimento+kül) miktarı birim metre küp için yaklaşık 400 kg'dır. Bütün karışımlarda, %55 iri agrega ve %45 ince agrega olarak kullanılmış, su/bağlayıcı malzeme oranı 0.35 'de, ayrıca işlenebilirliği arttırmak için hiper akışkanlaştırıcı ve bağlayıcı oranı da %1'de sabit tutulmuştur. Beton karışım işlemi Şekil 1'de gösterilmektedir.

F tipi uçucu kül ağırlıkça ikame yoluyla betona %10, %15, %20, %25, %30 ve %45 oranlarında çimento ile yer değiştirilerek uçucu küllü beton karışımlar kullanılmıştır. Ayrıca liflerle güçlendirilmiş beton karışımlarında ise uçucu kül ile değişime uğratılarak çimentonun ağırlıkça %15 ve %30'u uçucu kül ile yer değiştirilerek yeni liflerle güçlendirilmiş uçucu küllü beton karışımları elde edilmiştir.

Beton, harç ve kompozit malzemelerin takviyesinde kullanılan iki ucu kancalı, soğukta çekilmiş Dramix RC-65/35- BN çelik lif hacimce %0.25, 0.5, 1.0 ve 1.5 oranlarında kullanılmıştır. Polipropilen lifler fibrile Polyfibers F19 tipi ise hacimce %0.05, 0.1 ve 0.2 oranlarında kullanılmıştır.



Şekil 1. Taze Beton Karıştırma Prosedürü

2.3. Yapılan Deneyler

Taze betonun işlenebilirliği çökme hunisi metodu TS EN 12350-2 (15) ve Ve-Be TS EN 12350-3 (16) metoduyla saptanmıştır.

Çökme metodunda taze beton, ölçüleri belli olan kesik huninin içerisine standart bir şekilde sıkıştırılarak doldurulur. Çökme hunisinin yukarı doğru çekilerek alınmasından sonra, taze beton kütleindeki kendi ağırlığı nedeniyle çökme mesafesi, betonun kıvam ölçüsü olarak kullanılır. Aradaki yükseklik farkı çökme değeri olarak (mm) cinsinden, betonun işlenebilirliğini verir. Çökme deneyi 10mm ile 200mm arasında olan betonların kıvamındaki değişimlere duyarlıdır (17).

Çizelge 5. Taze Betonun Çökme Sınıflaması TS EN 206-1 (18)

Sınıf	S1	S2	S3	S4	S5
Çökme (mm)	10-40	50-90	100-150	160-210	≥ 220

Ve-Be metodunda, Ve-Be silindir kabı içinde çökme hunisi içerisine taze beton standart bir şekilde sıkıştırılarak doldurulur, daha sonra çökme hunisi yukarı doğru çekilerek alınır ve taze beton kütlesi serbest bırakılır. Saydam disk beton kütlesi üzerine, betona temas

edinceye kadar indirilerek betonun çökmesi kaydedilir. Ve-Be titreşim masası çalıştırılır ve saydam diskin alt yüzünün çimento şerbetiyle tamamen kaplanması için geçen süre ölçülür. Ve-Be süresi 5 saniyeden az ve 30 saniyeden daha fazla olan betonların kıvamı Ve-Be deneyi için uygun değildir (17). Taze betonun kıvamı Çökme deneyi ve Ve-Be süresine göre sınıflandırılması Çizelge 5 ve 6 da sunulmaktadır.

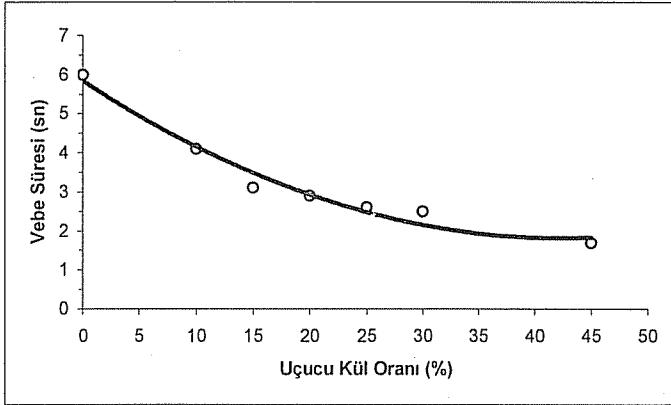
Çizelge 6. Taze Betonun Ve-Be Sınıflaması TS EN 206-1 (18)

Sınıf	V ₀	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄
Ve-Be (sn)	≥ 31	30-21	20-11	10-6	5-3

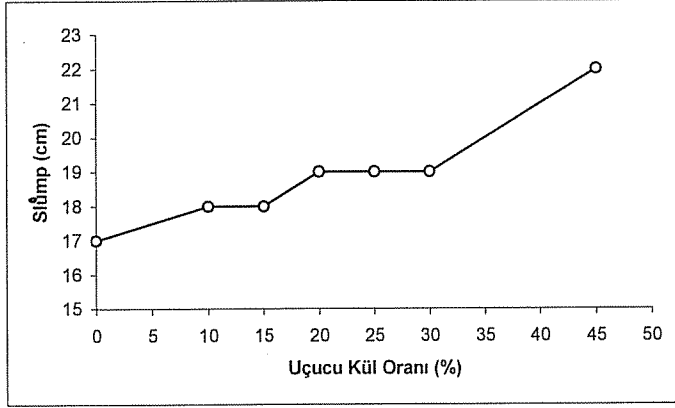
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Uçucu Küllü Betonların İşlenebilirliği

Çimento ile ağırlıkça %10, %15, %20, %25, %30 ve %45 oranlarında yer değiştirilen uçucu kül betonlarının slump ve Ve-Be süreleri Şekil 2 ve Şekil 3’de verilmiştir. Şekil 2 den görüleceği üzere, taze beton içerisindeki uçucu kül ikame oranı arttıkça, bir başka deyişle uçucu kül miktarı arttıkça Ve-Be süresi azalmaktadır. Ve-Be süresi standart bir titreşimle taze betonu sıkıştırmak için gerekli zamanı gösterdiğinden, bu sürenin azalması taze betonu sıkıştırmak için gerekli enerji miktarının azaldığını, dolayısıyla betonun işlenebilirliğinin arttığını göstermektedir.



Şekil 2. Uçucu Külün Ve-Be Süresine Etkisi



Şekil 3. Uçucu Külün Çökme Değerine Etkisi

İlaveten Şekil 3 uçucu kül ikame oranının artmasıyla çökme değerinin arttığını göstermektedir. Çimentonun uçucu kül ile ikame edilmesinin çökme değerini artırdığı görülmüştür. Uçucu külün taze beton işlenebilirliğini artırmasının nedenleri aşağıda sıralanmaktadır (19).

1. Uçucu külün yoğunluğu portland çimentosunun yoğunluğundan daha azdır. Bu nedenle, uçucu kül içeren beton karışımında çimentonun bir bölümünün yerine eşit ağırlıkta uçucu kül kullanıldığından, betondaki bağlayıcı hamurunun hacmi artmaktadır. Daha büyük hacime sahip bağlayıcı hamur, taze betondaki agregatanelerinin arasını daha iyi doldurmakta ve plastiklik sağlamaktadır.
2. Uçucu kül taneleri küresel şekillidir. Küresel şekilli tanecikler iç sürtünmeyi azaltmakta, bilyalı yatak tesiriyle betonun akıcılığını artırmaktadır.

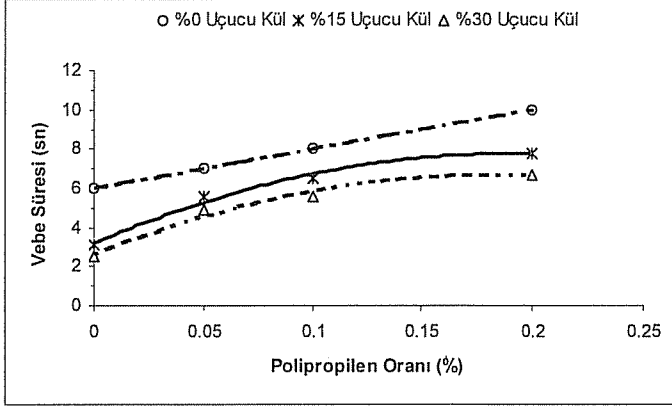
İşlenebilirlikteki bu değişim hem çökme deneyinde hem de Ve-Be süresinde belirgin bir şekilde görülmektedir.

3.2. Lif Takviyeli Betonlarda İşlenebilirlik

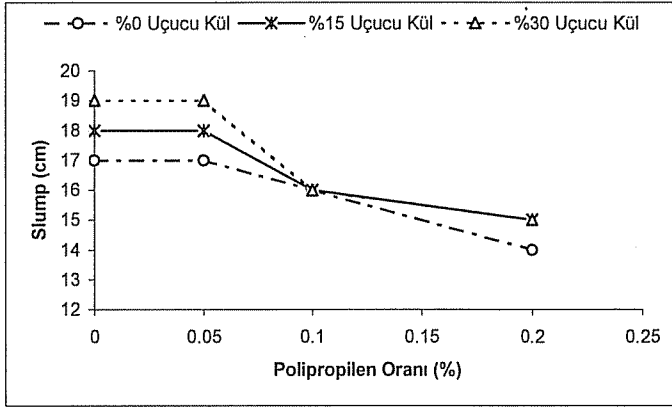
Polipropilen lif takviyesiyle birlikte uçucu kül içeren betonların Ve-Be süreleri ve çökme değerlerinin lif oranı ve kül ikame oranı arasındaki ilişkiler Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmektedir.

Çelik lif takviyesiyle birlikte uçucu kül içeren betonların Ve-Be süreleri ve çökme değerlerinin lif oranı ve kül ikame oranı arasındaki ilişkiler Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmektedir.

LİF TAKVİYELİ UÇUCU KÜLLÜ BETONLARIN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİ

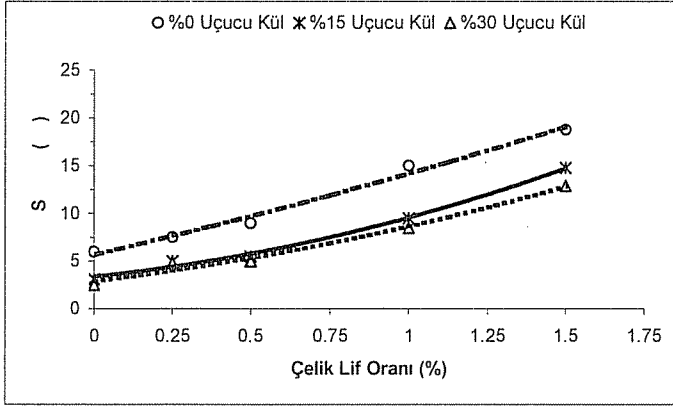


Şekil 4. Polipropilen Lifin ve Uçucu Külün Vebe Süresine Etkisi

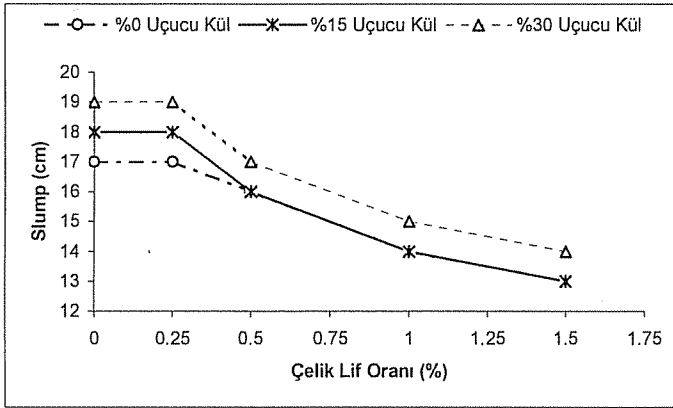


Şekil 5. Polipropilen Lifin ve Uçucu Külün Çökme Değerine Etkisi

Şekil 4 ve 5'ten beton karışımlarının içerisindeki polipropilen oranı arttıkça Ve-Be süresinin arttığı ve çökme değerinin ise azaldığı, bir başka deyişle işlenebilirliğin zorlaştığı görülmektedir. Yine bu şekillerden karışım içerisinde çimento ile yer değiştiren uçucu kül oranının artması ile de uçucu külün polipropilen lif katkıli betonlarda işlenebilirliği olumlu etkilediği görülmektedir.



Şekil 6. Çelik Lifin ve Uçucu Külün Vebe Süresine Etkisi



Şekil 7. Çelik Lifin ve Uçucu Külün Çökme Değerine Etkisi

Şekil 6 ve 7'den, karışımlarının içerisindeki Çelik lif oranı arttıkça, Polipropilen liflerdeki gibi, Ve-Be süresinin arttığı ve çökme değerinin ise azaldığı, Polipropilen lifli betonlarda olduğu gibi işlenebilirliğin zorlaştığı görülmektedir. Polipropilen ve çelik liflerle takviye edilmiş betonlarda lif oranı arttıkça işlenebilirliğin güçleştiği görülmüştür. Beton içinde kullanılan lif içeriğinin işlenebilirliğe olan olumsuz etkisinin çelik lifli betonlarda polipropilen liflere göre daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Şekil 4-7'nin incelenmesi sonucunda lif takviyeli betonlarda çimentonun kısmi olarak uçucu kül ile yer değiştirmesi uçucu külün işlenebilirlik üzerine olan olumlu etkisini burada da göstererek, lifli betonlarda

işlenebilirliğe ve liflerin beton içerisinde homojen dağılmasına katkıda bulunduğu görülmüştür.

4. SONUÇ

Devam eden bu laboratuvar çalışmasının işlenebilirlik ölçümleri neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Çimentonun belli oranlarda uçucu kül ile yer değiştirmesinin taze betonda işlenebilirliği arttırmakta olduğu hem Ve-Be hem de çökme deneylerinde görülmüştür.
2. Uçucu kül oranı %10 dan %45 kadar olan arada, uçucu kül oranı arttıkça işlenebilirliğin de arttığı görülmüştür.
3. Liflerle takviye edilen betonlarda lif hacminin artması ile işlenebilirliğin düşmekte olduğu, bu nedenle işlenebilirliğin belli bir seviyede tutulabilmesi için tedbir alınması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.
4. Çelik lifler, polipropilen liflere nazaran işlenebilirliği daha fazla zorlaştırmaktadır.
5. Liflerle takviye edilmiş betonlarda uçucu kül kullanımının taze betondaki işlenebilirliği uçucu külsüz şahit betonlara göre belli bir oranda iyileştirdiği görülmüştür.
6. Lif takviyeli taze betonların işlenebilirlik deneylerinde, Ve-Be metodunun uygun olduğu çökme metodunun ise pek uygun olmadığı anlaşılmıştır.

5. TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmaya finansal destek sağlayan Çukurova Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimine (Proje No: MMF2004D17) teşekkür eder.

6. KAYNAKLAR

1. Atiş, C.D., "Design and Properties of High Volume Fly Ash Concrete for Pavements", Doktora Tezi, Leeds Üniversitesi, İngiltere, 1997.
2. Atiş, C.D., "Uçucu Kül İçeren Silindire Sıkıştırılabilen Betonların Özellikleri", Turkish Journal of Engineering & Environment Sciences, Vol. 25, No. 5, pp. 503-515, 2001.
3. Uğurlu, A., "Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton", DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Dairesi Başkanlığı, Yayın No: MLZ-878, Ankara, 1994.
4. Uyan, M., "Lifli Betonların Genel Özellikleri ve Gelişimi", İTÜ İnşaat Fakültesi Malzeme Semineri, sf.121-132, İstanbul, 1985.
5. Uyan, M., Yıldırım, H., Eryaman, A., "Workability and Durability of Steel Fiber Reinforced Concrete Cast with Normal Plasticizers", Building Materials Department, İTÜ, İstanbul, 1993.
6. Bayasi, Z., Soroushian, P., "Effect of Steel Fiber Reinforcement on Fresh Mix Properties of Concrete", ACI Materials Journal, Vol.89, No.4, 1992.

7. Brown, J.H., "The Strength and Workability of Concrete with PFA Substitution" *Int. Symposium, The Use of PFA in Concrete, Leeds*, pp. 151-161. Apr. 14-16, 1982.
8. Ravina, D., Mehta, P.K., "Compressive Strength of Flow Cement/High Fly Ash Concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol. 18, pp. 571-583, 1986.
9. Mehta, P.K., "Pozzolanic and Cementitious By Products in Concrete- Another Look", *Third Int. Conference on The Use of Fly Ash, Silica Fume Slag and Other Mineral By-Products in Concrete, Norway. ACI Special Publication, SP-114*, pp. 1-43, 1989.
10. Naik, T.R., Ramme, W.B., "Effects of High-Lime Fly Ash Content on Water Demand Time od Set and Compressive Strength of Concrete" *ACI Material Journal*, Vol. 187, No. 6, pp. 619-626, 1990.
11. TS EN 197-1, "Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri", TSE, Ankara, 2002.
12. ASTM C 618, "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete", *Annual Book of ASTM Standards*, 1998.
13. TS 639, "Uçucu Küller", TSE, Ankara, 1998.
14. TS 706, "Beton Agregaları", TSE, Ankara, 1980.
15. TS EN 12350-2, "Beton- Taze Beton Deneyleri-Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi", TSE, Ankara, 2002.
16. TS EN 12350-3, "Beton- Taze Beton Deneyleri-Bölüm 3: Vebe Deneyi", TSE, Ankara, 2002.
17. Şimşek, O., "Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri", TÇMB, Ankara, 2004.
18. TS EN 206-1, "Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans", İmalat ve Uygunluk TSE, Ankara, 2002.
19. Erdoğan, T.Y., "Beton", OTDÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş., Ankara, 2003.

ISLAK VE KURU KÜR EDİLMİŞ GRANÜLE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU İÇEREN BETONLARIN BASINÇ DAYANIMI

Cengiz Duran ATIŞ ve Cahit BİLİM
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Bu makale, ıslak ve kuru kür şartları altındaki yüksek fırın cürufu (YFC) içeren betonun basınç mukavemetinin araştırıldığı devam eden bir laboratuvar çalışmasını kapsamaktadır. Çalışmada, üç farklı su-çimento oranı (0.3, 0.4, 0.5) ve üç ayrı çimento dozajında (350, 400 ve 450 kg/m³) portland çimentosu ve YFC içeren toplam 45 adet beton üretilmiştir. Betondaki cüruf yer değişim oranları % 20, % 40, % 60 ve % 80 olarak hesaplanmış, sabit bir işlenebilirlik için de hiper plastikleştirici katkı kullanılmıştır. Taze betondan elde edilen 12 adet küp numune bir gün sonra kalıplarından çıkartıldıktan sonra 6 tanesi 22±2 °C sıcaklıktaki % 65 nemde, diğer 6 tanesi de 22±2 °C sıcaklıktaki % 100 nem altında basınç mukavemeti ölçümünün yapılacağı 28 gün ve 3 aylık zamana kadar kür edilmişlerdir. Her bir yaş ve kür şartları için 3 adet küp numunesi kullanılmıştır. Kıyaslama, normal portland çimentolu beton ve YFC katkılı beton arasında basınç mukavemetleri esas alınarak yapılmıştır. YFC içeren betonlar aynı zamanda kendi içlerinde de kıyaslanmıştır. Kıyaslamalar, % 65 bağıl nem altında kür edilen YFC betonların basınç mukavemetlerinin, normal portland çimentolu betonların basınç mukavemetlerinden daha fazla etkilendiğini göstermiştir. % 65 bağıl nemde kür edilen YFC katkılı betonların basınç mukavemetinin, % 100 bağıl nemde kür edilen YFC betonların basınç mukavemetinden ortalama olarak % 15 daha düşük olduğu bulunmuştur. Su-bağlayıcı malzeme oranındaki artış, kuru kür şartlarına karşı betonu daha hassas yapmış, kuru kür şartlarının YFC beton üzerindeki etkisi, artırılan cüruf yer değişim oranı olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Beton, Yüksek Fırın Cürufu, Kür, Basınç Mukavemeti

WET AND DRY CURED COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE CONTAINING GROUND GRANULATED BLAST-FURNACE SLAG

ABSTRACT : This paper reports a part of ongoing laboratory investigation in which the compressive strength of ground granulated blast furnace slag (GGBFS) concrete studied under dry and wet curing conditions. In the study, a total of 45 concretes, including control normal portland cement (NPC) concrete and GGBFS concrete, were produced with three different water-cement ratios (0.3, 0.4, 0.5), three

different cement dosages (350, 400, 450 kg/m³) and four partial GGBFS replacement ratios (20%, 40%, 60%, 80%). A hyperplastisizer was used in concrete at various quantity to provide and keep a constant workability. Six cubic samples produced from fresh concrete were demoulded after a day, then, they were cured at 22-2 °C with 65% relative humidity (RH), and another six cubic samples were cured at 22-2 °C with 100% RH until the samples were used for compressive strength measurement at 28 days and three months. Three cubic samples were used for each age and curing conditions. The comparison was made on the basis of compressive strength between GGBFS concrete and NPC concrete. GGBFS concretes were also compared within themselves. The comparison showed that compressive strength of GGBFS concrete cured at 65% RH was influenced more than that of NPC concrete. It was found that the compressive strength of GGBFS concrete cured at 65% RH was, at average, 15% lower than that of GGBFS concrete cured at 100% RH. The increase in the water-cementitious materials ratios make the concrete more sensitive to dry curing condition. The influence of dry curing conditions on GGBFS concrete was marked as the replacement ratio of GGBFS increased.

Keywords : Concrete, Ground granulated blast-furnace slag, Curing, Compressive strength

1. GİRİŞ

Beton, inşaat sektöründe kendisine geniş kullanım alanları bulmuş dayanıklı bir yapı malzemesidir. Betonun ana bileşenlerinden olan ve üretiminde fazla miktarda enerji gerektiren çimentonun, maliyette önemli bir yer tuttuğu ve çevreye verdiği zararın da azımsanmayacak oranda olduğu bilinmektedir. Yüksek performanslı betonlara yönelik araştırmalara da paralel olarak, hem çevre kirliliği yapan endüstriyel atık malzemelerin değerlendirilmesi hem de daha ekonomik bir beton elde edilmesi amacıyla, çeşitli puzolanik malzemelerin çimento ile yer değiştirilerek beton içerisinde kullanılmaları giderek ilgi çekmektedir. Bu amaçla son yıllarda, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı gibi endüstriyel yan ürünler, beton ve çimento içerisinde mineral katkı olarak oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Demir üretiminde atık malzeme olarak ortaya çıkan ergimiş haldeki cüruf, aniden soğutulduğunda camsı halde granüle bir yapıya kavuşmaktadır [2]. Büyük miktarda silis ve alümin içeren ve amorf yapıya sahip olan granüle yüksek fırın cürufu, puzolanik özelliğe sahip endüstriyel atıklardan birisi olup, öğütülerek çok ince taneli duruma getirildiklerinde puzolanik özellik göstermektedir. Portland çimentosunun kalsiyum silikatlı ana bileşenleri ile su arasındaki reaksiyonlar sonucunda, hem bağlayıcılık özelliği olan kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jelleri, hem de kalsiyum hidroksit oluşmaktadır. Betona cüruf katılması, hidrasyon sonucu oluşan serbest kirecin bağlayıcı özelliğe sahip ilave kalsiyum silikat hidrate'ye dönüşmesini sağladığından, taze veya sertleşmiş betonun dayanım ve durabilite özelliklerini iyileştirmekte, betonu hiç cüruf içermeyen normal bir betona kıyasla agresif çevre koşullarına karşı daha dayanıklı kılmaktadır. Bugüne kadarki yapılan çalışmalar, cüruf katkısının, korozyon dayanıklılığı, durabilite, geçirgenlik, işlenebilirlik ve mukavemet gibi beton karakteristiklerini geliştirdiğini göstermektedir [3]. Ancak bu olumlu etkilerin yanı sıra, soğuk havalarda yüksek fırın cürufunun

betonda kullanılması, betonda daha geç priz alma gibi olumsuz etkilere neden olacağından bu konuda dikkatli olmak gerekmektedir [4].

Betonun özellikleri üzerinde, farklı oranlarda cüruf yer değişiminin etkisi ile ilgili olarak, birçok bilgi bulunmaktadır. Aldea vd. [5], iyileştirilmiş durabilite için oda kürünün en iyisi olduğunu, ancak hızlı mukavemet gelişimine gereksinim duyulduğunda otoklav kürü yerine, buhar kürünün tercih edilebileceğini söylemişlerdir. Hogan ve Meusel [6], ağırlıkça %40, %50 veya %65 yer değişim oranlarında, cürufun etkisinin 3 günlük yaşlarda genel olarak düşük olduğunu ancak ondan sonra 7 günlük yaşlarda kontrol betonlarının mukavemetine benzer ya da daha yüksek mukavemetlerin elde edildiğini bildirmişlerdir. Sivasundaram ve Malhotra [7], yüksek miktarda granüle yüksek fırın cürufu ve düşük miktarda portland çimentosu içeren betonların mekanik özelliklerini araştırmışlardır. 7 günden sonra, büyük oranda cüruf içeren betonlar, kontrol betonlarına kıyasla benzer basınç mukavemetleri geliştirmişlerdir. Aynı zamanda, büyük miktarda cüruf içeren bu betonlar daha sonraki yaşlarda kontrol betonlarından daha yüksek basınç dayanımı göstermişlerdir. Malhotra [8], 0.46 ve 0.56 su/çimento oranına sahip değişik miktarlarda cüruf içeren silindirik beton numunelerin 91 ve 365 günlük mukavemetlerinin, 28 günlük kontrol betonlarının mukavemetlerinden genel olarak daha yüksek olduğunu rapor etmiştir. Ramezianpour ve Malhotra [9], cüruf ya da uçucu kül içeren betonların mukavemetlerinin, kontrol betonlarına kıyasla, kür şartlarına karşı daha hassas olduğu ve bu tip betonların daha iyi kür edilmeleri gerektiğini rapor etmişlerdir. Bu çalışmada, üç farklı çimento dozajında ve üç ayrı su/bağlayıcı oranında hazırlanan, ağırlıkça %0 'dan % 80'e kadar değişen oranlarda cüruf içeren betonlarda, ikame oranının ve kür şartlarının beton basınç mukavemeti üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

1.1. Cüruf Aktivite İndeksi

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cüruflarının hidrolik bağlayıcılığı, cüruf içerisinde oluşmuş camı yapının miktarına, hidrasyon esnasındaki sıcaklığa, cürufun kimyasal ve mineralojik kompozisyonuna, cürufun ve birlikte kullanıldığı portland çimentosunun inceliğine ve kullanılan aktivasyonun türü gibi birçok faktöre bağlı bulunmaktadır [2,3]. Önceleri, araştırmacıların cüruf aktivitesini tayin etmek için farklı modüller önermelerine rağmen, son yıllarda, daha gerçekçi bir yaklaşım olmasından dolayı cürufun bağlayıcılık değerinin tespiti için cüruf-aktivite indeksi denilen bir değer araştırılmaktadır [4]. ASTM C 989 Standardı [10], cüruf aktivite indeksini yüzde cinsinden, 7 ve 28 günlük yaşların her biri için, cürufu çimento (%50-%50) ile hazırlanmış 5 cm'lik harç küplerine ait ortalama basınç mukavemetlerinin, referans çimentosu ile hazırlanmış harç küplerinin ortalama basınç mukavemetlerine oranı olarak tanımlamakta ve öğütülmüş granüle yüksek fırın cüruflarını hidrolik aktivite indekslerine göre kategori 80, kategori 100 ve kategori 120 olmak üzere üç ayrı sınıfta toplamaktadır.

1.2. Cürufun İşlenebilirliğe Etkisi

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cüruflarının mineral katkı maddesi olarak beton içerisinde kullanılması, taze betonun işlenebilmesini arttırmaktadır. O nedenle, belirli bir kıvam değeri için ihtiyaç duyulan karışım suyu miktarında azalma olmakta, bu da

hem büzülmeyi azaltıcı oranda etki yapmakta hem de beton içerisinde daha az su kullanılmasının doğal bir sonucu olarak beton dayanımında artış meydana getirmektedir. Ohama vd [11], düşük su/çimento (0,20) oranında ve yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanımında, ince öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufllu harçların işlenebilirliği ile ilgili olarak yaptıkları çalışmada, cürufun çimento ile kısmi yer değişimi sonucu harçların akıcılığının iyileştiğini ve bunun cüruf inceliği ile de olumlu şekilde etkilendiğini tespit etmişlerdir. Yüksek fırın cürufunun, klinker ile kıyaslandığında daha az bir yüzey pürüzlülüğüne sahip olması ve özgül ağırlığının daha düşük olması, dolayısıyla hacim olarak daha fazla çimento hamuru elde edilmesi, cürufllu çimentoların betonun işlenebilirliğini olumlu yönde etkileyeceğinin göstergeleridir. Ancak, bu iyileşme çökme deneyi sonuçlarında tam olarak gözlenemez [12].

1.3. Cüruflların Basınç Mukavemetine Etkisi

Eşit çimento miktarı ve eşit su/bağlayıcı oranları söz konusu olduğunda, cüruf katkılı betonlar, normal portland çimentoları ile hazırlanmış betonlara göre, erken yaşlarda nispeten düşük, geç yaşlarda ise yüksek beton dayanım değerlerine neden olurlar [12]. Yüksek fırın cüruflları, portland çimentolarına göre daha yavaş hidrate olduklarından, cürufllu betonların erken yaşlardaki dayanım kazanma oranları daha düşüktür ve ne kadar yüksek oranda cüruf katılırsa mukavemet gelişimi de o kadar düşük olur. Ancak, uygun ve nemli kür şartlarında, cürufllu betonların uzun dönem mukavemetinin daha yüksek olması muhtemeldir. Bu daha yüksek son dayanım, kısmen, cürufun uzun süren yavaş hidrasyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkan daha yoğun hidrate olmuş yapıdan kaynaklanmaktadır [13]. Buradan anlaşılacağı gibi, beton karışımlarında cüruf miktarı normal portland çimentosu miktarına göre biraz daha fazla olduğu durumda, geç yaşlardaki dayanımlar cüruf katkısı ile yapılmış betonlarda çok daha yüksek olmaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

2.1.1. Çimento

Çalışmada, Adana Çimento Sanayi'nden temin edilen standart PÇ-42.5 portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmektedir.

Başlangıç ve bitiş priz süresi 2.³⁰ ve 3.³⁰ saattir. Çimento özgül ağırlığı 3.15 gr/cm³ olup, Blaine özgül yüzeyi 3250 cm²/gr dır.

Çizelge 1. Çimento ve Yüksek Fırın Cürufllu Kimyasal Kompozisyonu (%)

Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	KK
Çimento	19.71	5.20	3.73	62.91	2.54	2.72	0.90	0.25	0.96
YFC	36.70	14.21	0.98	32.61	10.12	0.99	0.76	0.42	-

2.1.2. Yüksek Fırın Cürufu

Çalışmada, İskenderun Demir Çelik Fabrikasının atığı olan ve OYSA İskenderun Çimento Fabrikasında belli bir incelik değerine kadar öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Cürufa ait kimyasal özellikler Çizelge 1'de verilmektedir.

Cürufun baziklik katsayısı $K_b = (CaO + MgO) / (SiO_2 + Al_2O_3) = 0.84$ olup, cüruf özgül ağırlığı 2.81 gr/cm^3 , Blaine özgül yüzeyi ise $4250 \text{ cm}^2/\text{gr}$ dir.

2.1.3. Agregası

Beton karışımlarında kullanılan agreganın maksimum tane çapı 16 mm olup, yıkanmış ve etüvde kurutulduktan sonra kullanılmıştır. İnce ve iri agreganın kuru yüzey doygun özgül ağırlıkları sırasıyla 2.67 ve 2.70 dir. Karışımda kullanılan karışık agreganın eleklerden geçen yüzde değerleri Çizelge 2 de sunulmuş olup, TS 706 [14] standart sınırları ile birlikte verilmektedir.

Çizelge 2. Agregası Granülometrisi ve Standart Sınırları

Elek Açıklığı (mm)	Alt Sınır (A)	Orta Sınır (B)	Üst Sınır (C)	Agregası Granülometrisi
16	100	100	100	100
8	60	76	88	74.7
4	36	56	74	41.0
2	21	42	62	23.7
1	12	32	49	17.4
0.5	7	20	35	12.9
0.25	3	8	18	3.0

2.1.4. Akışkanlaştırıcı

Beton karışımlarında, erken yüksek mukavemet, mükemmel yüzey görünümü ve nihai yüksek performansa gereksinim duyulan, prefabrik beton ve hazır beton endüstrisi için geliştirilmiş, yüksek oranda su ihtiyacını azaltan, klor içermeyen yeni nesil YKS Glenium 51 Hiper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanılmıştır. Karışımlara koyulacak kimyasal katkı miktarı, yapılan sarsma tablası deneylerine göre betonun 40-50 cm yayılmasını sağlayacak şekilde belirlenmiş ve çimento dozajının yüzdesi olarak değişen oranlarda kullanılmıştır. Kullanılan Hiper akışkanlaştırıcı katkıya ait teknik özellikler Çizelge 3' de verilmektedir.

Çizelge 3. Akışkanlaştırıcı Teknik Özellikleri

Yoğunluk (g/cm^3)	Klor (%)	Renk	Homojenite	Kimyasal İçeriği
1.07-1.012	<0.1	Amber	Homojen	Polikarboksilik Eter Zincirleri

2.2. Karışım Notasyonları

Hazırlanan beton karışımlarını ifade etmek için çizelge ve şekillerde yer alan CP 350-0.3-00 terimi, 350 dozlu 0.30 su/bağlayıcı oranında % 0 cüruf ile hazırlanan şahit betonu, GS 400-0.4-20 terimi ise 400 dozlu karışıma ait 0.40 su/bağlayıcı oranında % 20 cüruf ilavesi yapılmış betonu ifade etmektedir.

2.3. Beton Karışımları

Yapılan bu çalışmada, üç farklı çimento dozajında ve üç ayrı su/bağlayıcı oranında hazırlanan beton karışımları için sırası ile, % 0 (kontrol betonu), % 20, % 40, % 60 ve % 80 oranlarında cüruf yer değişimi yapılarak birbirinden farklı 45 beton karışımı elde edilmiş, cüruf ilavesi ile artan beton hacmi ise agrega miktarında azaltmaya gidilmek sureti ile yine 1 m³ olarak dengelenmiştir. Karışımların çimento dozajları 350, 400 ve 450 kg/m³ olup, su/bağlayıcı oranları ise 0.3, 0.4 ve 0.5'dir. Taze betondan elde edilen 12 adet küp numune bir gün sonra kalıplarından çıkartıldıktan sonra 6 tanesi 22±2°C sıcaklıktaki % 65 nemde, diğer 6 tanesi de 22±2°C sıcaklıktaki % 100 nem altında basınç mukavemeti ölçümünün yapılacağı 28 gün ve 3 aylık zamana kadar kür edilmişlerdir. Kontrol betonlarına ait karışım oranları sırası ile Çizelge 4, Çizelge 5 ve Çizelge 6 da gösterilmiştir.

Çizelge 4. 350 kg/m³ Dozlu Beton Karışımı için 1 m³ de Kullanılan Malzeme Miktarları

Karışım (kg/m ³)	PÇ (kg/m ³)	YFC (kg/m ³)	Su (lt/m ³)	H.A (kg/m ³)	Agrega
CP 350-0.3-00	350	-	105	12.25	2030
GS 350-0.3-20	280	70	105	11.55	2025
GS 350-0.3-40	210	140	105	8.75	2015
GS 350-0.3-60	140	210	105	7.00	2010
GS 350-0.3,80	70	280	105	5.60	2000
CP 350-0.4-00	350	-	140	5.25	1940
GS 350-0.4-20	280	70	140	4.20	1930
GS 350-0.4-40	210	140	140	3.50	1925
GS 350-0.4-60	140	210	140	1.75	1915
GS 350-0.4-80	70	280	140	2.80	1910
CP 350-0.5-00	350	-	175	0.70	1845
GS 350-0.5-20	280	70	175	-	1840
GS 350-0.5-40	210	140	175	-	1830
GS 350-0.5-60	140	210	175	-	1825
GS 350-0.5-80	70	280	175	-	1815

Çizelge 5. 400 kg/m³ Dozlu Beton Karışımı için 1 m³ de Kullanılan Malzeme Miktarları

Karışım (kg/m ³)	PÇ (kg/m ³)	YFC (kg/m ³)	Su (lt/m ³)	H.A (kg/m ³)	Agrega
CP 400-0.3-00	400	-	120	16.00	1950
GS 400-0.3-20	320	80	120	14.00	1940
GS 400-0.3-40	240	160	120	9.60	1935
GS 400-0.3-60	160	240	120	6.00	1925
GS 400-0.3-80	80	320	120	4.80	1915
CP 400-0.4-00	400	-	160	6.00	1845
GS 400-0.4-20	320	80	160	4.00	1835
GS 400-0.4-40	240	160	160	4.00	1825
GS 400-0.4-60	160	240	160	2.40	1820
GS 400-0.4-80	80	320	160	3.60	1810
CP 400-0.5-00	400	-	200	0.40	1735
GS 400-0.5-20	320	80	200	-	1730
GS 400-0.5-40	240	160	200	-	1720
GS 400-0.5-60	160	240	200	-	1710
GS 400-0.5-80	80	320	200	-	1705

Çizelge 6. 450 kg/m³ Dozlu Beton Karışımı için 1 m³ de Kullanılan Malzeme Miktarları

Karışım (kg/m ³)	PÇ (kg/m ³)	YFC (kg/m ³)	Su (lt/m ³)	H.A (kg/m ³)	Agrega
CP 450-0.3-00	450	-	135	18.00	1865
GS 450-0.3-20	360	90	135	14.40	1860
GS 450-0.3-40	270	180	135	11.70	1850
GS 450-0.3-60	180	270	135	9.00	1840
GS 450-0.3-80	90	360	135	8.10	1830
CP 450-0.4-00	450	-	180	4.50	1750
GS 450-0.4-20	360	90	180	3.60	1740
GS 450-0.4-40	270	180	180	2.25	1730
GS 450-0.4-60	180	270	180	2.25	1720
GS 450-0.4-80	90	360	180	1.35	1710
CP 450-0.5-00	450	-	225	-	1630
GS 450-0.5-20	360	90	225	-	1620
GS 450-0.5-40	270	180	225	-	1610
GS 450-0.5-60	180	270	225	-	1600
GS 450-0.5-80	90	360	225	-	1590

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Cüruf Aktivite İndeksi

ASTM C 989 Standardı'na uygun olarak 5 cm'lik küpler ile yapılan cürufllu çimentolu harçlara ait ortalama basınç mukavemetleri her bir yaş için beş değer ortalama alınarak, 7. gün için 24.9 MPa, 28. günde ise 48.7 MPa olurken, referans çimentosu ile hazırlanmış harç küplerinin ortalama basınç mukavemetleri 7. günde 43.6 MPa, 28 günde ise 57.6 MPa olarak bulunmuştur. Aktivite indeksleri ise sırası ile 7. gün için % 57, 28. gün için de % 85 bulunup, karışımlarda kullanılan cürufun kategori 80 sınıfında olduğu kanaati ortaya çıkmıştır. Kullanılan granüle yüksek fırın cürufunun inceliğinin, öğütülerek daha yüksek Blaine değerlerine getirilmesi durumunda, aktivite indeksinin de artışına bağlı olarak, cürufun bir diğer üst kategorilerde yer alabileceği düşünülmüştür.

3.2. Cürufllu Betonların İşlenebilirliği

Çimentonun ağırlıkça % 0 (kontrol betonu), % 20, % 40, % 60 ve % 80 oranlarında cüruflla yer değiştirilmesi sonucu elde edilen cürufllu betonlarda kullanılan akışkan miktarları Çizelge 7'de gösterilmektedir.

Çizelge 7. Beton Karışımlarında Kullanılan Akışkan Miktarları (%)

Çimento Dozajı (kg/m ³)	Cüruf Oranı	Akışkan Miktarları (%)		
		0.30	0.40	0.50
350	Şahit	3.5	1.5	0.2
	% 20	3.3	1.2	0
	% 40	2.5	1.0	0
	% 60	2.0	0.5	0
	% 80	1.6	0.8	0
400	Şahit	4.0	1.5	0.1
	% 20	3.5	1.0	0
	% 40	2.4	1.0	0
	% 60	1.5	0.6	0
	% 80	1.2	0.9	0
450	Şahit	4.0	1.0	0
	% 20	3.2	0.8	0
	% 40	2.6	0.5	0
	% 60	2.0	0.5	0
	% 80	1.8	0.3	0

Çizelgeden de görüleceği üzere, yapılan sarsma tablası deneylerine göre betonun 40-50 cm yayılması sağlayacak şekilde bulunan ve çimento dozajının yüzdesi olarak kullanılan değişik oranlardaki hiperakışkanlaştırıcı miktarları, beton karışımındaki artan cüruf yüzdesi ile beraber azalmaktadır. Granüle yüksek fırın cürufunun işlenebilirliğe olumlu katkısındaki en büyük rolü, daha az bir yüzey pürüzlülüğüne sahip olması ve özgül ağırlığının daha düşük olması sebebiyle bağlayıcı madde hamurunda meydana

gelen artışın beraberinde getirdiği azalan iç sürtünme kuvvetleri olmaktadır. Granüle yüksek fırın cürufları, sabit bir kıvam değeri için, taze betonun su ihtiyacının azalmasında önemli bir rol oynamakta, bu da dayanım ve durabilite açısından bakıldığında zaman sertleşmiş betonun performansını geliştirmede olumlu katkılar sağlamaktadır.

3.3. Taze Beton Birim Ağırlıkları

Hazırlanan tüm beton karışımları için taze betonun birim ağırlıkları, hem teorik birim ağırlık hem de pratik birim ağırlık olmak üzere iki şekilde hesaplanmıştır. Teorik birim ağırlıklar, karışım hesaplarında 1 m^3 betonda kullanılan malzemelerin ağırlıkları toplamı ile elde edilmiş olup, pratik birim ağırlıklar ise beton karışımları dökülürken belirlenmiştir. Taze betonların laboratuvarındaki dökümleri sırasında ölçülen birim ağırlıkları, $2350 - 2550 \text{ kg/m}^3$, hesap edilen teorik birim ağırlıkları ise $2270 - 2500 \text{ kg/m}^3$ arasında olup, sonuçlar birbirine oldukça yakın çıkmıştır.

3.4. Basınç Mukavemetleri

Hazırlanan beton karışımlarında, % 0 dan başlayarak % 80'e kadar değişen oranlarda cüruf yer değişim yapılarak elde edilen $350, 400$ ve 450 kg/m^3 çimento dozlu betonlar için ıslak küre ve oda kürüne (kuru kür) ait basınç dayanım değerleri sırasıyla Çizelge 8, Çizelge 9 ve Çizelge 10'de verilmiştir.

Çizelge 8. 350 kg/m^3 dozlu Beton Karışımlarına ait Küp Basınç Dayanımları (MPa)

	Islak Kür		Oda Kürü	
	28	90	28	90
K350-0.30-0	75.8	83.9	72.4	80.2
K350-0.30-20	81.4	86.8	73.3	83.8
K350-0.30-40	81.0	87.8	72.0	82.0
K350-0.30-60	73.3	81.2	57.2	62.2
K350-0.30-80	62.7	70.6	50.2	57.1
K350-0.40-0	63.9	71.3	63.9	65.6
K350-0.40-20	65.8	73.7	60.4	68.6
K350-0.40-40	67.2	76.3	57.6	67.2
K350-0.40-60	61.8	74.0	52.6	61.0
K350-0.40-80	50.4	58.9	42.7	49.2
K350-0.50-0	53.6	61.5	52.3	57.6
K350-0.50-20	57.0	65.4	50.6	54.1
K350-0.50-40	55.9	65.9	46.5	53.0
K350-0.50-60	45.1	58.3	40.4	42.9
K350-0.50-80	29.9	38.1	26.9	27.6

Çizelge 9. 400 kg/m³ dozlu Beton Karışımlarına ait Küp Basınç Dayanımları (MPa)

	Islak Kür		Oda Kürü	
	28	90	28	90
K400-0.30-0	80.7	85.2	73.1	78.1
K400-0.30-20	81.4	90.1	69.6	82.3
K400-0.30-40	82.0	88.3	66.5	79.4
K400-0.30-60	77.8	79.0	68.2	74.9
K400-0.30-80	67.7	76.2	54.4	57.5
K400-0.40-0	63.9	67.9	65.6	67.1
K400-0.40-20	66.0	72.4	63.1	69.2
K400-0.40-40	66.9	77.9	61.6	69.9
K400-0.40-60	61.1	75.1	59.0	66.3
K400-0.40-80	53.1	56.8	47.2	51.9
K400-0.50-0	51.4	56.8	36.9	41.4
K400-0.50-20	52.6	61.4	37.5	39.4
K400-0.50-40	51.6	57.9	35.4	37.2
K400-0.50-60	40.1	49.6	30.5	37.7
K400-0.50-80	25.3	31.6	19.7	22.1

Çizelge 10. 450 kg/m³ dozlu Beton Karışımlarına ait Küp Basınç Dayanımları (MPa)

	Islak Kür		Oda Kürü	
	28	90	28	90
K450-0.30-0	80.3	85.7	75.0	84.2
K450-0.30-20	81.8	90.1	73.2	85.4
K450-0.30-40	83.8	91.4	76.4	87.2
K450-0.30-60	80.6	92.5	58.2	70.0
K450-0.30-80	66.3	77.4	56.0	62.1
K450-0.40-0	64.3	71.0	68.2	70.2
K450-0.40-20	73.5	82.3	69.1	73.6
K450-0.40-40	66.4	81.0	61.7	71.9
K450-0.40-60	61.8	73.4	54.2	61.6
K450-0.40-80	46.8	54.6	42.6	44.6
K450-0.50-0	48.7	50.5	41.7	45.3
K450-0.50-20	50.4	56.2	36.3	38.9
K450-0.50-40	49.3	53.4	35.1	36.6
K450-0.50-60	39.5	49.1	28.3	30.2
K450-0.50-80	27.7	35.0	17.6	18.3

Çizelgeler incelendiği zaman, her iki kür durumunda da, su/bağlayıcı oranının artmasıyla birlikte, tüm betonların dayanımlarında düşüşler olduğu görülmektedir. 28 ve 90. günler için, ıslak kür edilen betonların basınç dayanımlarının, kuru küre tabi tutulan betonların basınç dayanımlarından yüksek çıktığı görülmektedir. Bunun muhtemel nedeninin, kuru küre maruz bırakılan betonların hidratasyon için ihtiyaç duydukları

kapiler boşluklardaki suyu bünyelerinden yitirmeleri sonucu tam hidrate olamamalarından ileri geldiği düşünülmektedir.

Çizelge 11, Çizelge 12 ve Çizelge 13 sırasıyla 350, 400 ve 450 kg/m³ çimento dozlu beton karışımları için kuru kür edilen betonların basınç dayanımlarının ıslak kür edilen betonların basınç dayanımlarına oranını ve bu oranların % olarak farkını göstermektedir.

Çizelge 11. Farklı Kür Edilen Betonların Basınç Mukavemetleri Oranı (350 kg/m³)

	28	90	% Fark	
K350-0.30-0	95.5	95.6	4.5	4.4
K350-0.30-20	90.0	96.5	10.0	3.5
K350-0.30-40	88.9	93.4	11.1	6.6
K350-0.30-60	78.0	76.6	22.0	23.4
K350-0.30-80	80.1	80.9	19.9	19.1
K350-0.40-0	100	92.0	0	8.0
K350-0.40-20	91.8	93.1	8.2	6.9
K350-0.40-40	85.7	88.1	14.3	11.9
K350-0.40-60	85.1	82.4	14.9	17.6
K350-0.40-80	84.7	83.5	15.3	16.5
K350-0.50-0	97.6	93.7	2.4	6.3
K350-0.50-20	88.8	82.7	11.2	17.3
K350-0.50-40	83.2	80.4	16.8	19.6
K350-0.50-60	89.6	73.6	10.4	26.4
K350-0.50-80	90.0	72.4	10.0	27.6

Çizelge 12. Farklı Kür Edilen Betonların Basınç Mukavemetleri Oranı (400 kg/m³)

	28	90	% Fark	
K400-0.30-0	90.6	91.7	9.4	8.3
K400-0.30-20	85.5	91.3	14.5	8.7
K400-0.30-40	81.1	89.9	18.9	10.1
K400-0.30-60	87.7	94.8	12.3	5.2
K400-0.30-80	80.4	75.5	19.6	24.5
K400-0.40-0	102.7	98.8	-2.7	1.2
K400-0.40-20	95.6	95.6	4.4	4.4
K400-0.40-40	92.1	89.7	7.9	10.3
K400-0.40-60	96.6	88.3	3.4	11.7
K400-0.40-80	88.9	91.4	11.1	8.6
K400-0.50-0	71.8	72.9	28.2	27.1
K400-0.50-20	71.3	64.2	28.7	35.8
K400-0.50-40	68.6	64.2	31.4	35.8
K400-0.50-60	76.1	76.0	23.9	24.0
K400-0.50-80	77.9	69.9	22.1	30.1

Çizelge 13. Farklı Kür Edilen Betonların Basınç Mukavemetleri Oranı (450 kg/m³)

	28	90	% Fark	
K450-0.30-0	93.4	98.2	6.6	1.8
K450-0.30-20	89.5	94.8	10.5	5.2
K450-0.30-40	91.2	95.4	8.8	4.6
K450-0.30-60	72.2	75.7	27.8	24.3
K450-0.30-80	84.5	80.2	15.5	19.8
K450-0.40-0	106.1	98.9	-6.1	1.1
K450-0.40-20	94.0	89.4	6.0	10.6
K450-0.40-40	92.9	88.8	7.1	11.2
K450-0.40-60	87.7	83.9	12.3	16.1
K450-0.40-80	91.0	81.7	9.0	18.3
K450-0.50-0	85.6	89.7	14.4	10.3
K450-0.50-20	72.0	69.2	8.0	30.8
K450-0.50-40	71.2	68.5	28.8	31.5
K450-0.50-60	71.6	61.5	28.4	38.5
K450-0.50-80	63.5	52.3	36.5	47.7

Çizelgelerin % fark kolonları incelendiğinde, su/bağlayıcı oranındaki artışla birlikte genel olarak kuru kür sonucu ortaya çıkan dayanım düşmesi daha da artmaktadır. Bu durum hem şahit hem de cüruf içeren betonlar için de geçerlidir. Kuru kür-ıslak kür arasındaki % farklar, cüruf içeren betonlar ile şahit betonlar arasında karşılaştırıldığında, genel olarak, cürufly betonların şahit betonlara oranla, kuru kür ortamından daha fazla etkilendiği ve cürufly betonların mukavemetlerinin, kontrol betonlarına kıyasla, kür şartlarına karşı daha hassas olduğu ve bu tip betonların daha iyi kür edilmeleri gerektiği sonucu çıkarılabilir.

Cürufly betonların erken yaşlardaki mukavemetlerinin, kontrol betonlarının mukavemetlerinden düşük olmasına rağmen, 28 ve 90. gün gibi ilerleyen dönemlerde % 20, % 40 ve % 60 cüruf ikameli betonların dayanımları, şahit betonların dayanımlarına eşit ya da daha fazla olmuştur. Artan su/bağlayıcı oranı, şahit betonlara oranla, yüksek ikame yüzdelere sahip cürufly betonların dayanımlarını, daha belirgin bir şekilde düşme yönünde etkilemiş, bu düşüş miktarı, % 80 cüruf ikameli beton ele alındığı zaman 400 kg/m³ çimento dozlu beton için 28. günde, 0.30, 0.40 ve 0.50 su/bağlayıcı oranlarında, şahit betonun dayanımlarına kıyasla, sırasıyla % 16, % 17 ve % 51 olmuştur.

4. SONUÇLAR

Devam eden bu laboratuvar çalışmasının, cürufly betonlara ait küp basınç mukavemetlerinin bulunması neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Çimentonun belli oranlarda yüksek fırın cürufu ile yer değiştirilmesinin sarsma tablası deneylerinde kullanılan akışkan miktarı da dikkate alındığında taze betonda işlenebilirliği arttırmakta olduğu görülmüştür.
2. Araştırma kapsamında incelenen gerek şahit gerekse de cürufly betonların küp basınç mukavemetleri değerlendirildiğinde genel olarak, 90 gün sonunda %20,

%40 ve %60 cüruf içeren betonların şahitlerine yakın ya da daha fazla dayanımlar geliştirdiği görülmüştür.

3. Yüksek fırın cürufu içeren betonların mukavemetlerinin, kontrol betonlarına kıyasla, kür şartlarına karşı daha hassas olduğu ve bu tip betonların daha iyi kür edilmeleri gerektiği kanaati oluşmuştur.
4. Kontrol betonlarına kıyasla, yüksek ikame yüzdelere sahip cürufli betonlarda dayanımların, artan su/bağlayıcı oranı ile birlikte daha belirgin bir şekilde düştüğü görülmüştür.

5. TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmaya mali destek sağlayan Çukurova Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimine (Proje No: MMF2004D16) teşekkür eder.

6. KAYNAKLAR

1. Wu,Z., Naik,T.R., "Properties of Concrete Produced from Multicomponent Blended Cements", *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, pp. 1937-1942, 2002.
2. Erdoğan,T.Y., "Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu ve Kullanımı", *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Bildiriler Kitabı*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, 1-11, 1995.
3. Babu,K.D., Kumar,V.S.R., "Efficiency of GGBS in Concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol. 30, pp. 1031-1036, 2000.
4. Erdoğan,T.Y., "Beton", ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş., Ankara, 2003.
5. Aldea,C.M., Young,F., Wang,K., Shah,S.P. "Effects of Curing Conditions on Properties of Concrete Using Slag Replacement", *Cement and Concrete Research*, Vol. 30, pp. 465-472, 2000.
6. Hogan,F.J., Meusel,J.W., "Evaluation for Durability and Strength Development of a Ground Granulated Blast Furnace Slag", *Cement Concrete and Aggregates*, Vol. 3, No. 1, pp. 40-52, 1981.
7. Sivasundaram,V., Malhotra,V.M., "Properties of Concrete Incorporating Low Quantity of Cement and High Volumes of Ground Granulated Slag", *ACI Material Journal*, Vol. 89, No.6, pp. 554-563, 1992.
8. Malhotra,V.M., "Strength and Durability Characteristics of Concrete Incorporating a Pelletized Blast Furnace Slag", *Fly Ash, Silica Fume, Slag & Other Mineral By-Products in Concrete*, ACI, Vol. 2, pp. 891-921, 1992.
9. Ramezaniyanpour,A.A., Malhotra,V.M., "Effect of curing on the compressive strength, resistance to chloride-ion penetration and porosity of concretes incorporating slag, fly ash or silica fume", *Cement and Concrete Composites*, Vol.17, pp. 125-133, 1995.
10. ASTM C 989-89, "Standard Specification for Ground Granulated Blast Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars", *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.02, pp. 499-503, 1993.
11. Ohama,Y., Madej,J. and Demura,K., "Efficiency of Finely Ground Blast Furnace Slags in High-Strength Mortars", *Milwaukee Conference*, 1995.
12. Tokyay,M., Erdoğan,K., "Cürufklar ve Cürufllu Çimentolar", TÇMB, 2003.

13. Newman, J., Choo, B.S., "Advanced Concrete Technology, Constituent Materials", 2003.

14. TS 706, "Beton Agregaları", TSE, Ankara, 1980.

15. TS 3114, "Beton-Deney Numunelerinin Basınç Dayanımı Tayini", TSE, Ankara, 1998.

YÜKSEK DAYANIMLI BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Şahin Tolga GÜVEL ve İsmail Hakkı ÇAĞATAY
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : *Bu çalışmada yüksek dayanımlı betonların mekanik özellikleri incelenmiştir. Farklı oranlarda silis dumani, su/çimento oranları ve süperakışkanlaştırıcı ile sabit çimento, agrega miktarı ve çökme ile laboratuarda silindir, küp ve kiriş deney betonları üretilmiş, sertleşmiş beton üzerinde birtakım deneyler yapılarak, değişik yaşlardaki beton basınç ve çekme dayanımları tespit edilmiştir.*

Belirtilen tüm şartlar için kullanılacak bir agrega gradasyonu başlangıçta belirlenmiştir. Bu doğrultuda, zaman basınç dayanımı ilişkisi, zaman çekme dayanımı ilişkisi, farklı silis dumani / bağlayıcı malzeme oranlarına göre farklı yaşlarda basınç ve çekme dayanımı ilişkisi incelenmiş tüm bu faktörlerin basınç ve çekme dayanımı üzerindeki etkileri gözlenmiştir.

Silis dumani / bağlayıcı malzeme oranının beton basınç dayanımı için önemli olduğu, belirli bir orana kadar kullanılan silis dumanının basınç dayanımının arttığı, fakat belirli bir miktardan sonra silis dumani miktarındaki artışın basınç dayanımını azalttığı ve silis dumani / bağlayıcı malzeme oranının çekme dayanımına etkisinin oldukça düşük bir oranda kaldığı tespit edilmiştir.

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH STRENGTH CONCRETE

ABSTRACT : *In this study, the mechanical properties of high strength concrete is investigated. Different ratios of silica fume and superplasticizer with constant cementitious material amount, aggregate amount and slump are used for this study. Cylinder, cube and beam samples are cast to find the compressive and tensile strength of concrete.*

First the gradation of aggregate is determined and then the samples are casted. Relationships between time – compressive strength, time – tensile strength, compressive strength – tensile strength, silica fume – cementitious material are investigated. The effects of them on the concrete are observed.

It is observed that the silica fume / cementitious material ratio affects the compressive strength of concrete, up to a definity ratio, the compressive strength increases but over this ratio it decreases and that the silica fume / cementitious material ratio affects the tensile strength lower.

1. GİRİŞ

Beton çimento, doğal ve yapay olabilen iri ve ince agrega, su ve gerektiğinde kimyasal ve/veya mineral katkının karıştırılması ile yapılan ve özelliklerini çimentonun hidratasyonu ile kazanan malzemedir (1).

Betonlar dayanımlarına göre normal dayanımlı beton ve yüksek dayanımlı beton olarak ikiye ayrılırlar. Yüksek dayanımlı beton, basınç dayanımı 300 kgf/cm²'nin üzerinde olan beton olarak tanımlanmaktadır (2). Yüksek dayanımlı beton yalnız basınç dayanımı ile değil, bütün fiziksel – mekanik özellikleriyle, nitelik yönünden, normal betondan farklıdır (3).

İnşaat mühendisliği alanında gelinen teknolojik durum, yüksek dayanımlı betonu bir gereklilik haline getirmiştir. Yüksek dayanımlı beton üretimi özellik isteyen bir konudur. Yüksek dayanımlı betonların genel uygulama alanları gökdelenler, barajlar ve uzun açıklıklı köprülerdir. Ancak bunların yanı sıra, daha yüksek katlı binaların yapılabilmesi, aynı yükün daha küçük kesitlere taşıtılabilmesi ve son yıllarda özellikle ülkemizin gündeminde bulunan deprem hareketlerine karşı daha güçlü yapıların yapılabilmesi için, yüksek dayanımlı betonların elde edilmesi bir zorunluluktur.

Yüksek dayanımlı betonun üretiminde çimentodan süperakışkanlaştırıcıya, agregadan karışım suyuna ve katkı maddelerine kadar, elde edilecek karışımın bütün bileşenleri ve bu bileşenlerin cinsi ve miktarı büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı yüksek dayanımlı betonların mekanik özelliklerini incelemek ve yapılan incelemenin değerlendirilmesi ile yüksek dayanımlı beton üretimi için uygun beton dizaynının belirlenmesine yardımcı olmaktır. Ayrıca bu çalışmada Adana bölgesinden temin edilen agrega ve çimento kullanılmak suretiyle bölgemiz ekonomisine de katkıda bulunmak istenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1 Malzemelerin Temini ve Özellikleri

2.1.1. Agrega Temini ve Özellikleri

Yüksek dayanımlı betonlarda agreganın yoğun ve yüksek dayanımlı olması istenir. Agreganın beton dayanımındaki etkisi en büyük tane boyu, tane ve yüzey şekilleri, granülometrisi ve içerdiği zararlı maddeler ile doğrudan ilişkilidir (4). Özellikle yüksek dayanımlı beton üretimlerinde agrega dayanımı önemlidir (5).

Deney çalışmalarındaki beton karışımlarında kullanılan doğal ve kırmataş agregalar sırasıyla Adana-Ceyhan Nehri yatağından elde edilen elenmiş ve yıkanmış dere kumu ile Adana'da Yılkale bölgesindeki dağlardan elde edilen, kırılıp elenmiş ve yıkanmış kırmataş agregalardır. Bu agregalar; Adana bölgesinde prefabrik ve hazır beton sektöründe uzun yıllardan beri otoyol, havaalanı, köprü, birçok sanat yapıları, konut, termik santral, arıtma tesisleri, birçok su ve deniz yapıları projelerindeki beton ve betonarme imalatlarda kullanılmıştır ve halen kullanılmaktadır.

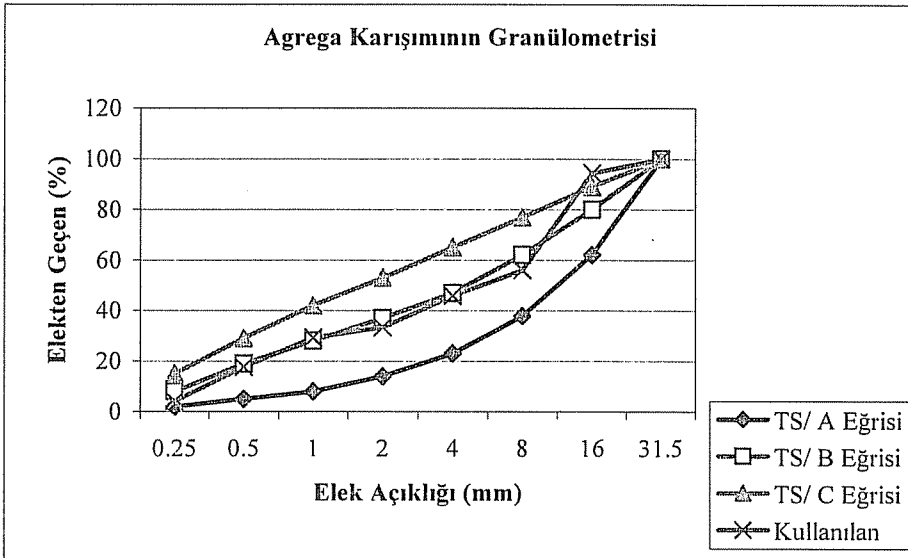
Özellikle yüksek dayanımlı beton üretiminde, kırmataş agregaların doğal agregalara oranla daha etkin olduğu bilinmektedir.

Yapılan deney çalışmaları için hazırlanan beton karışımlarında kullanılan doğal ve kırmataş agregaların granülometri eğrisinin tayini için elek analizleri laboratuvar ortamında yapılmıştır.

Beton karışımlarında kullanılan agregaların yüzde miktarları dere kumu % 40, kırmataş agrega (5-10mm) % 20 ve kırmataş agrega (10-20mm) %40 için bulunan karışımın elek analizi Çizelge 1’de verilmiştir. Agrega karışımının granülometri eğrisi, TS 706 (6) ile karşılaştırmalı olarak Şekil 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. (%40 Dere Kumu -%20 İnce Kırmataş -%40 İri Kırmataş) Karışımına Ait Elek Analizi

Elek (mm)	Elek Üstü (gr)	Kümülatif (gr)	Kümülatif Kalan (%)	Kümülatif Geçen (%)
32	0	0	0	100
16	57,2	57,2	5,72	94,28
8	383,4	440,6	44,06	55,94
4	101	541,6	54,16	45,84
2	123,6	665,2	66,52	33,48
1	41,2	706,4	70,64	29,36
0,5	117,6	824	82,4	17,6
0,25	135,2	959,2	95,92	4,08
0,10	26	985,2	98,52	1,48



Şekil 1. Agrega Karışımının Granülometri Eğrisi

2.1.2. Çimento Temini ve Özellikleri

Çimento cinsi ve özellikleri, beton dayanımına etki eden en önemli özelliklerden biridir. Çimento, su ile karşılaştığında hidrasyon reaksiyonlarına girerek sertleşen ve

dayanım kazanan, dayanımını su içinde de koruyan, çok ince öğütülmüş inorganik bir malzemedir (1). Mukavemeti yüksek olan çimentolarla üretilen betonların mukavemetinin yüksek olduğu bilinmektedir (4).

Deneylerde kullanılan çimentonun kimyasal analizi ve fiziksel özellikleri Çizelge 2 ve Çizelge 3'de verildiği gibidir.

Çizelge 2. Kullanılan Çimentonun Kimyasal Analizi

	Analiz Sonuçları (%)
Kimyasal Analiz	PÇ 42,5
İlgili Standart	TS 19
Erimez Kalıntı	0,25
SiO₂	20,01
Al₂O₃	5,04
Fe₂O₃	3,90
Mn₂O₃	0,07
CaO	62,91
MgO	2,41
SO₃	2,70
Kızdırma Kaybı	1,11
Na₂O	0,13
K₂O	0,88
Toplam Alkaliler (Na₂O+0,658K₂O)	0,71
S.CaO	0,50

Çizelge 3. Kullanılan Çimentonun Fiziksel Özellikleri

		Deneme Sonuçları
Fiziksel Özellikler		PÇ 42,5
İlgili Standart		TS 19
Özgül Ağırlık (g/cm³)		3,17
Donma Süresi	Başlangıç	02:29
	(saat:dakika) Final	03:17
Hacim Sabitliği (mm)		1
Litre Ağırlığı (g/lt)		950
İNCELİK	Özgül Yüzey (cm²/g)	3370
	0,200 mm elekte kalıntı %	0,0
	0,090 mm elekte kalıntı %	0,2
Basınç Dayanımı	2 günlük	29,2
	TS24,ISO679'7 günlük	42,8
	EN196-1 28 günlük	51,3

2.1.3. Su Temini ve Özellikleri

Deney çalışmalarındaki beton karışımlarında kullanılan karma suyu içilebilir nitelikte derin kuyu suyudur.

2.1.4. Katkı Maddeleri Temini ve Özellikleri

Beton katkı maddeleri çimento, agrega ve suyun dışında betonun taze veya sertleşmiş haldeki özelliklerini istenilen şekilde değiştirmek üzere, karıştırma işleminden hemen önce veya karıştırma işlemi sırasında betona katılan malzemelerin genel adıdır (7). Akışkanlaştırıcı katkılarla çimento hamurunun boşluk oranının % 5 lere inmesi halinde mukavemetinin 200 MPa seviyelerine çıktığı görülmektedir (8).

Deney çalışmalarında YKS Degussa Yapı Kimya Sanayi A.Ş.'nin ürettiği Glenium 27 hiperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Yüksek oranda su azaltıcı ve erken yüksek dayanım sağlayan bu katkı maddesi ASTM C 494 Tip A ve F'ye ve EN 934-2'ye uygundur. Çimento ağırlığının % 0,7-3'ü oranında kullanılabilen ve su azaltıcı olarak kullanılan bu katkı maddesi çimento ve katkı dozajına bağlı olarak kullanılan karışım suyu miktarını azaltarak betonun 28 günlük dayanımında artış sağlamaktadır. Glenium 27'nin yoğunluğu 1,05 gr/cm³'tür.

Yapılan deney çalışmalarında YKS Degussa Yapı Kimya Sanayi A.Ş.'nin ürettiği Meyco MS 610 mineral katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Meyco MS 610 mineral katkı maddesi (silis dumanı) ile ilgili teknik veriler Çizelge 4'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. Silis Dumanı ile İlgili Teknik Veriler

	ANALİZ SONUÇLARI
CaO	% 0,2 - 0,7
SiO ₂	% 90 - 93
Al ₂ O ₃	% 0,4 - 0,9
Fe ₂ O ₃	% 1,0 - 2,0
Diğer	% 2 - 3
Özgül Ağırlık	2.300 kg/m ³
Yığın Ağırlığı	
Sıkıştırılmamış	150 - 250 kg/m ³
Sıkıştırılmış	550 - 650 kg/m ³
Yüzey Alanı	15.000 - 25.000 m ² /kg
Tane Boyutu	0,05 - 0,5 qm

2.2. Metod

Çalışmada, beton basınç ve çekme dayanımını etkileyen faktörleri incelemek ve etkilerinin mertebesini tespit etmek amacıyla bir dizi laboratuvar çalışması yapılmıştır. Farklı durumlarda laboratuvarında deney betonları üretilmiş ve sertleşmiş beton üzerinde ilgili deneyler yapılmış ve değişik yaşlarda beton basınç ve çekme dayanımları tespit edilmiştir.

Belirtilen bütün şartlar için kullanılacak bir agregada gradasyonu başlangıçta belirlenmiştir. Belirlenen agregada gradasyonu TS 706 da verilen A-B eğrileri arasında olan uygun bölgede kalacak şekilde ayarlanmış ve tüm durumlar için kullanılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmada 15cmx30cm silindir, 15cmx15cm küp ve 10cmx10cmx50cm kiriş numune kalıpları kullanılmıştır. Silindir ve küp numuneler beton basınç dayanımını tespit etmek ve silindir – küp numune arasındaki basınç dayanımı oranını belirlemek için kullanılmıştır. Kiriş numuneler ise beton çekme dayanımının tespiti için kullanılmıştır.

Her üç tip numune için de 1 günlük, 3 günlük, 7 günlük, 28 günlük, 3 aylık ve 6 aylık, her yaş için %0, %5, %10, %15 ve %20 silis dumanı / bağlayıcı malzeme ve her tip için üçer adet beton numunesi dökülmüştür.

Su-çimento (S/Ç) oranının azaltılmasıyla betonun basınç dayanımında artış olacağı 1897 (Ferret)'ten beri bilinmektedir (8). Deneylerde su – çimento oranı değişken, çökme değeri sabit (sıfır) tutulmuştur.

Deney betonları Kambeton firmasının laboratuvarında ve elle dökülmüştür. Hazırlanan her karışım el ile karıştırılarak numune kalıplarına yerleştirilmiştir ve sarsma tablası ile betonun kalıplara iyice yerleşmesi sağlanmıştır.

Dökümü tamamlanan betonlar, dökümden bir gün sonra kalıplardan alınarak, kür havuzuna yatırılmıştır ve burada yedi gün süreyle bekletilmiştir. Bir günlük iken kırılan numuneler havuza hiç yatırılmamıştır. Üç günlük ve yedi günlük iken kırılan numuneler, kırılmalarından bir gün önce kür havuzundan alınmışlardır.

Deneylerde kullanılan betonların karışım oranları Çizelge 3.5'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 5. Deneylerde Kullanılan Betonların Karışım Oranları

1.		1m ³	Silindir	Küp	Kiriş	S / Ç
		Betonda	0,11m ³	0,075m ³	0,105m ³	
K	Çimento(kg)	500	55	37,5	52,5	0,28
A	0-5mmAg.(kg)	726	79,86	54,45	76,23	
R	5-10mmAg(kg)	363	39,93	27,225	38,115	
I	10-20mmAg(kg)	726	79,86	54,45	76,23	
Ş	Su (lt)	140	15,4	10,5	14,7	
I	Akışkan(lt)	5	0,55	0,375	0,525	
M	Silis (kg)	0	0	0	0	

2.		1m ³	Silindir	Küp	Kiriş	S / Ç
		Betonda	0,11m ³	0,075m ³	0,105m ³	
K	Çimento(kg)	475	52,25	35,625	49,875	0,29
A	0-5mmAg.(kg)	726	79,86	54,45	76,23	
R	5-10mmAg(kg)	363	39,93	27,225	38,115	
I	10-20mmAg(kg)	726	79,86	54,45	76,23	
Ş	Su (lt)	145	15,95	10,875	15,225	
I	Akışkan(lt)	7,5	0,825	0,5625	0,7875	
M	Silis (kg)	25	2,75	1,875	2,625	

YÜKSEK DAYANIMLI BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

3.		1m ³	Silindir	Küp	Kiriş	S / Ç
		Betonda	0,11m ³	0,075m ³	0,105m ³	
K	Çimento(kg)	450	49,5	33,75	47,5	0,30
A	0-5mmAg.(kg)	726	79,86	54,45	76,23	
R	5-10mmAg(kg)	363	39,93	27,225	38,115	
I	10-20mmAg(kg)	726	79,86	54,45	76,23	
Ş	Su (lt)	150	16,5	11,25	15,75	
I	Akışkan(lt)	10	1,1	0,75	1,05	
M	Silis (kg)	50	5,5	3,75	5,25	

4.		1m ³	Silindir	Küp	Kiriş	S / Ç
		Betonda	0,11m ³	0,075m ³	0,105m ³	
K	Çimento(kg)	425	46,75	31,875	44,625	0,32
A	0-5mmAg.(kg)	726	79,86	54,45	76,23	
R	5-10mmAg(kg)	363	39,93	27,225	38,115	
I	10-20mmAg(kg)	726	79,86	54,45	76,23	
Ş	Su (lt)	160	17,6	12	16,8	
I	Akışkan(lt)	12,5	1,375	0,9375	1,3125	
M	Silis (kg)	75	8,25	5,625	7,875	

5.		1m ³	Silindir	Küp	Kiriş	S / Ç
		Betonda	0,11m ³	0,075m ³	0,105m ³	
K	Çimento(kg)	400	44	30	42	0,34
A	0-5mmAg.(kg)	726	79,86	54,45	76,23	
R	5-10mmAg(kg)	363	39,93	27,225	38,115	
I	10-20mmAg(kg)	726	79,86	54,45	76,23	
Ş	Su (lt)	170	18,7	12,75	17,85	
I	Akışkan(lt)	15	1,65	1,125	1,575	
M	Silis (kg)	100	11	7,5	10,5	

2.2.1. Deney Betonu Karışımlarının Hazırlanması

Deney betonu karışımları %0 silis dumanı / bağlayıcı malzeme oranı için ve öncelikle 0,24 su / çimento oranı ile hazırlandı. Fakat hazırlanan karışımda betonun kalıba iyi yerleşmediği ve çimentonun tamamıyla hidrasyona uğramadığı gözlemlendi. İkinci deney betonu 0,26 su / çimento oranı ile hazırlandı ve bu karışımın da kalıba iyi yerleşmediği ve çimentonun tamamıyla hidrasyona uğramadığı gözlemlendi. Üçüncü deney betonu 0,28 su / çimento oranı ile hazırlandı ve bu karışımın işlenebilirlik ve çimentonun hidrasyonu açısından uygun olduğu görüldü. Hazırlanan deney numuneleri 7 günlükken kırıldı ve kırım sonuçlarının da istenilen düzeyde olduğu görüldü. %0 silis dumanı / bağlayıcı malzeme oranı için uygun su / çimento oranı tespit

edildikten sonra, diğer karışımlar için de aynı çökme miktarını (sıfır) veren karışımlar hazırlandı.

Silindir, küp ve kırıç numuneler için 1 günlük, 3 günlük, 7 günlük, 28 günlük, 3 aylık ve 6 aylık, %0, %5, %10, %15 ve %20 silis dumanı / bağlayıcı malzeme oranı ile ve her seri 3 numunedan oluşmak suretiyle beton serilerinin dökümüne başlandı.

3. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

3.1. Deney Sonuçları

Silindir, küp ve kırıç numunelere ait deney sonuçlarının ortalamaları sırasıyla Çizelge 6, Çizelge 7 ve Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 6. Ortalama Kırım Değerleri – Silindir Numune

kg/cm ²	Silis Oranı	1 Günlük	3 Günlük	7 Günlük	28 Günlük	91 Günlük	182 Günlük
Silindir	%0	392,84	439,08	518,19	598,82	641,28	704,10
Silindir	%5	381,57	437,92	545,87	700,94	716,10	756,03
Silindir	%10	393,63	450,87	550,53	711,98	734,10	793,39
Silindir	%15	280,26	427,27	483,14	666,98	723,51	785,32
Silindir	%20	238,19	377,23	465,80	551,11	597,53	670,68

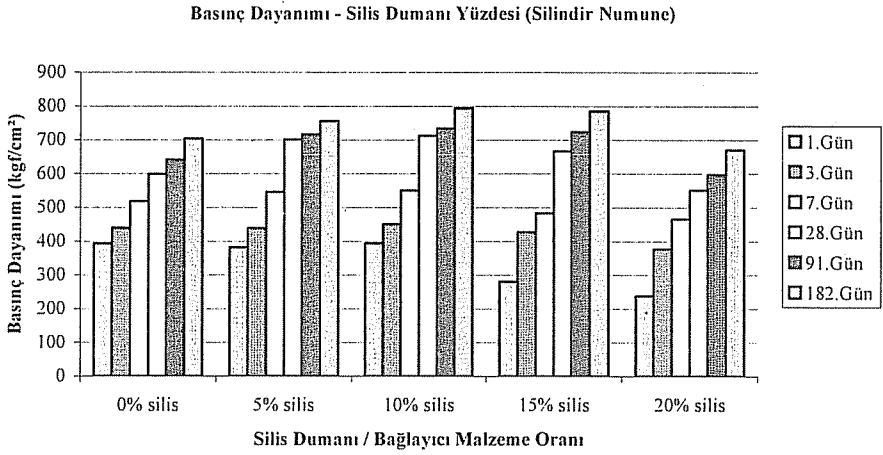
Çizelge 7. Ortalama Kırım Değerleri – Küp Numune

kg/cm ²	Silis Oranı	1 Günlük	3 Günlük	7 Günlük	28 Günlük	91 Günlük	182 Günlük
Küp	%0	535,34	598,63	658,73	801,48	837,90	879,10
Küp	%5	484,06	613,51	683,06	894,37	911,68	927,54
Küp	%10	419,39	609,18	697,45	913,48	925,23	956,37
Küp	%15	352,39	545,95	693,59	863,73	929,14	942,58
Küp	%20	302,49	490,18	583,85	736,40	796,96	848,55

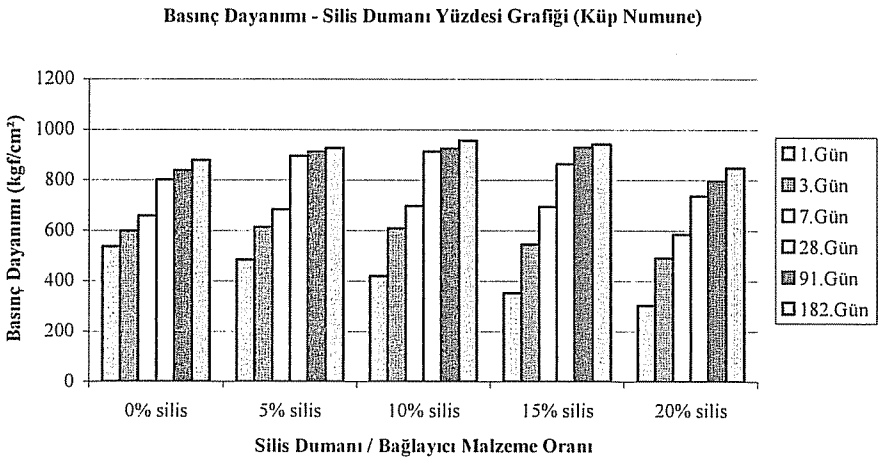
Çizelge 8. Ortalama Kırım Değerleri – Kırıç Numune

kg/cm ²	Silis Oranı	1 Günlük	3 Günlük	7 Günlük	28 Günlük	91 Günlük	182 Günlük
Kırıç	%0	47,91	66,15	69,26	72,47	75,78	76,77
Kırıç	%5	39,84	63,08	70,86	80,20	86,11	91,32
Kırıç	%10	31,20	59,50	70,40	75,66	76,85	84,57
Kırıç	%15	21,04	54,08	68,80	72,27	76,50	79,56
Kırıç	%20	9,48	51,16	58,64	64,10	70,26	75,87

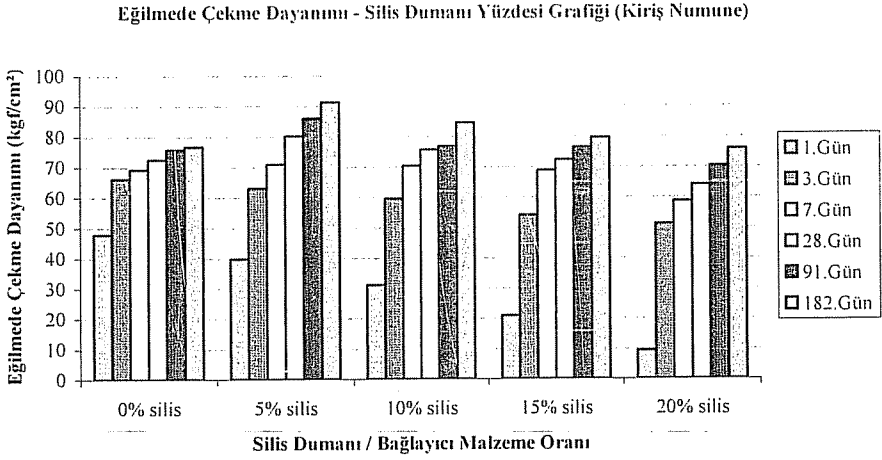
Silindir, küp ve kiriş numunelere ait basınç ve çekme dayanımlarını gösteren grafikler; silis dumanı / bağlayıcı malzeme oranı ve numune yaşına göre sırasıyla Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmiştir.



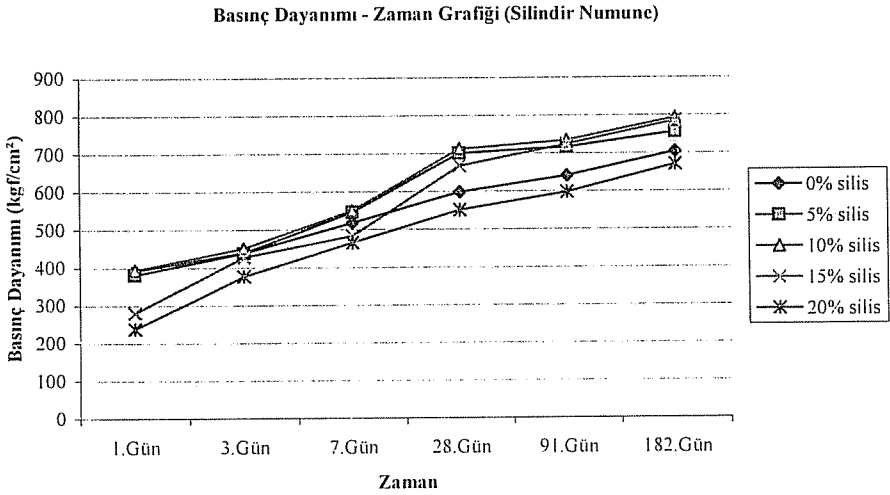
Şekil 2. Silindir Numunelerde Silis Dumanı / Bağlayıcı Malzeme Oranının Basınç Dayanımına Etkisi



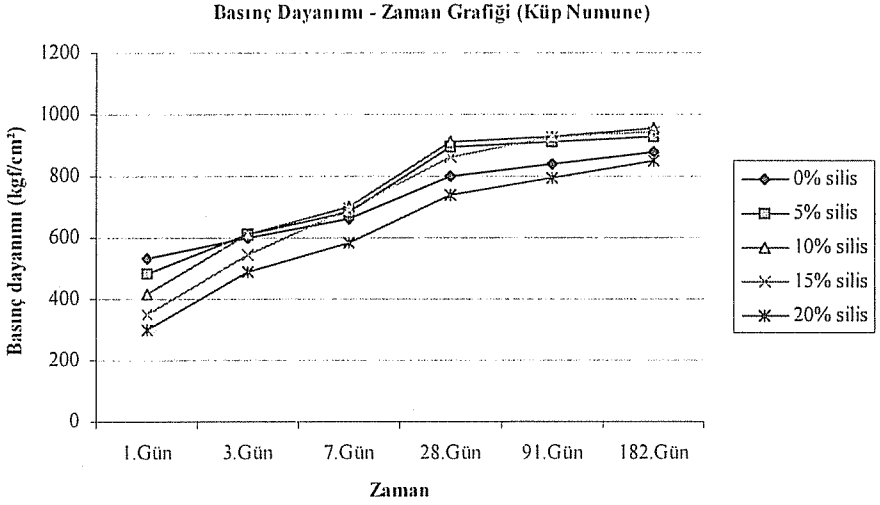
Şekil 3. Küp Numunelerde Silis Dumanı / Bağlayıcı Malzeme Oranının Basınç Dayanımına Etkisi



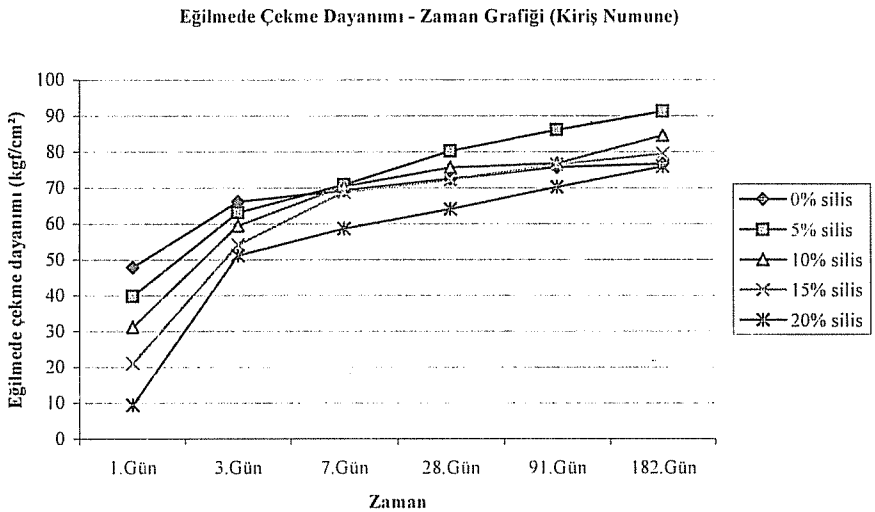
Şekil 4. Kiriş Numunelerde Silis Dumanı / Bağlayıcı Malzeme Oranının Eğilmede Çekme Dayanımına Etkisi



Şekil 5. Silindir Numunelerde Numune Yaşının Basınç Dayanımına Etkisi



Şekil 6. Küp Numunelerde Numune Yaşının Basınç Dayanımına Etkisi



Şekil 7. Kiriş Numunelerde Numune Yaşının Eğilmede Çekme Dayanımına Etkisi

3.2. Sonuçlar ve Öneriler

Yüksek dayanımlı betonların dayanım özellikleri, %0, %5, %10, %15, %20 silis dumanı – bağlayıcı malzeme oranları, silindir, küp, kırıç beton numuneleri, 1, 3, 7, 28, 91, 182 günlük basınç ve çekme dayanımları kriterleri doğrultusunda incelenmiştir ve aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur:

1. Farklı beton numuneleri ile elde edilen basınç dayanımları karşılaştırıldığında en yüksek 28 günlük dayanım $918,33 \text{ kgf/cm}^2$ ile %10 silis dumanı / bağlayıcı malzeme oranına sahip olan küp numuneden elde edilmiştir

2. İlerleyen yaşlarda %15 silis dumanı / bağlayıcı malzeme oranına sahip numunelerden elde edilen basınç dayanımlarının, %10 silis dumanı / bağlayıcı malzeme oranına sahip numunelerin basınç dayanımlarına oldukça yaklaştıkları görülmektedir.

3. Beton içerisinde bulunan silis dumanı miktarında artış oldukça, erken yaşlardaki dayanımın düşük olmasına rağmen, ilerleyen yaşlarda dayanımın yükseldiği görülmektedir.

4. Silindir ve küp numunelerden elde edilen beton basınç dayanımları arasında %75 ila %83, ortalama %79'luk bir oran olduğu görülmüştür.

5. Farklı beton numuneleri ile elde edilen çekme dayanımları karşılaştırıldığında en yüksek 28 günlük dayanım $81,37 \text{ kgf/cm}^2$ ile %5 silis dumanı / bağlayıcı malzeme oranına sahip olan kırıç numuneden elde edilmiştir

6. Silis dumanı katkısının, betonun çekme dayanımı üzerinde fazla bir etkisi olmadığı görülmüştür.

7. Betonun çekme ve basınç dayanımları arasındaki oran, küp numunelerde %8 ila %10, silindir numunelerde %10 ila %12, genel ortalama olarak %10 olarak bulunmuştur.

4. KAYNAKLAR

1. TS 11222, *Beton-Hazır Beton-Sınıflandırma, Özellikler, Performans, Üretim ve Uygunluk Kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2001.*

2. TS 500, *Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1984.*

3. Berktaş, İ., *Genelde Yüksek Dayanımlı Beton. 2. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 1-14s, İstanbul, 1991.*

4. Postacıoğlu, B., *"Beton" Cilt I,II Matbaa Teknisyenleri Basımevi, 404s, İstanbul, 1986.*

5. Yeğinoğlu, A., *"Betonda Dayanımı Etkileyen Faktörler", Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Çimento ve Beton Araştırma Geliştirme Enstitüsü Seminer Notları, Ankara, 2000.*

6. TS 706, *Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.*

7. Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., Uyan, M., *"Meslek Liseleri için Her Yönüyle Beton", Türkiye Hazır Beton Birliği, 199s, İstanbul, 1999.*

8. Akyüz, S., *"Boşluk Oranı ve Geometrisinin Betonun Basınç Dayanımına Etkisi, Yüksek Dayanımlı Betonda Boşluk Yapısı", İkinci Ulusal Beton Kongresi, 53-66s, İstanbul, 1991.*

DIYARBAKIR REZİDÜEL KİLİNİN KÖKEN-MİNERAL YAPI-MÜHENDİSLİK DAVRANIŞI İLİŞKİLERİNİN İRDELENMESİ

Taha TAŞKIRAN ve Cafer KAYADELEN
Ç.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Bu çalışma kapsamında, killi rezidüel bir zeminin köken ve oluşum süreci araştırılmış ve bu zemininde mineral içerik ile köken ilişkisi kurulmaya çalışılmıştır. Ayrıca kilin sahip olduğu mineral yapı-temel mühendislik özellikleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bu amaçla diyarbakır ilinin kentleşmeye sahne olan yeni mücavir alanı üzerinde yer alan rezidüel killi zemin araştırmaya konu edilmiştir. Alanın geoteknik karakterini, oluşum süreçleri ve mineraloji ile ilişkilendirerek tanımak ve buradan hareketle zeminin, inşa edilecek üst yapılar açısından, muhtemel problemlere neden olabilecek mühendislik özelliklerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla; çalışma alanından alınan iki adet numune kullanılarak mta genel müdürlüğü laboratuvarlarında x-ray difraksiyonu ile mineralojik analizler gerçekleştirilmiş ve zeminin indeks özellikleri tespit edilmiştir. Söz konusu kilin oluşum süreçleri irdelenmiş, mineral yapı bazalt kökenli mineraller ile ilişkilendirilmiş ve hakim mineral yapının etkin kıldığı şişme/büzülme potansiyeli v.b.mühendislik davranışları ile ilişkiler araştırılmıştır.

EVALUATION OF ORIGIN-MINERALOGY-ENGINEERING BEHAVIOUR OF RESIDUEL CLAY IN DIYARBAKIR PROVINCE

ABSTRACT : In the content of this study, the origin and formation of an residuel soil were investigated and mineralogical composition were tried to relate with the origin and formation. To do this, the new site area of diyarbakır city that is covered by an residuel soil formation were chosen for the investigations.

To know the geotechnical characteristics of soil in relation with its origin and formation processes will provide better insight for estimating probable soil problems that may cause structural distresses. Samples were collected from site, x-ray diffraction analysis were performed and mass-index properties was determined by laboratuvarı tests. Mineralogical composition of the soil were related with minerals of parent rock (basalt). Depending on the mineral type of soil; such behavior as swell/shrinkage of soil will be expected to be effective.

1. GİRİŞ

Killerin, mineralojisi ile temel mühendislik davranışları arasındaki ilişki çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Kilin türü; zeminin geçirimsizliğine, şişme-büzülme davranışına, sıkışabilirlik ve kayma direnci gibi önemli özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Kil minerallerinin türü, kökenleri ve oluşma ortamları ile yakından ilgilidir. Kayacın kile dönüşmesi ve kilin karakterini kazanmasında; ortam sıcaklığı, yağış, nemlilik, yer altı suyu seviyesi, drenaj koşulları, pH ve tuzluluk, bitki örtüsü, topografik eğim ve ana kayacın türü önemli rol oynar. Rezidüel zeminlerin oluşumunda iklim, bu faktörlerin en başında gelmekte ve belirli iklim koşullarının belirli mineral yapılarına kaynaklık ettiği bilinmektedir. Örnek olarak, smektitler buharlaşmanın yağış düzeyini geçtiği ve yakanmanın yetersiz olduğu yarı kurak ve kurak iklimlerin tipik mineralleri iken, lateritler ve podzolun hakim mineralleri kaolinittir (1). Dolayısı ile killerin mineral yapılarını oluşum koşulları ve kökenleri ile birlikte değerlendirmek; zemin yapısını daha gerçekçi tanımak, muhtemel mühendislik problemleri tahmin etmek yönünden önemlidir. Ayrıca, geniş ölçekli alan çalışmalarında çalışmaya yön vermekte ve alanın geoteknik karakterini daha iyi anlamaya imkan tanımaktadır.

Ferromagnezyen mineraller içeren bazik ve orta (% 40-60 SiO₂) magmatik kayalar ve volkan küllerinin, kaynaklık ettiği smektit ve smektitlerin içinde yer aldığı karışık tabakalı kil yapılarının hakim olduğu kurak ve yarı kurak iklim koşullarının sürdüğü bölgeler, şişme özelliğine sahip killerin oluşması için uygun ortamlardır. Şişen killere dünyanın birçok yerinde rastlanmaktadır. A.B.D.(Gromko, 1974), Sudan (Charlie and Osman, 1984), Ürdün (Driscoll et.al, 1984), Kuzey Afrika (Williams and Donaldson, 1980), Hindistan (Wooltorton, 1936) ve Türkiye (Ordemir ve Erdemgil, 1984) şişen killerin hasarlara yol açtığı rapor edildiği yerlerdendir (2).

Uygun iklim koşullarında, buharlaşma ve terlemenin neden olduğu zemin neminin azalması sonucunda, kuruma oluşmakta ve zeminin rötre çatlakları gözlenmektedir. İzleyen dönemlerde düşen yağışlar ile zeminin nem muhtevası artmakta, geçirimsiz alanların altında nem birikmekte, insan faktörü (su borularından gelen sızıntılar, drenaj sistemlerinin tıkanması, su birikintileri v.s.) sonucunda zemin şişmekte ve hasarlar oluşabilmektedir. Hafif yüklü yapılar, yol ve havaalanı kaplamaları, park alanları, kanal kaplamaları ve su boruları şişen zeminlerin en çok hasar verdiği yapılardır. Kurak ve yarı kurak alanlar, bu tip hasarların en ciddi görüldüğü yerlerdir.

Ancak, şişmenin oluşabilmesi için, zeminin şişme özelliğine sahip (potansiyel şişebilir) olması gerekmektedir. Bu nedenle, böyle zeminlerin farkına varılması ve tanımlanmaları oldukça önemlidir.

2. ÇALIŞMA ALANININ FİZYOGRAFYASI VE JEOLJİSİ

Çalışma alanı; Diyarbakır ili, yerleşim alanının güneybatısında yer alıp ilin yeni mücavir alanıdır. Kayapınar –Bağcılar ve Yeniköy semtlerini kapsamaktadır.

Çalışma alanı, genel olarak hafif engebeli, ortalama % 2-3 eğime sahip, 715m-740m rakımları arasında yer almaktadır. İnceleme alanı Anadolu levhasını, kuzeye doğru hareketi ile sıkıştıran Arabistan levhasının kuzey sınırında meydana gelmiş olan ve eksenini Dicle nehrine karşılık gelen açılmalı havza içerisindedir. Arap Bloğu üzerinde, Dicle nehrine tekabül eden yapısal açılım bölgesinde yer almaktadır. Stratigrafik istif yukarıdan aşağıya doğru; residüel kil (Genç kil) 1m-9m kalınlığında, bazalt (Pliyo-

Kuvaterner) 25m-120m, Şelmo formasyonu (Miyo - Pliyosen)200m-225m, Silvan formasyonu (Üst- Miyosen) 200-250m, Germik formasyonu (Alt miyosen)150-250m, Midyat formasyonu (Orta- Eosen) 200m-350m den oluşmaktadır (3).

Arap levhasının Anadolu levhasına bindirmesi sonucu oluşan kuzey güney yönlü yarıklar, başlayan volkanizma ile mevcut yayvan düzlüklerin bazaltlarla kaplanmasına yol açmıştır. Çok geniş bir alanda faaliyete geçen volkanizma, başta tüf ve tüfitlerin egemen olduğu proklastiklerin oluşumuna, mevcut paleocoğrafyaya göre yayılmasına, çukur alanlarda kalın, sıg alanlarda ise daha ince teşekkül etmesine yol açmıştır. Volkanizmanın bir çok evre ve fazda faaliyet göstermesi nedeniyle, evreler arasında karasal çökeller oluşmuştur Faz aralarında yer alan eski toprak örtü; yamaç molozu, alüvyon ve proklastiklerin ayrışmaları sonunda oluşmuş ve 2-3m kalınlıktadır. Bazaltlar; gri-siyah, yeşilimsi renkte, bazen ince strüktürlü masif ve yoğun, bazen de gözenekli kırıklı parçalı özelliklerdir. Bazalt eklemli soğuma çatlaklı ve gözenekli olup, yeraltı suyunu depolamaya oldukça uygun bir ortam oluşturarak bir çok kaynak ve pınarın oluşumunu sağlamıştır. Statik seviye 25-40m arasında, dinamik seviye ise 50-70m arasında değişmektedir. Ancak faz arası killer sayesinde, yüzeye oldukça yakın, aslı su seviyelerine rastlamak mümkündür (3).

Tabakalanmanın en üstünde bulunan ve bazalt kökenli olan rezidüel killer ise, bu çalışmaya konu olup, ilgili bölümlerde daha ayrıntılı incelenecektir.

3. ÇALIŞMA ALANI KİLİNİN OLUŞUM MEKANİZMALARININ İRDELENMESİ

Kayaçlar, oluşumlarının hemen ardından, çevresel koşullar ve bünyesel özellikleri etkisinde, ayrışma ve yıpranma süreçlerine yönelirler. Ayrışma sonucunda, meydana gelen ürün, ana kayacın yanında ve ana kayacın yapısını da yansıtarak, yabancı bir malzeme içermeden bulunuyorsa, bu tip zeminler "rezidüel (kalıntı) zeminler" olarak adlandırılırlar (1).

Rezidüel zeminlerde; iklim, ortam sıcaklığı, nemlilik, yer altı suyu etkisi, topografik eğim, bitki örtüsü türü ve ana kayacın türü önemli rol oynar. Rezidüel zeminlerin oluşum sürecinde iklim ve çevre koşulları en başta gelen faktörlerdir (1).

Tropik iklim koşullarında oluşmuş rezidüel killer, özellikle volkanik kayaçların ayrışma ürünüdürler. Ilıman iklimlerde yer alan rezidüel killer, daha çok kil kökenli kayaçların ayrışmasıyla oluşurlar.

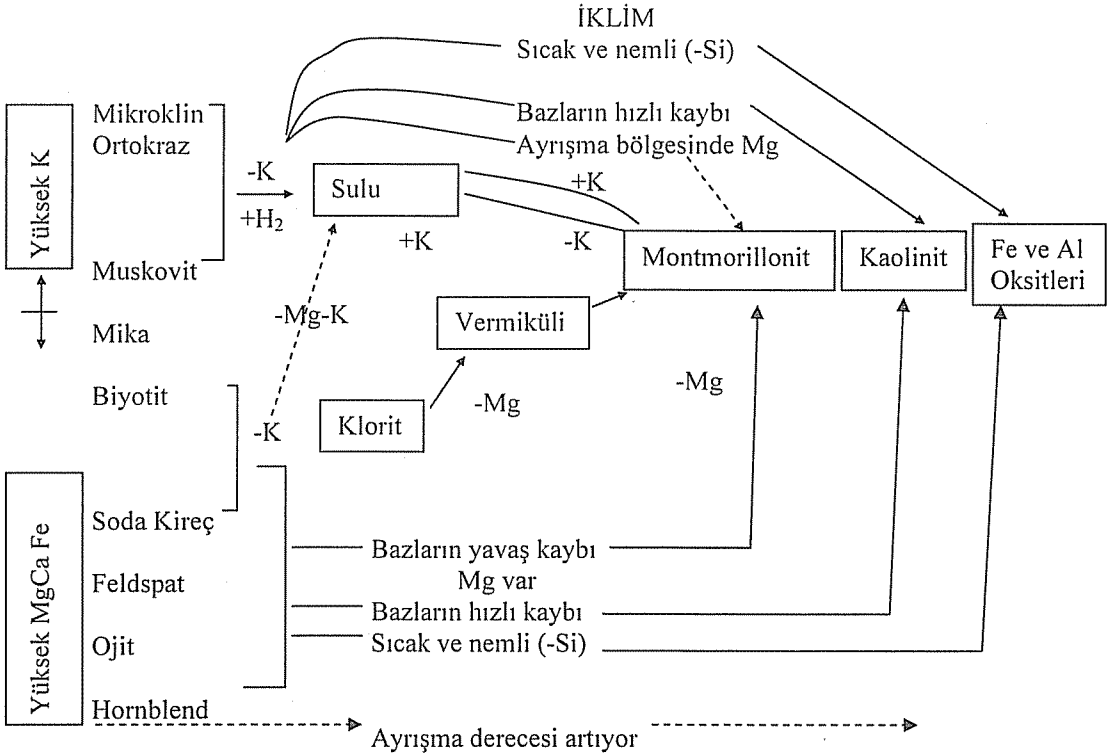
Çalışma alanı kili, sınırları çalışma alanının dışında da devam eden ve oldukça geniş bir alana yayılmış olan bazaltlar üzerindedirler. Bazaltlar, Karacadağ volkanitinin faaliyet ürünleri olup, kalkan krater şekliyle; Diyarbakır, Urfa, Mardin ve Şırnak illerinde mevcuttur. Bazalt ortamın; geniş, yaygın ve yüksek kotlarda olmasından dolayı, ortama rüzgar, yağmur, v.s. etkilerle yabancı malzeme taşınması güçleşmektedir. Yine, aynı nedenlerle bu ortamdan komşu ortamlara malzeme akışının olduğu gözlemlenmektedir. Bu nedenle, bazaltlar üzerinde yer alan koyu kahverengi-kırmızımsı ve/veya kahve renklerindeki bu kilin, tamamen bazaltın yıpranma ve ayrışma ürünü olması ihtimalini güçlendirmektedir. Ayrıca, mevcut kilin, homojenlik, ayrışma derinliği, mineralojik yapı, bazalt kaynaklı mineraller ile ilişkisi, renk-iklim ilişkisi de, izleyen bölümlerde ele alınacağı gibi, dikkate alındığında, rezidüel olduğu anlaşılmaktadır.

Orijin olarak bakıldığında, iklimin yarı kurak ve üniform, bazalt platosunun yaygın ve düzgün bir topografyaya sahip olması nedeniyle, erozyonun minimal düzeyde kalması ve zeminin rezidüel olması nedeniyle çalışma alanı “zonal” olarak nitelendirilebilir. Büyük zemin gruplarının da içine dahil olduğu zonal zeminlerde iklim etkisinin ana kayaç türünden daha önemli olduğu bilinmektedir. Kurak ve yarı kurak iklimlerin zeminleri olan ve kırmızı, kırmızımsı kahve, kırmızımsı kestane renklerinde, bünyelerinde kalsiyum karbonat ihtiva eden rezidüel zeminler “pedokaller” olarak bilinmektedirler (1). Çalışma alanı bu açıdan değerlendirildiğinde; mevcut rezidüel kilin koyu kahve, kırmızımsı kahve renklerinde oluşu, iklimin yarı kurak, numune alma çalışmaları ve temel kazılarında açıkça görülen kalsiyum karbonat ihtiva etmesi nedeniyle pedokaller grubuna dahil edilebilir.

Yarı kurak iklimlerde tipik olan gece-gündüz ve mevsimsel ısı farkları sonucu, ani ısınma ve soğuma etkisiyle ısı kökenli genişleme ve büzülme mekanizması ve ayrıca bazalt kayasının su emme isteğinin fazla oluşu nedeniyle, ısınma-kuruma mekanizmaları etkin olmaktadır. Bazaltların soğuma evrelerine ait olan çoğunlukla altıgen şekilli soğuma çatlakları, ayrışma ve yıpranma mekanizmalarının yoğun olduğu bir ortam oluşturmaktadır (4). Bu çatlaklara suyun nüfuz etmesi durumunda, kimyasal ayrışma süreçlerinin gelişebileceği uygun bir ortam oluşmaktadır. Ayrıca, suyun çatlakları doldurması halinde oluşacak donma-çözülme çevrimleri, mekanik yıpranma etkisi yapmaktadır. Çalışma alanında yapılan kazı çalışmalarında sıklıkla rastlanan ve “altare zonlar” denilen bu bölgelerde kayaç yapısının ayrışma izlerini taşıdığı, kil ve bazalt çakılları ihtiva ettiği görülmektedir. Bu zonlar, kil oluşumunun yoğunlaştığı ve killeşmenin buradan yayıldığı yerlerdir.

Bazaltların oluşumu sırasında, lavların bazı nedenlerden dolayı tüf olarak teşekkül etmesi, volkanik ortamlarda bunlara ayrı bir zon şeklinde rastlanmasına neden olmaktadır. Tüflerin, yüksek plastik killerin kökenlerinden biri olduğu bilinmektedir (5). Çalışma alanında yapılan kazılarda rastlanan ve problemlere yol açan; özellikle su ile karşılaştığında dayanımını büyük ölçüde yitiren ve stabilite sorunları yaratan tüfler, kimyasal süreçlerin tamamlanması ile kile dönüşmektedirler

Magmatik kayaç birincil minerallerinden olan olivin ve ojit, ayrışma yeteneği (WPI) en yüksek olan minerallerdir. Ayrışma sonunda, bu minerallerin bazlarını yavaş kaybetmeleri durumunda montmorillonit, hızlı kaybetmeleri durumunda ise kaolinit minerallerine dönüşmektedirler (Şekil 1.) Çalışma alanında kısmen mostra veren, Üst Miyosen'den başlayarak çeşitli evrelerle yakın zamana kadar süregelen ve Karacadağ volkanitlerini oluşturan bazaltik lavlardan çok sayıda örnek üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, bütün evrelere ait örneklerin aynı petrografik özellikleri verdiği saptanmıştır. Tüm bazaltik lavlar “olivin bazalt” ve “olivin -ojit bazalt” türündendir (6). Çalışma alanı kilinin oluşumuna kaynaklık eden bazalt kayasının içerdiği olivin ve olivin-ojit minerallerinin bazlarını kaybederek, smektitleri de içeren montmorillonit grubu killerine dönüşebileceği Şekil 2. den görülmektedir.



Şekil 1. Killeşmenin Gelişmesinde Akış Diyagramı (Mitchell, J. K., 1976)

Ferromagnezyen mineraller içeren bazik ve orta (% 40-60 SiO₂) magmatik kayalar ve volkan külleri, smektitlerin oluşmasına uygun ortam hazırlar. Smektitler buharlaşmanın yağış düzeyini geçtiği, böylece yıkanmanın yetersiz olduğu yarı kurak ve kurak iklimlerin tipik mineralleridir (1). Çalışma alanı iklim ve yağış düzeni açısından smektitlerin oluşması için uygun bir ortamdır. Nitekim sonraki bölümde görüleceği üzere, gerçekleştirilen deneyler sonucunda (X-Ray difraksiyonu), smektit + klorit'ten oluşmuş karışık tabakalı mineral yapının, hakim kil minerali olduğu tespit edilmiştir.

Smektitlerin bulunduğu ortama, yeterli miktarda Mg⁺⁺ gelirse brusitin içerdiği ara tabaka suyunun yerini bu kation olarak klorite dönüştürür. Kloritin bir diğer oluşum şekli ise, magmatik ve başkalaşım kayadaki biyotit ayrışmaya uğrayarak trioktahedral klorit ve klorit-vermikülit karışık tabakalı mineralin oluşumu yolu ile (1). Çalışma alanı kloritleri bu oluşum süreçleri açısından değerlendirildiğinde, direkt magmatik olan bazalttan ayrışma ile oluşması ya da yine bazalttan ayrışmış ve ortamda en fazla bulunan smektit mineralinden dönüşerek oluşması ihtimali mümkündür. Bu aynı zamanda hakim mineral yapısının neden smektit + klorit karışık tabakalı kil şeklinde bulunduğu da açıklık getirmektedir. Kuvars ve feldspat mineralleri ayrışmaya karşı oldukça kararlı mineraller olup, oldukça uzun sürede ayrışmaktadırlar.

Ayrışma olayında bir diğer önemli nokta ise ayrışma derinliğidir. Ayrışma profili, kil oluşum miktarı ve hızı, topografya ise, birikim kalınlığını belirlemektedir. Çalışma alanının, kimyasal etki derecesi bakımından incelendiğinde, ortam sıcaklığı ve yağış miktarı verileri ile Peltier diyagramına başvurulduğunda orta-zayıf grubuna dahil olduğu görülmekte ve bu nedenle ayrışma derinliği yüzeysel kalmaktadır. Rezidüel killerde kil kalınlığı, kimyasal etki derinliğine eşit olmayabilir. Aynı ortamın kendi içinde rüzgar, su, v.s. etkilerle malzeme taşınması sonucunda, bazı yerlerde kil kalınlığı nispeten fazla olabilir. Çalışma alanında Yeniköy'ün Havaalanı tarafına yaklaştıkça kot düşmekte, ancak kil kalınlığı artmaktadır. Ayrıca bazaltların topografyasının ondülasyonlu olması nedeniyle bazı yerlerde kil kalınlığı lokal olarak fazla olabilmektedir. Kil kalınlığı minimum 1m den başlamakta ve çoğunlukla birkaç metre civarında yer almakta ve maksimum 8-9m ye yer yer erişebilmektedir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışma alanı kilinin, mineralojik özelliklerini saptamak amacıyla, çalışma alanından örselenmiş numuneler alınarak, M.T.A Genel müdürlüğü laboratuvarlarında X-Ray difraksiyonu yöntemi ile mineral analizleri yapılmıştır.

Diclekent ve Yeniköy, D.S.İ kuyuları civarından alınan 2 adet numune üzerinde gerçekleştirilen işlemler sonucu elde edilen XRD difraktogramlar, yönlendirilmiş XRD difrogtogramlar, etilen glikolle muamele edilmiş XRD diftogramları ve 550 C/2H muamele edilmiş difraktogramlar elde edilmiştir. İki lokasyona ait "Tüm Kayaç XRD difraktogramlar" Şekil 2'de verilmiştir.

Örneklerin içerdikleri mineraller ve bunların çokluk sırasına göre diziliş sırası aşağıda verilmiştir.

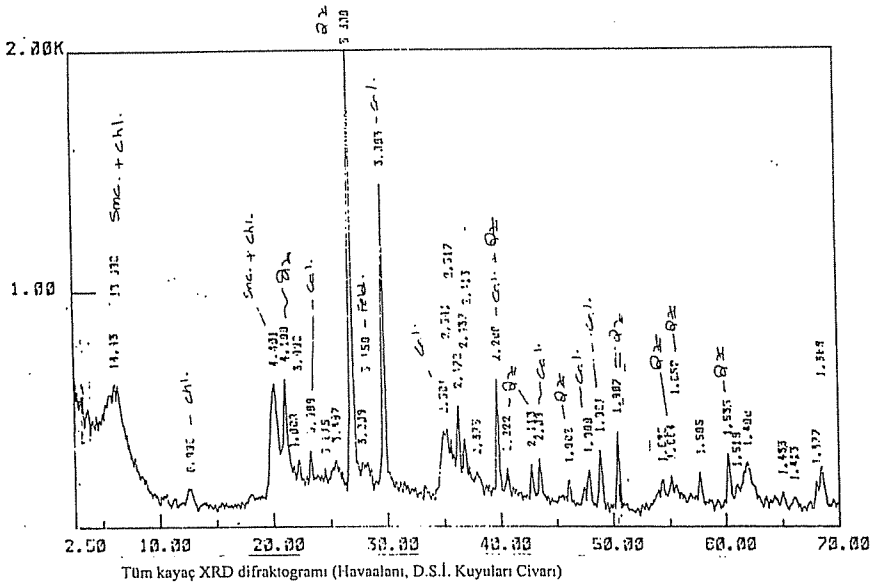
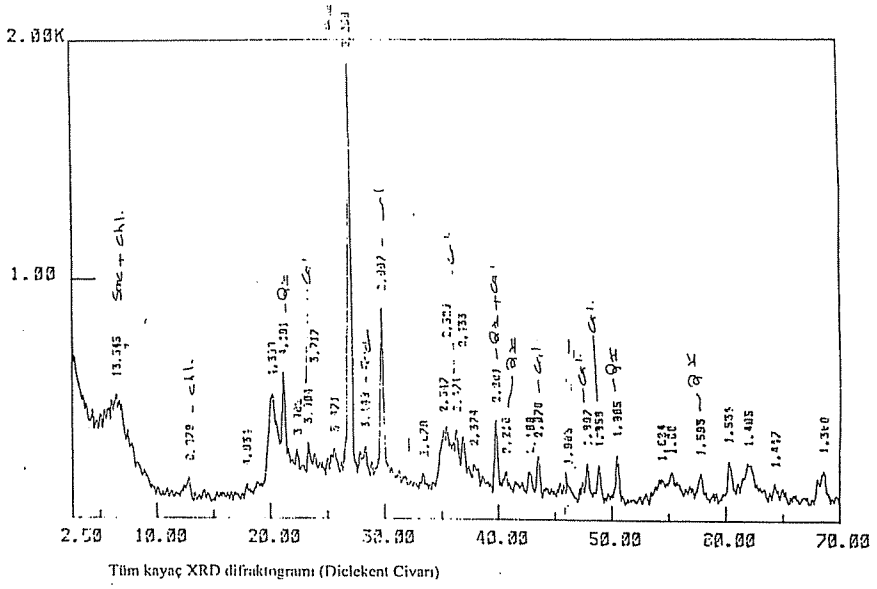
Diclekent : Karışık tabakalı kil (Smektit + Klorit), kuvars, kalsit, feldspat.

Havaalanı (D.S.İ.Kuyuları civarı) : Karışık tabakalı kil (Smektit + Klorit), kalsit, kuvars, feldspat.

Ayrıca alınan numuneler üzerinde rutin laboratuvar deneyleri ile tespit edilen indeks özelliklerine ait ortalama değerler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışma alanı kiline ait zemin parametrelerinin ortalama değerleri

Doğal su muhtevası, %	32
Likit Limit, %	77
Plastik Limit, %	32
Plastisite Indisi, %	46
# 200 Elekten geçen, %	95
<0,002mm, %	58
Kolloid muhtevası(<0,001mm), %	55
Aktivite	0,79
Rötre Limiti, % (Hacimsel)	9,7
Rötre Limiti, % (Lineer)	19
Kuru Birim Hacim Ağırlık, kN/m ³	14



Şekil 2. Tüm kayaç XRD diffraktogramları

5. MİNERAL YAPI-MÜHENDİSLİK DAVRANIŞI İLİŞKİLERİ

Bu sonuçlara göre, birbirinden yeterince uzaklıktan alınmış numunelerin, içerdikleri kil mineralleri açısından birbirine yakın mineral yapıda oldukları, kil olmayan mineraller itibariyle de aynı mineralleri içerdikleri, ancak çokluk sıralaması açısından farklılık gösterdikleri görülmektedir. Her iki numunede de çokluk sıralaması açısından, kil mineralleri hakim minerallerdir. Bu nedenle, çalışma alanının hemen hemen tümünü kaplayan bu kilin mineral yapısının değişkenlik göstermediği düşünülmektedir.

Yukarıdaki sonuçlara göre, smektit ve kloritten oluşmuş karışık tabakalı kil ile kil minerallerinin bünyede en fazla olmaları, zemine kil davranışının yön verici olması sonucunu doğurmaktadır. Bu nedenle, özellikle smektit gurubu kil minerallerinin, hacim değiştirme kapasitelerinin yüksekliği nedeniyle, şişme potansiyeli/şişme basıncı-rötre ve aşırı konsolide olma gibi mühendislik özellikleri önem kazanmaktadır. Yol ve dolgu yapımında yol açtıkları stabilite problemleri, hafif yapılar, yol ve kanal kaplamalarına uyguladıkları şişme basıncı, ayrıca çok düşük geçirgenlik özellikleri nedeniyle baraj gövdelerinde dolgu malzemesi olarak kullanılabilirlikleri ile gündeme gelmektedirler.

Bazalt ortamın; geniş, yaygın ve yüksek kotlarda olmasından dolayı, ortama rüzgar, yağmur, v.s. etkilerle yabancı malzeme taşınması güçleşmektedir. Bu nedenle, bazaltlar üzerinde yer alan koyu kahverengi-kırmızımsı ve/veya kahve renklerindeki bu kilin, oldukça geniş bir alanda benzer özellikler göstereceği tahmin edilmektedir. Bu durumun geniş ölçekli çalışmalarda dikkate alınması çalışmaya kolaylık sağlayacaktır.

Söz konusu kil üzerinde yapılan diğer bir araştırmada, şişme potansiyeli ödometre koşullarında gerçekleştirilen sabit hacimli şişme (CVS) ve serbest şişme (FS) değerleri tespit edilmiş ve üst yapılara “orta derecede” hasar verebileceği belirlenmiş ve buna bağlı olarak yollar, az katlı yapılar, zemin üstü döşemelerinin ve duvarların hasar aldığı tespit edilmiştir (8). Şişme potansiyelinden kaynaklanan bu mühendislik davranışının söz konusu rezidüel kilin içerdiği smektit minerallerine bağlı olarak beklenen bir durum olduğu söylenebilir.

Yine mevcut kilin mineral yapısı yanında kurak iklim koşulları ve hacim değişimi aralığının geniş olmasına bağlı olarak çok sayıda ve farklı genişliklere sahip ve kısmen göz ile de görülebilen fisürlü bir yapı ile karşılaşmaktadır. Fisürlü yapıdaki zemin, geçirgenliğin artmasına, suyun daha geniş bir alanı etkilemesine ve sonuçta aktif bölge derinliğini artırarak şişmenin artmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle söz konusu kilde inşa edilecek yapılarda bu durumun mutlaka dikkate alınması gerekmektedir.

Ayrıca uzun süren kurak iklim koşullarına bağlı olarak zemin profili yüzeyde oldukça katı ve az sıkışabilir ancak derinlik artışına bağlı olarak altta yer alan bazalt kayasında depolanan su ile kapiler yoldan beslenerek su muhtesasının arttığı görülmektedir. Bu nedenle zemine ait dayanım ve sıkışma parametreleri, derinliğin küçük değişimlerine karşı hassas bir şekilde sürekli değişim göstermektedirler. Bu durumun mühendislik çalışmaları sırasında, özellikle taşıma gücü ve oturmalar söz konusu olduğunda dikkate alınması gerekmektedir.

Yine deneysel sonuçlar, bu kilin ikincil olarak kuvars kalsit ve feldspat ihtiva ettiğini göstermektedir. Bunlar, kil olmayan minerallerdir. Ayrıca, zemin profili boyunca gözlemlenen, derinlikle artış gösteren ve kil – kaya kontağı bölgesinde yoğun olarak bulunan kalsiyum karbonat, genellikle topaklar şeklinde veya fisür çatlakları boyunca bulunmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Çalışma alanı, bazaltların üzerini örten kahverengi- kırmızımsı kahve renklerinde, 1m-9m kalınlıklı yüzeysel bir kil tabaka ile örtülüdür. Söz konusu kil, volkanik bir kayaç olan bazalt ve bazaltik tüflerin ana malzemesini teşkil ettiği, ayrışma ve yıpranma süreçlerinin ürünü, yerinde oluşmuş (rezidüel) yüksek plastik karakterlidir. Mevcut kilin, homojenlik, ayrışma derinliği, mineralojik yapı, bazalt kaynaklı mineraller ile ilişkisi ve renk-iklim ilişkileri de, dikkate alındığında, rezidüel olduğu anlaşılmaktadır.

2. Çalışma alanı kili orijin açısından "zonal" olarak değerlendirilmiş ve iklimin belirleyici olduğu zonal zeminlerin içerdiği "büyük zemin grupları" sınıflandırmasında; iklim, renk ve içerik özellikleri açısından "pedakoller" grubuna dahil edilmiştir.

3. Yarı kurak iklim koşullarının etkisi ile genleşme-büzülme mekanizması, bazaltın su emme kapasitesinin yüksekliği nedeniyle ıslanma kuruma mekanizmaları kil oluşumunda etkin olmuşlardır. Bazaltın soğuma evrelerine ait altıgen şekilli soğuma çatlaklarına nüfuz eden su, anılan oluşum mekanizmalarının yanı sıra kimyasal ayrışma süreçleri için uygun bir ortam oluşturmuş ve killeşme buralardan başlayarak yayılmıştır. Altare zonlar olarak anılan bu bölgelere çalışma alanında sıklıkla rastlanmaktadır.

4. Çalışma alanı; gerek volkanik kayaç ve tüflerinin ana malzemesini oluşturması açısından, gerekse buharlaşmanın yağış düzeyini geçmesi ile yağış düzeni açısından ve de iklimin yarı kurak olması ile iklim özelliği açısından smektitlerin oluşması için uygun ortam koşullarına sahiptir. Nitekim, söz konusu alandan alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen X-Ray Difraksiyon analizleri; numunelerin tümünde, hakim mineral yapının smektit + klorit ten oluşmuş karışık tabakalı kil olduğunu, ikincil olarak da kuvars, kalsit ve feldspat minerallerini içerdiğini göstermektedir.

5. Smektitler: hakim mineral yapı olmaları, zemine bu mineralin etkin kıldığı kil davranışının yön verici olması sonucunu doğurmaktadır. Smektit gurubu kil minerallerinin, hacim değiştirme kapasitelerinin yüksekliği nedeniyle, şişme potansiyeli/şişme basıncı-rötre ve aşırı konsolide olma gibi mühendislik özellikleri önem kazanmaktadır. Bu nedenle söz konusu kilin, yol ve dolgu yapımında stabilite problemleri, hafif yapılar, yol ve kanal kaplamalarına uyguladıkları şişme basıncı nedeniyle yapısal hasarlara neden olabileceği beklenmelidir. Ayrıca çok düşük geçirgenlik özellikleri nedeniyle baraj gövdelerinde dolgu malzemesi olarak kullanımı da söz konusudur.

6. Şişme potansiyeline sahip mineral yapı ve rötre kapasitesi ile, süreli kurak iklim koşulları etkisiyle çok sayıda ve farklı genişliklere sahip ve kısmen göz ile de görülebilen fisürlü bir yapı oluşmuştur. Fisürler, geçirgenliğin artmasına, suyun daha geniş ve derin bir alanı etkilemesine ve sonuçta şişmenin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle mühendislik uygulamalarında fisürlü yapı dikkate alınarak, yapı civarında kaplanmış yüzeylerin oluşturulması, drenaj sistemleri v.b. önlemler düşünülmelidir.

7. KAYNAKLAR

1. Mitchell, J.K., "Fundamental of Soil Behavior", 2. Ed. Wiley, Newyork, 1976.
2. Furtun, U., "An Investigation on Ankara Soils with Regard to Swelling", M.Sc. Thesis, M.E.T.U., Ankara, 1989.

3. Şimşek,R., Nazik,M., "Yukarı Dicle Havzası Hidrojeolojik Etüd Raporu", DSI, Jeoteknik Hizmetler Müdürlüğü, Ankara, 1979.
4. Erguvanlı,K., "Mühendislik Jeolojisi", İTÜ, No:1227, İstanbul, 1982.
5. Coduto,P.D., "Foundation Design Principles and Practices", Prentice Hall, New Jersey, 1994.
6. Ercan,T., Şaraoğlu F., Turhan N., Matsuda,J.I. Fujitani,T., Notsu,K., Bağrsakçı,S., Aktimur,S., Can,B., Emre,Ö., Akçay,A.E., Manav,E., Gürler.H., "Karacadağ Volkanitlerinin Jeolojisi ve Petrolojisi", Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, Vol.6, 118-133, 1991.
7. Önalp,A., "Zeminler ve Mekaniği", Sakarya Üniversitesi Yay. No:27. İstanbul, 1997.
8. Taşkiran,T., "Diyarbakır İli, Kayapınar-Yeniköy-Bağcılar Yöresi Kilinin Şişme Potansiyelinin İrdelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, Gazi Ün., Ankara, 2000.

**1998 AFET YÖNETMELİĞİNE GÖRE YAPI DÜZENSİZLİKLERİ
VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİNİN MİMARİ AÇIDAN İNCELENMESİ**

Senem (BOZKURT) AKTÜRK ve S. Seren (AKAVCI) GÜVEN
Ç.Ü., Mimarlık Bölümü, Adana/ Türkiye

ÖZET : *Bu çalışmada 1998 yılında yayınlanan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte bahsedilen düzensizlik tipleri, düzensiz yapılarda deprem nedeni ile oluşan hasarlar ve bu hasarların oluşmasına engel olabilecek mimari çözüm önerileri incelenmiştir. Çalışmada, mimari açıdan depreme dayanıklı yapı tasarımında dikkat edilmesi gerekli temel ilkeler üzerinde ve 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik kurallarına uymanın gerekliliği önemi üzerinde durulmuştur.*

**IRREGULARITIES OF STRUCTURES ACCORDING TO THE NEW
TURKISH EARTHQUAKE CODE 1998 AND INVESTIGATIONS OF
ARCHITECTURAL SOLUTIONS**

ABSTRACT : *In this study, the types of irregularities which are mentioned in the New Turkish Earthquake Code 1998, damages in irregular structures caused by earthquake and architectural solutions which can prevent this types of damages are studied. The basic architectural principles in earthquake resistant design of structures are examined and necessity and importance to conform to the New Turkish Earthquake Code 1998 is emphasized.*

1. GİRİŞ

Ülkemizin coğrafi konumu nedeniyle dünyanın önemli deprem kuşaklarından birisi üzerinde olması ve nüfusumuzun %95' inin deprem riski yüksek bölgelerde bulunması, ülkemiz açısından depremle yaşamayı öğrenmenin ne kadar gerekli olduğunun bir göstergesidir. Özellikle son yıllarda yaşanan Erzincan (1992), Dinar (1994), Gölcük (1999) ve Düzce (1999) depremlerinde binalardaki ağır hasarlar sonucu verilen kayıplar, halen depreme karşı yeterince önlem alamamış olduğumuzun acı örnekleridir.

Yaşadığımız dünyanın bir gerçeği olan depremin, açık alanda bulunan bir insana zararı yok denecek kadar az iken, bir yapı içerisinde bulunan insan için etkisi öldürücü olabilmektedir. Bu durum 'Deprem değil bina öldürür!' sözünün doğruluğunu ortaya koymaktadır. Oysa mimarlığın temel kuralı, kullanışlı ve estetik yapılar yanında sağlam yapılar tasarlamayı da gerektirir. Eğer deprem dalgalarından etkilenen yapı yeterli dayanıma sahip olacak şekilde tasarlanmış ve inşa edilmişse şiddetli bir depremde bile insanlarda can kaybına neden olmayacakken, kötü tasarım, eksik yada yanlış malzeme ile tasarlanmış bir yapı, hafif şiddette depremde bile öldürücü olabilecektir.

Meydana gelen depremlerde oluşan hasarların başlıca nedenleri; zemin niteliği, binanın plandaki ve düşeydeki mimari özellikleri, taşıyıcı sistemin tasarımı, taşıyıcı elemanlarda kullanılan malzemenin boyut ve kalitesi, işçilik ve denetim yetersizliği şeklinde özetlenebilir.

Genellikle depreme dayanıklı yapı tasarımı denince akla yapının strüktürel tasarımı gelmesi ve binada asıl hasara neden olan binanın taşıyıcı sistemindeki kusurlar gibi görünmesine rağmen binanın mimari özelliklerinin deprem dayanımındaki önemi gözardı edilemeyecek bir gerçektir. Henüz mimari tasarım aşamasında dikkat edilecek birkaç temel özellik yapının deprem dayanımını artırmada önemli derecede etkili olacaktır. Oysa deprem dayanımı bakımından kötü bir mimari tasarıma sahip yapının sadece taşıyıcı sistem özellikleri güçlendirilerek depreme dayanıklı hale getirilmeye çalışılması yapının deprem dayanımındaki davranışında şüpheye yolaçacağı gibi yapı üretimine dolayısıyla ülke ekonomisine ek bir maliyet getirecektir.

Ülkemiz 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğin binaların deprem dayanımını artırmada önemi bilinmektedir. Bu çalışmada yönetmelik kapsamında getirilen kısıtlamalara mimari açıdan yaklaşarak, yapılacak birtakım mimari düzenlemelerle, binaların deprem dayanımını artırmada etkili olabilecek temel özelliklerin neler olabileceği konusunda incelemeler yapılmıştır.

2. 1998 AFET BÖLGELERİNDE YAPILACAK YAPILAR HAKKINDA YÖNETMELİKTE ADI GEÇEN DÜZENSİZLİKLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Bu çalışmanın konusunu oluşturan planda ve düşey doğrultudaki düzensiz binaların tanımlanması ve düzensizlik durumlarına ait genel ilke ve kurallar 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te Kısım III 6. Bölümde yer almaktadır. Yönetmelikte belirtilen bina tasarlarken dikkat edilmesi gerekli, planda düzensizlik durumlarına ait dört ayrı düzensizlik tipi Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 2'de ise düşey doğrultudaki düzensizlik durumuna ait 3 ayrı düzensizlik tipi belirtilmiştir.

Çizelge 1. Planda Düzensizlik Durumları (1)

A - PLANDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI
A1 - Burulma Düzensizliği :Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısının 1.2'den büyük olması durumu.
A2 - Döşeme Süreksizlikleri :Herhangi bir kattaki döşemede I - Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu, II - Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,III - Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu
A3 - Planda Çıkıntılar Bulunması :Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu
A4-Taşıyıcı Eleman Eksenlerinin Paralel Olmaması:Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının plandaki asal eksenlerinin, gözönüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularına paralel olmaması durumu

Çizelge 2. Düşeyde Düzensizlik Durumları (1)

B - DÜŞEY DOĞRULTUDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI
B1 - Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) :Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanı'nın, bir üst kattaki etkili kesme alanı'na oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısının 0.80'den küçük olması durumu
B2 - Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) :Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i' inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin bir üst kattaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısının 1.5'ten fazla olması durumu.
B3 - Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği :Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak girişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, yada üst kattaki perdelerin altta kolonlara veya girişlere oturtulması durumu

Planda ve düşeyde düzensizlik durumları dışında yer alan kısa kolon düzensizliği ise planlamanın bir sonucu olarak taşıyıcı sistemdeki nedeni ile veya dolgu duvarlar nedeni ile oluşabilirler. Kısa kolon düzensizliği ve çözüm önerileri, planda ve düşeydeki düzensizlik durumları dışında ayrı bir başlık altında ele alınmıştır.

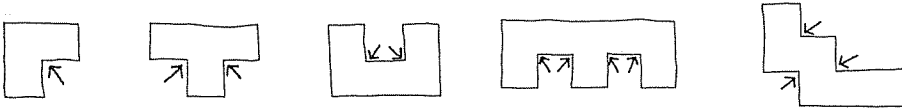
2.1. Yatay Doğrultuda Düzensizlik Durumları

(A1) Burulma Düzensizliği ve Çözüm Önerileri

Deprem esnasında döşeme üzerindeki yatay deprem enerjisinin büyük bölümü perdelerle, küçük bir bölümü kolonlarca taşınacaktır ve yapı ağırlık merkezinde oluşan deprem yükü, yapıyı merkezi etrafında döndürerek bir burulma momenti yaratacaktır. Kolonlar rijitlik merkezinden uzaklaştıkça yatay yer değiştirme artacak ve en uçtaki kolondan itibaren göçmeler meydana gelecektir. Bu nedenle bu tür düzensizliğe neden olacak düzenlemelerden kesinlikle kaçınılmalıdır.

Deprem açısından en uygun yapı dış plan biçimi, simetrik ve her yönde aynı ölçüde taşıma güçleri olduğundan karedir. Bir kenarı diğerine göre çok uzun olmama şartı ile dikdörtgen yapı planı da basitlik ve simetri bakımından uygun bir çözümdür.

Farklı doğrultularda kütlelerin bir araya gelmesi ile oluşan tek bir yapı çözümlenmelerinde kütlelerin bir araya geldiği noktalarda özellikle köşe birleşimlerinde, Şekil 1'de olduğu gibi, yapı depreme karşı dayanıksız hale getirilmiş olur.



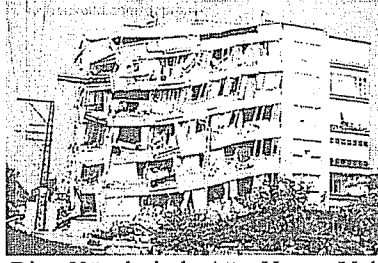
Şekil 1. Düzensiz Kat Plan Tipleri ve Kat Planı Diyagramları (2)

Resim 1'de bu tip plana sahip bir yapıda binanın kollarının kesişim noktasında ortaya çıkmış hasar gözlenmektedir.



Resim 1. Bina Kolları Birleşiminde Hasar, Kobe, 1995.

Katlarda rijitlik merkezinin ağırlık merkezinden uzaklaşması yüzünden düşey bir eksen etrafında meydana gelen burulma, Resim 2'de olduğu gibi kenar/köşe kolonlarda göçmeye neden olabilmektedir (3).



Resim 2. Bina Köşelerinde Ağır Hasar, Yalova, 1999

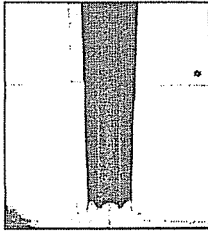
A1 türü düzensizliğin olumsuz etkisini azaltabilecek çözüm önerileri aşağıda kısa başlıklar halinde belirtilmiştir.

- Karmaşık Geometrilerin Deprem Derzleri ile Basit Kütlelere Ayrılması

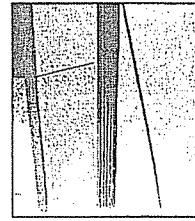
Basit ve sade geometrili plana sahip yapıların deprem anında karmaşık geometrili olan yapılara göre daha iyi davranış gösterdiği belirtilmiştir. Birtakım mimari neden ve zorunluluklardan dolayı bu tür bir planlamanın gerekli olduğu durumlarda yapılar deprem derzleri ile basit ve kompakt parçalara bölünmelidir.

İşlevle de örtüşen her bir yapı parçasının rijitlik merkezi ile ağırlık merkezi olabildiğince çakışmalı, taşıyıcı sistemde eksantrik moment oluşturmayacak biçimde kurgulanmalıdır. Yapılar arasında her 3 m yapı yüksekliği için 1 cm olacak biçimde dilatasyon derzi oluşturulmalıdır (4).

Derzler yabancı cisimler tarafından dolma tehlikesine karşın tercihen esnek bini (bükülmüş saç, körük v.s.) ile korunmalıdır (Resim 3). Sert biniler (derz boşluğu örtüleri), derzin bir ucundan bağlanırsa kullanılabilirler, yoksa hasara neden olurlar (5).



a) Kauçuk körüklü derz binisi

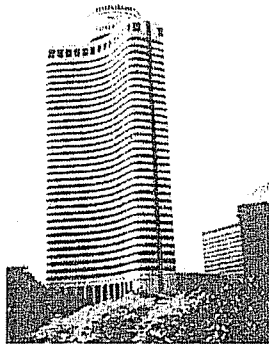


b) Bükülmüş saçtan derz binisi

Resim 3. Farklı İki Derz Binisi Çözüm önerisi

- Dar Açılı Köşelerin Biçim Değişikliği İle Yumuşatılması

L, T gibi geometriye sahip yapılarda kolların 90° ile birleşmesi yerine, dairesel bir yayla birleştirilmesi şeklinde mimari bir çözümlenmeyi kapsar (Resim 4). Böylece kolların deprem hareketi sırasında bir bütün gibi hareket etmesi sağlanır.



Resim 4. Dar Açılı Köşesi Yumuşatılmış Tokyo'da Bir Bina (6).

- Dar Açılı Köşelerin Güçlendirilmesi

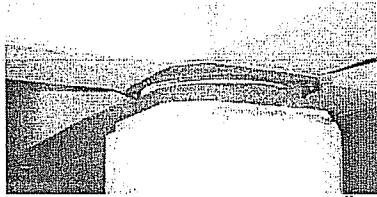
L, T gibi dar açılı köşelere sahip planlarda, zayıf noktalar olarak bilinen köşelere yerleştirilen düşey taşıyıcı elemanların, olması gerekenden daha fazla boyutlandırılması prensibine dayanır.

- Yapıdaki Esnek Bölgelerin Güçlendirilmesi

Geometrisi nedeniyle yapının rijitlik merkezi ile ağırlık merkezinin farklı olduğu durumlarda bu iki merkezi birbirine yaklaştırmak yada yapı için çok uygun olmayan zemin koşullarında yapı kolları arasındaki deformasyonları önlemek ve rijitliği sağlamak amacıyla kapalı çekirdekler, stabilite duvarları eklenebilir.

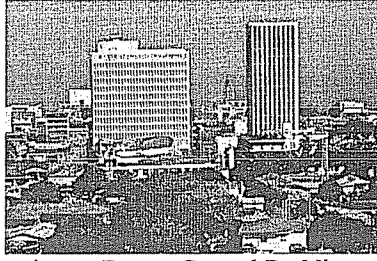
- Sismik Hareketten İzolasyon

Deprem tarafından yapıya iletilen yer değiştirme kuvvetinin, temas halindeki iki yüzeyin (temeller yada bodrum ile üst yapı gibi) arasına yerleştirilen yalıtım elemanları tarafından yalıtılarak ve üst yapıya azaltılarak iletilmesi prensibine dayanır. Genellikle bu yöntemle deprem yükleri beş veya daha fazla oranda azaltılmaktadır. Resim 5'de kolon üzerine yerleştirilmiş bir yalıtım elemanı görülmektedir.



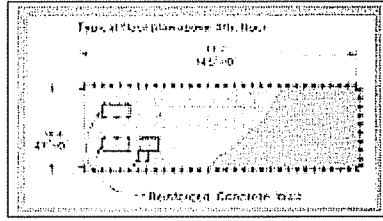
Resim 5. Kolon Başı Sismik Yalıtım Örneği (6).

Yapıdaki taşıyıcı sistem seçiminin ve yerleşiminin ne kadar önemli olduğunun en güzel örneği 1972 yılında yaşanan Managua, Nicaragua depreminde Banco De America ve Banco Central De Nicaragua binalarının (Resim 6) depremden etkileniş biçimleridir.



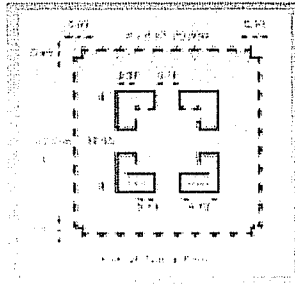
Resim 6. Banco De America ve Banco Central De Nicaragua Binaları, (Managua, Nicaragua).

Banco Central De Nicaragua Binası, dört kat üzerinde tipik kat planı Şekil 2’de görüldüğü gibi, esas taşıyıcı sistem 14.4 m açıklığında kirişleri taşıyan takviyeli beton çerçevelerden ibarettir. Kat planında rijitlikler simetrik dağıtılmamış, asansör ve merdiven kovası etrafındaki perde duvarlar eksantrisine yaratmıştır. Büyük açıklıklı kirişlerin en kesiti 70cm X 80cm olmasına rağmen, çerçevelerin esnekliği nedeni ile binada önemli yatay deplasmanlar ve dolayısı ile önemli hasarlar meydana gelmiştir (7).



Şekil 2. Banco Central De Nicaragua Kat Planı.

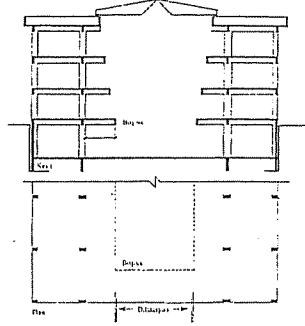
Banco de America Binası ise, planı Şekil 3’te görüldüğü üzere, dıştan betonarme kolonlarla çevrili, içte asansör ve merdiven kovasının etrafına yerleştirilmiş dört adet L şeklindeki betonarme kutu perde sisteme sahip olan, iki katlı bodrum olmak üzere toplam 17 katlı binadır. Aynı depremi Banco Central De Nicaragua Binasına göre genel olarak daha iyi atlatmıştır.



Şekil 3. Banco de America Binası Kat Planı.

(A2) Döşeme Süreksizlikleri ve Çözüm Önerileri

Döşeme boşluğu oranının kat brüt alanının 1/3' ünden fazla olduğu ve Şekil 4'te olduğu gibi ortasında atrium veya galeri boşluğu olacak şekilde tasarlanmış yapılarda (çarşı, ticaret merkezleri vb.) depreme karşı düzenli davranabilmeleri için bloklar dilatasyonlarla basit formlara bölünerek ortaya çıkan döşeme düzensizliği giderilmelidir. Ayrıca konsollar birbirlerini dengeleyecek biçimde tasarlanmalıdır.



Şekil 4. Atriumlu Bir Yapıda Döşeme Düzensizliğinin Dilatasyonla Çözümü (8).

The Sismic Design Handbook adlı eserde diyaframlar içindeki boşluk tasarımında dikkat edilmesi gerekli noktalar şu şekilde özetlenmiştir (9);

- Boşlukların diyaframın duvar veya çerçeve bağlantılarıyla çakışmamasına dikkat edilmelidir.
- Çok sayıda oluşturulacak olan boşlukların birbirinden yeterince uzağa yerleştirilmesi ve gerekli kapasiteyi sağlaması için güçlendirilmesi gereklidir.
- Ayrıca köşe paydaların boşluklar ile bozulması önlenmelidir.

(A3) Planda Çıkıntılar Bulunması ve Çözüm Önerileri

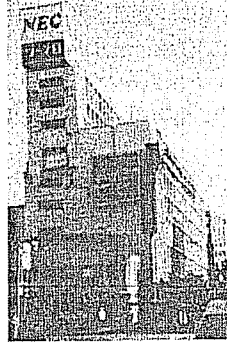
Cepheyi hareketlendirmek amacıyla yapılan girinti ve çıkıntıların deprem sırasında neden olacağı hasarların bir örneği Resim 7'de görülebilmektedir.



Resim 7. Cephede Çıkma Yapan Binada Hasar, Kobe, 1995 (5).

salınmayacağından, değişimin olduğu katta büyük zorlanmalara, yani gerilme yığılmasına yol açan zıt deplasman etkisinde kalırlar.

Bir çok depremde, bu bölümlerde büyük hasarın gözlenmesi nedeniyle bazı kısıtlamalara gidilmiştir. Resim 8'de 1995 Kobe depremindedir bu tür bir hasara uğramış iki yapı görülmektedir.

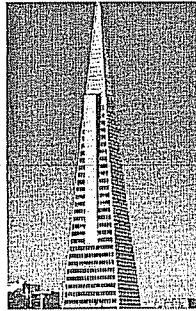


Resim 8. Geri Çekilmeden Kaynaklanan Hasar, Kobe, 1995.

B1 türü düzensizliğin olumsuz etkilerin azaltabilecek çözüm önerilerini dört başlık altında toplanabilir. Bunlar

- Yapıyı Kademeler Halinde Geri Çekmek (Resim 9)
- Dilatasyon Derzleri Oluşturmak
- Dar Açılı Köşeleri Güçlendirmek
- Yapıyı Depreme Karşı İzole Etmek

şeklinde sıralanabilir.



Resim 9. Kademeler Halinde Geri Çekilerek Oluşturulmuş Transamerica Binası (San Francisco, ABD)

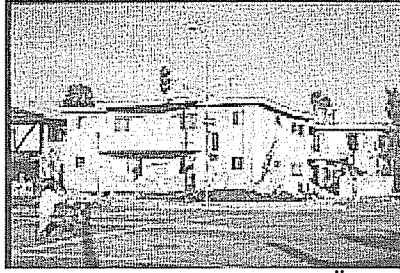
(B2) Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği ve Çözüm Önerileri

Yumuşak katlı bina; açık ve esnek birinci kat üzerine göreceli olarak geniş açıklıklar arasındaki desteksiz dikey dayanaklar üzerine yerleştirilmiş sert ve sağlam yapılar olarak algılanır. Strüktürel süreksizlik, açık zemin kat ile daha rijit üst katlar arasında yükün, süper strüktür tarafından stres dağılımı geçiş noktalarında, aşağı katlara taşınması esnasında oluşur. Geçiş noktaları bu stres dağılımını eşit olarak absorbe

edecek ve kuvvetlerin dikey desteklere geçişini sağlayacak şekilde dizayn edilmezse Resim 10 ve Resim 11'deki gibi yıkılmalar oluşur (2).



Resim 10. Yumuşak Zemin Kat Kolonlarında Zorlanmalar, San Fernando Depremi, California, 1971



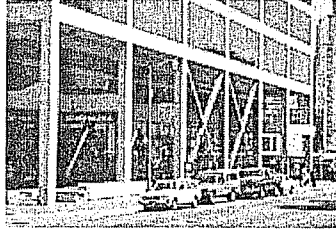
Resim 11. 3 Katlı Apartmanın Yumuşak Zemin Kat Üzerine Çökerek 2 Katlı Hale Dönüşmesi, Northridge, 1994

Yumuşak kat hasarı olarak bilinen hasarlara neden olan B2 türü düzensizliğin olumsuz etkilerini azaltmak yada ortadan kaldırmak için bir çok yöntem bulunmaktadır.

- Açıklıkların Güçlendirilmesi

Yumuşak kat etkileri, yumuşak katın daha az rijit olduğu sert çerçevelerde ortaya çıkar. Bu nedenle binanın ağır hasar görmemesi için bu çerçeveler arasında çeşitli güçlendirme metodları uygulanabilir.

En ekonomik uygulama metodları arasında, bazı bölmelere ankraj blonları ile, betonarme perde duvarı entegre edilmesi veya çelik profillerden çapraz diyagonaller yerleştirilmesi (Resim 12) verilebilir (7).



Resim 12. Yumuşak Katlı Bir Yapının Çaprazlarla Güçlendirilmesi (San Francisco, ABD)

- Tüm Rijit Çerçeve Yapılar İçin Zemin Kat Kolonlarının Sayısının veya Rijitliğinin Artırılması
- Zemin Kat Kolonlarının Rijitliğini artırmak İçin Konik Yada Kemerli Kolonların Kullanılması
- Ağır Bir Yapı Temelinin Yukarı Doğru Uzantılarla Rijit Zemin Kat Olarak Geliştirilmesi (Resim 13)



Resim 13. CN Park Place Office Building, Los Angeles (10)

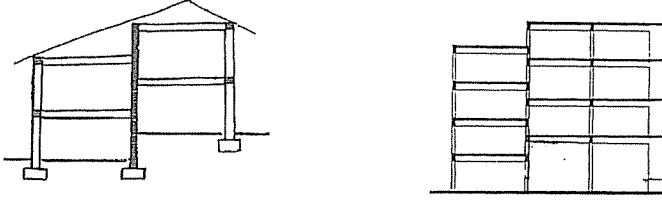
- Bina Planında Bina İçinin Rijit Olarak Güçlendirilmesi Yapılırken Kenarları Açık Olarak Düzenlenmesi
- Esnekliğin Yaygınlaştırılması

(B3) Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanlarının Süreksizliği ve Çözüm Önerileri

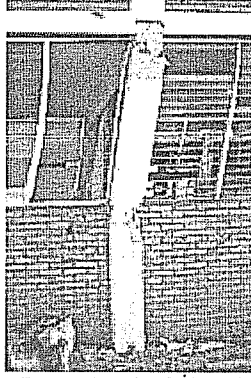
1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te düşey taşıyıcı elemanlar ile ilgili düzensizlik durumlarının bahsedildiği, B3 türü düzensizliğin bulunduğu binalara ilişkin koşullar ile birlikte çözüm önerileri de belirtilmiştir. Örneğin kolonların alttaki konsol ve kirişlerin yada alttaki kolon guselerine oturtulması ve perdelerin kirişlerin açıklık ortasından kirişlerin üzerine oturtulması yasaklanmışken, kolonun iki ucundan mesnetli kirişe oturması veya üst kattaki perdenin her iki ucundan alttaki kolonlara oturtulması durumunda düşey yükler ve depremin etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri % 50 oranında artırılması şartı getirilmiştir.

2.3. Kısa Kolon Düzensizliği ve Çözüm Önerileri

Kısa kolon, bir takım mimari nedenlerden dolayı bir katın diğer katlardan farklı yükseklikte tasarlanması Şekil 6 yada Resim 14'de olduğu gibi herhangi bir katın kolonları arasında dolgu duvarları kat yüksekliği boyunca örülmeyip ışıklık yada benzeri nedenlerle belli yüksekliğe kadar örüldüğü durumlarda oluşur.

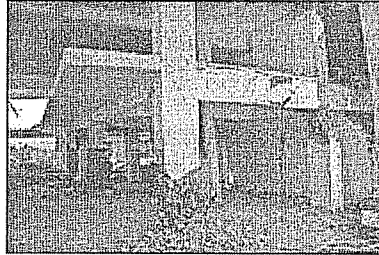


Şekil 6. Farklı Seviyede Temel ve Farklı Seviyede Döşeme Nedeni İle Oluşan Kısa Kolon Tipleri



Resim 14. Pencere Altı Duvar Nedeni İle Oluşan Kısa Kolon Hasarı

Kısa kolonlar hangi nedenlerle inşa edilmiş olurlarsa olsunlar, sonuç olarak deprem sırasında kendilerine gelen bu ani yüklenmeden dolayı Resim 15’de olduğu gibi ağır hasar görürler.



Resim 15. Kısa Kolon Hasarı, San Fernando Depremi, California, 1971

Kısa kolon hasarına engel olmak için uygulanabilecek yöntemler aşağıda başlıklar halinde verilmiştir. Bu yöntemlerden biri genellikle birkaçı aynı anda kullanmak, oluşabilecek önemli bir hasara engel olacaktır.

- Kolon İle Duvar Arasında Derzler Oluşturmak
- Hafif Cephe Sistemleri Kullanmak
- Perde Duvarlar Oluşturmak

- Enine Donatıyı Sıklaştırmak
- Kolon Enkesit Boyutunu Artırmak

3. SONUÇ

Bu çalışmada betonarme binaların depremlerde başlıca hasar görme nedenleri ve 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik kapsamında bu hasarların oluşmasına engel olabilecek temel prensiplerin neler olduğu konusunda incelemeler yapılmıştır.

Yaşanan depremler sonrası betonarme binalarda meydana gelen hasarların incelenmesi ve yapılan araştırmalar sonucunda, en şiddetli depremde bile yapının mümkün olduğunca az hasar görmesi için dikkat edilmesi gerekli temel noktalar aşağıda belirtilmiştir.

- Plan geometrisi karmaşık yapıların, basit geometrideki yapılara göre ve taşıyıcı sistemi simetrik olmayan yapıların simetrik olan yapılara göre depremde daha fazla zarar gördüğü gözlemlenmiştir. Bu nedenle mimari tasarımda plan geometrisi mümkün olduğunca basit düzenlenmeli, taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlar planda her iki eksen boyunca simetrik yerleştirilmelidir.
- H, L, T, Y gibi geometrilere sahip yapılarda yapıların birleşim noktalarında gerilme yığılması meydana geldiğinden bu noktalarda hasar fazla olmaktadır. Bu nedenle bu tip geometriye sahip yapılarda, dilatasyonlarla yapılar farklı ve basit kütlelere ayrılmalıdır.
- Döşeme süreksizliğinden mümkün olduğunca kaçınılmalı, uygulamanın zorunlu olduğu durumlarda boşluklar döşemenin duvar ve çerçeve bağlantıları ile çakışmamasına dikkat edilmelidir ve bloklar dilatasyonlarla basit formlara bölünmelidir.
- Plan geometrisi nedeni ile çıkıntılar bulunması durumunda konsol çevreleri strüktürel elemanlarla güçlendirilmeli ve konsol boyu 1.5m ile sınırlandırılmalıdır.
- Taşıyıcı elemanların plandaki eksenlerinin depremin etkidiğinin kabul edildiği asal eksenlere paralel olmaması durumunda yapı dilatasyonlara bölünmeli ve iç kuvvet değerleri her iki yönden etkimesi haline karşılık gelecek şekilde artırılmalıdır.
- Bina düşey geometrisinde ani geri çekilmelerden mümkün olduğunca kaçınılmalı geri çekilmeler kademeler halinde yapmalı, geri çekilmenin ani olduğu durumlarda bu noktalar güçlendirilmeli ve yapı yalıtım araçları ile depreme karşı izole edilmelidir.
- Kat yüksekliğinin birtakım mimari nedenlerle farklı olması durumunda oluşan yumuşak kat etkisini ortadan kaldırmak için yumuşak katlar çelik çaprazlarla güçlendirilmek, kolon sayısı artırılmak yada yapı temeli zemin kat olarak geliştirmek gibi ek güçlendirme yöntemlerine başvurulmalıdır. Bir kattaki dolgu duvarı alanının diğer katlara göre az olması durumunda oluşan yumuşak kat etkisini ortadan kaldırmak için ise hafif cephe elemanları ve rijit olmayan bölme duvarları kullanarak yada döşemelerin bağlantısı kesilerek farklı katların rijitliği benzerleştirilmelidir.

- Afet yönetmeliğinin de yasaklamış olduğu üzere kolonların herhangi bir katta konsol kirişlere veya alttaki kolonların guseleri üzerine veya ucuna oturtulmasından kesinlikle kaçınılmalıdır.
- Kolonların iki ucundan mesnetli kirişe oturması durumunda 1998 Afet Yönetmeliğinin de belirttiği üzere kirişin bütün kesitlerinde göze alınan deprem doğrultusunda, bu kirişin bağlandığı diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri % 50 oranında artırılmalıdır.
- Perdelerin iki ucundan kolonlara oturmasının mimari bir zorunluluk olduğu durumda ise 1998 Afet Yönetmeliğinin belirttiği gibi düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm kesit etkileri % 50 oranında artırılmalıdır.
- Taşıyıcı eleman nedeni ile oluşan kısa kolon düzensizliğinde farklı döşeme yükseklikleri arasında oluşan kısa kolonlar perde duvar olarak düzenlenmeli, kolon en kesit boyutu normal kolon boyutunun iki yada üç katına çıkartılmalı, kolon sarılma bölgeleri için minimum enine donatı koşulları tüm kat yüksekliğince uygulanmalıdır.
- Dolgu duvar nedeni ile oluşan kısa kolon düzensizliğinde ise kolon ve duvar arasında derzler oluşturulmalı, bölücü eleman olarak ağır elemanlar yerine hafif cephe elemanları kullanılmalıdır.

4. KAYNAKLAR

1. "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998". İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Eğitim Merkezi, Yayın No:25.
2. Lagorio, H.J., "Earthquakes: An Architect's Guide to Nonstructural Seismic Hazards", Wiley-Interscience Publication, 312 s, New York; Chich, 1990.
3. Aka, İ., Çılı, F. ve Çelik, C.O., "Yapı Malzemesi ve Deprem Semineri Bildiriler", İstanbul Mimarlar Odası Büyükşehir Şubesi Yapı Malzemesi Komitesi, İTÜ, 9-21, 2001.
4. Önel, H., Akbulut, T., "Deprem Bölgelerinde Güvenli Yapı Tasarımına İlişkin Temel Yaklaşımlar", Deprem Bölgelerinde Yapı Üretimi Sempozyumu, 78-91, TMMOB İstanbul Büyükşehir Şubesi, İstanbul, 2002.
5. Zacek, M., "Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Ön Proje Aşaması", YTÜ Uluslararası Kentsel Çalışmalar Araştırma Merkezi, 113s, İstanbul, 2002a.
6. Zacek, M., "Depreme Dayanıklı Bina Tasarımı Form ve Strüktür", YTÜ Uluslararası Kentsel Çalışmalar Araştırma Merkezi, 68s, İstanbul, 2002b.
7. Tezcan, S., "Depreme Dayanıklı Tasarım İçin Bir Mimarın Seyir Defteri", Türkiye Deprem Vakfı, İTÜ, 121s, İstanbul, 1998.
8. Erman, E., "Deprem Bilgisi ve Deprem Güvenli Mimari Tasarım", ODTÜ Mimarlık Fakültesi Ara Yayın Serisi, 121s, Ankara, 2002.
9. Öztürk, Ş., "Depreme Dayanıklı Bina Tasarım Sorunlarının Tanıtılması", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 171s, İstanbul, 2000.
10. Ambrosse, J., Vergun, D., "Seismic Design of Buildings", Kriger Publishing Company, 289 s, Malabar Florida, 1993.

KAĞIT ENDÜSTRİSİNDEN KAYNAKLANAN GERÇEK ATIKSULARIN MEZOFİLİK ANAEROBİK ARITIMI

Emine Özge PİRGÜN ve Mesut BAŞIBÜYÜK
Ç.Ü., Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : *Bu çalışmada atık kağıttan kağıt üretimi yapan bir fabrikanın atıksularının anaerobik yukarı akışlı filtrede mezofilik (35 °C) sıcak modunda arıtımı çalışılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlara, organik yükleme hızını temel parametre olarak kabul eden modifiye edilmiş Stover-Kincannon Kinetik Modeli uygulanarak U_{max} ve K_B gibi kinetik sabitler elde edilmiştir. Yapılan çalışmada U_{max} ve K_B , sırasıyla 50.25 g/L.gün ve 60.1 g/L.gün bulunmuştur. Reaktörün KOİ giderme verimi %70-85 arasında değişmiş ve artan organik yükle azalmıştır. Ayrıca reaktör performansını izlemek için AKM, NH_4^+ , Alkalinite, pH gibi parametreler günlük olarak takip edilmiştir.*
Anahtar Kelimeler: *Anaerobik Arıtma, Kağıt Endüstrisi, Kinetik Model, Mezofilik, Stover-Kincannon Modeli*

ANAEROBIC MESOPHILIC TREATMENT OF REAL WASTEWATER GENERATED FROM PAPER MILL INDUSTRY

ABSTRACT : *In this study, treatment of real papermill wastewater has been investigated using an upflow anaerobic filter operated at mesophilic (35 °C) temperature mode. Various organic loads applied to the reactor. Data obtained from experimental work has been applied to modified Stover-Kincannon kinetic model in order to obtain U_{Max} and K_B constants. It was found that U_{Max} 50.25g/L.day and K_B 60.1g/day. In addition to there various parameters like TSS, NH_4-N , alkalinity and pH have also been checked on a regular basis. It was also found that COD removal efficiency varied between 70% and 85% and decreasing with an increasing organic loading rate.*

Keywords: *Anaerobic treatment, paper industry, kinetic model, mesophilic, Stover-Kincannon Model*

1. GİRİŞ

Endüstriyel atıksuların arıtımı genel olarak zor olup, çoğu zaman özel arıtma yaklaşımları gerektirmektedir. Kağıt hamuru, ve kağıt endüstrisi bu tip endüstrilerden biri olup en fazla su kullanan ve dolayısıyla oldukça yüksek miktarda atıksu üreten sektörlerin başında gelmektedir. Bu sektör ayrıca ürettiği atıksuların içindeki bazı organik maddelerin zor parçalanmasından dolayı ayrıca son yıllarda pek çok araştırmaya da konu olmuştur. Bu özelliğinden dolayı atıksu arıtımında özel yaklaşımlar gerektirmektedir. Çok iyi bilindiği gibi kağıdın ana hammaddesi selüloz olup odundan elde edilmekle birlikte son yıllarda geri dönüşüm yoluyla kazanılmış hurda kağıttan kağıt üretimi de çok önem kazanmaya başlamıştır. Örneğin Amerika Birleşik Devletlerinde kağıt fabrikalarının yaklaşık yarısı bu tür geri dönüşümle kazanılmış hurda kağıt kullanmaktadır (1). Kağıt üretiminde bu tür geri dönüşümle kazanılmış hurda kağıt kullanıldığında ortaya çıkan atıksuyun özelliği de farklı olmaktadır. Üretim sırasında hurda kağıt temizlenmekte, elyafla kirlilik birbirinden ayrılmaktadır. Bu aşamada hurda kağıtta bulunan nişasta ve diğer çözünen maddeler suyla uzaklaştırılır (2).

Bu sektörün atıksuları yüksek miktarda askıda katı madde (AKM) ve yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) içerebilmektedir. Bu nedenle yeterli bir arıtma için uygun metotların uygulanması gerekmektedir. Kimyasal ve fizikokimyasal yöntemler bunlardan bazılarıdır. Bu sektörden kaynaklanan atıksuların arıtılmasında kullanılan temel yöntem ise birincil arıtmadan sonra gerekiyorsa biyolojik arıtmanın uygulanmasıdır. (2). Birincil arıtmada genel olarak koagülasyonla çöktürme kullanılmakta olup son derece etkili bir arıtma sağlanabilmektedir. Ancak koagülasyon için kullanılan kimyasal maddeler ve ortaya çıkan kimyasal çamur arıtma maliyetini ciddi oranda artırmaktadır (2).

Öte yandan anaerobik arıtma endüstriyel atıksuların arıtımında yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Örneğin süt ve süt ürünleri endüstrisi (3), mezbaha atıksuları (4), boyahane atıksuları (5), şeker üretimi atıksuları (6) ve yün yıkama (7) bunlardan sadece bazılarıdır.

Kağıt endüstrisinden kaynaklanan atıksuların arıtımında anaerobik biyoteknolojinin kullanılması üzerine yapılan bazı çalışmalarda mezofilik (35 °C) ve termofilik (55 °C) anaerobik filtreler kullanılarak yüksek organik yükleme oranlarında oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir (8-10). Ancak bu çalışmalarda sentetik atıksular kullanılmıştır. Gerçek atıksular ise içerdiği pek çok kimyasal maddelerden dolayı daha karmaşık bir özelliğe sahiptir. Bu nedenle gerçek atıksular la yapılan çalışmalar daha zor olmakla birlikte sonuçları uygulamaya daha fazla dönüktür.

Bu çalışmada, hurda kağıttan kağıt üreten bir kağıt fabrikasından alınmış gerçek atıksuların mezofilik anaerobik filtre kullanılarak arıtılabilirliği incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Atıksu Özellikleri

Çalışmada kullanılan atıksu Adana Organize Sanayi Bölgesinde atık kağıttan kağıt üretimi yapan bir fabrikanın atıksuyu kullanılmıştır. Atıksu fabrikadan düzenli olarak alınmış ve her seferinde karakterizasyon çalışması yapılmıştır. Çizelge 1 tipik atıksu değerlerini göstermektedir.

Çalışma süresince periyodik olarak fabrikadan alınan atıksuda her seferinde KOİ, TKN, Alkalinite değerleri ölçülmüş ve buna göre nütrient ve alkalinite beslenmiştir. Bunların dışında atıksuya, K_2HPO_4 , $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, $NiSO_4 \cdot 6H_2O$, $MnCl_2 \cdot 4H_2O$, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, H_3BO_3 , $CoCl_2 \cdot 6H_2O$, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, $H_3PO_4 \cdot 12MoO_3 \cdot 24H_2O$ eklemeleri yapılmıştır. Ayrıca KOİ konsantrasyonuna göre organik yüklemeler debi değiştirilerek ayarlanmıştır. Bu süre içerisinde atıksuyun KOİ konsantrasyonları 1000-3000 mg/L, alkalinite 350-500 arasında değişmiştir.

Çizelge 1. Atıksu Karakterizasyonu

Parametre	Konsantrasyon
pH	7
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	23
Toplam KOİ (mg/L)	1972
Çözünmüş KOİ (mg/L)	1824
AKM (mg/L)	3100
Çökelme Sonrası AKM (mg/L)	205
Alkalinite (mg/L $CaCO_3$)	350
Toplam Sertlik (mg/L $CaCO_3$)	500
Ca^{+2} (mg/L)	150
Mg^{+2} (mg/L)	30.45

2.2. Anaerobik Filtre

Çalışmada kullanılan anaerobik filtre iç çapı 7.2 cm, yüksekliği 45 cm olan cam kolondan yapılmıştır. Reaktörün dışına ısıtmaya sağlamak için cam su ceketini yerleştirilmiştir. Reaktörün tabanından 5 cm yüksekliğe homojen su dağıtımını sağlamak için 0.5 cm çapında delikleri olan bir plaka yerleştirilmiştir. Reaktörün çalışma hacmi (toplam sıvı hacmi) 1,11 L ve paket malzemesi (1.2*1.2 cm) seramik halkalardan oluşmuştur.

Reaktörün aşılmasında EFES PİLSEN GÜNEY BİRACILIK ve MALT SANAYİ AŞ.'ye ait anaerobik arıtma tesisinden alınan anaerobik çamur kullanılmış olup sentetik atık suyla %30V/V oranında karıştırılarak reaktöre verilmiştir. Bu şekilde 2 gün aynı su devir daim yapıldıktan sonra taze hazırlanmış sentetik atıksu ile 10 gün süreyle 24 saat bekletme süresinde reaktörün adaptasyonu sağlanmıştır.

Reaktöre atıksu beslemesi Watson Marlow 400 Model peristaltik pompayla yapılmıştır. Sıcaklığı $35 \pm 2^{\circ}C$ 'de sabit tutmak için bir termostatlı su ısıtıcısından devir daim pompası ile dıştaki su ceketinde $35^{\circ}C$ 'de su dolaştırılmıştır. Kağıt atıksuyu ile beslemeye başladıktan sonra organik yükü ayarlamak için hidrolik bekleme süresi (HRT), KOİ konsantrasyonuna göre değiştirilmiştir.

Reaktörün ürettiği biyogaz asitlendirilmiş (0.05 M H_2SO_4) su ile aşağı doğru yer değiştirme yöntemiyle toplanarak standart sıcaklık ve basınçta hacimsel olarak ölçülmüştür.

2.3. Deneysel Çalışma

Çalışma süresince atıksu haftalık olarak fabrikadan alınmıştır. Atıksu analizleri yapıldıktan sonra KOİ konsantrasyonuna göre HRT ayarlanarak istenen organik yüklemeye hızı sağlanmıştır. Reaktöre ortalama 1, 2, 2.6, 5.7 ve 8.3 olmak üzere 5 adet organik yük uygulanmıştır. Her bir organik yüklemeye 2 hafta süreyle devam edilmiştir. Bu süre içerisinde giriş ve çıkış KOİ'leri ve çıkış suyundaki pH, alkalinite, AKM, $\text{NH}_4\text{-N}$ analizleri günlük olarak yapılmıştır. Ayrıca reaktörün ürettiği biyogaz günlük olarak toplanmış ve biyogaz bileşeni (CH_4 ve CO_2) ölçülmüştür. Debideki salınımları izlemek için günlük olarak debi ölçülerek HRT kontrol altında tutulmuştur.

2.4. Metod

2.4.1. Atıksu Analizleri

Deneysel çalışmalar sırasında Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ölçümleri MN Filterphotometer Nanocolor 100D Spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür. KOİ analizinde metot, atıksu numunesinin 148°C 'de potasyum dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), sülfürik asit (H_2SO_4) ve gümüş sülfat (Ag_2SO_4) ile iki saat oksidasyonu neticesinde Cr^{+3} 'ün fotometrik olarak saptanmasına dayanmaktadır. Bu metot, 100-1500 mg/L KOİ konsantrasyonu aralığında hassas olup standart sapması ± 0.04 'tür (MN Filterphotometer Nanocolor 100D-Test 29). Çalışma boyunca filtre KOİ takip edilmiştir. Bunun için numune $0.45\ \mu\text{m}$ gözenek çaplı Sartorius filtre kağıdından geçirilmiştir. Amonyak (NH_4^+), Askıda Katı Madde (AKM), Alkalinite ölçümleri Standart Metotlara uygun olarak yapılmıştır (Standart Methods, 1985). pH, WTW 330 pH meter ile ölçülmüştür. Askıda Katı Madde ölçümlerinde Whatman GF/C filtre kağıtları kullanılmıştır. Tüm deneyler hata payını en aza indirmek için iki defa tekrarlanmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır.

2.4.2. Biyogaz Analizleri

Biyogaz konsantrasyonu Perkin Elmer Auto System XL Model gaz kromatografisiyle ölçülmüştür. Dedektör OTCD (Thermal Conductivity Detector), kolon Propac Q (80-100 Mesh, 2 m), taşıyıcı gaz He, akış hızı 22 ml/dak, dedektör sıcaklığı 150°C , numune hacmi 1 ml'dir.

3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneysel çalışma farklı hidrolik bekleme süreleri ve farklı organik yüklemelerin uygulandığı 5 faza ayrılmıştır. Her bir faz için elde edilmiş karakteristik çıkış suyu değerleri Çizelge 2 de verilmiştir. Herhangi bir sebeple kararlılığını yitiren bir anaerobik reaktörde, dengesizlik ilk önce toplam uçucu asit konsantrasyonunun artması sonucu pH'da ani bir düşüş ile kendini gösterir. pH'daki düşüşü bir süre sonra (yaklaşık 1 gün sonra) alkalitedeki ani azalma izler. Bu esnada gaz üretiminin yavaşlaması, dolayısıyla gaz debisinde bir azalma ve gazdaki CH_4 yüzdesinde bir düşüş gözlenir. Bunların sonucu olarak da reaktör çıkışındaki KOİ konsantrasyonu yükselir ve sistemin verimi düşer (11). Metanojenlerin aktivitesi 6.3 'ün altında ve 8.2 'ün üzerinde azalır. Asidojenik popülasyon düşük ve yüksek pH'larda daha az hassaslık gösterir. Böylece metanojenlere baskın hale gelip reaktörde asitleşmeye neden olur (12). Reaktörün her

bir basamak için ortalama pH sonuçları Çizelge.2 de ve günlük değişimi Şekil 1 de verilmiştir.

Çizelge 2. Reaktör çıkış suyu karakteristik değerleri

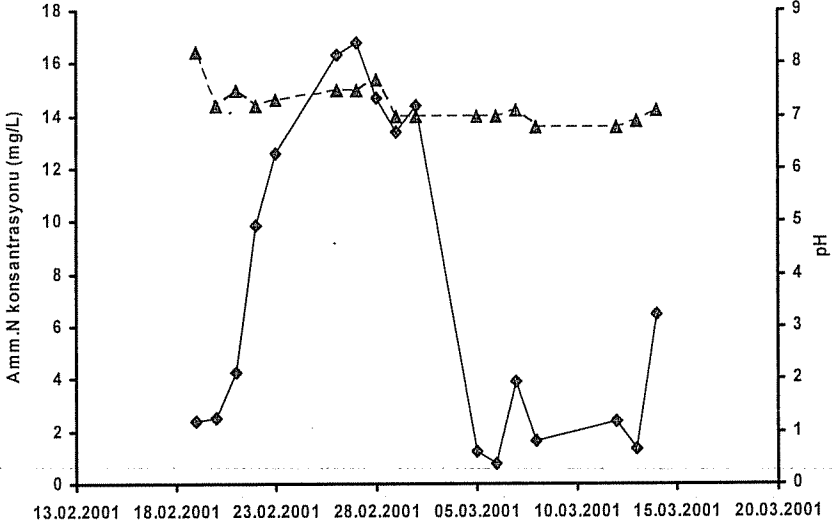
Parametreler	Çalışmanın Basamakları				
	I	II	III	IV	V
pH	8.2±0.1	8.1 ± 0.2	7.9 ± 0.1	7.6 ± 0.2	7.4 ± 0.2
Filtre KOİ mg/L	199 ± 17	215 ± 21	363 ± 21	609 ± 154	467 ± 33
AKM mg/L					182 ± 44
Gaz üretimi L/gün	0.201 ± 0.01	0.416 ± 0.02	0.541± 0.06	1.247± 0.09	2.398 ± 0.15
Methane verimi litre	0.205 ± 0.01	0.227 ± 0.02	0.236 ± 0.03	0.251± 0.02	0.295 ± 0.04
CH ₄ /kg KOİ					

Reaktörün pH değerleri günlük olarak takip edilmiştir ve Çizelge 2 de görüldüğü gibi reaktörün inhibe edilecek düşük değerler ölçülmemiştir. pH sadece bir iki defa 8'in üzerine çıkmıştır ama bu süreklilik göstermemiştir. Çünkü aynı günün KOİ giderimlerine ve metan üretimine bakıldığında reaktör performansında bir olumsuzluk olmadığı görülmektedir.

Anaerobik prosesi izlemek için en önemli parametrelerden biri alkalinitedir ve alkalinite, proteinlerin ve sülfatlı bileşiklerin anaerobik parçalanması sırasında oluşur.

Üretilen bu alkalinite reaktörde zaman zaman hızlı bir şekilde metabolize edilemeyen yağ asitlerini nötralize etmek için yeterlidir. Ancak yüksek organik yüklemelerde asit oluşumunun metan oluşumundan 5 kat hızlı olmasından dolayı asit birikmesi olur ve pH'nın düşmesi metanojenik aktiviteyi inhibe eder. Bu yüzden ek bir alkalinite beslemesi gerekebilir. Bu çalışmada kullanılan atıksu alkalinite üretecek özellikte olmamasından dolayı çalışma boyunca bütün organik yüklemelerde her 1 mg/L KOİ başına yaklaşık 2 mg/L NaHCO₃ alkalinitesi yüklemesi yapılmıştır. Bütün organik yüklemelerde alkalinite değerleri 1465 ile 2852 mg/l CaCO₃ arasında değişim göstermiştir.

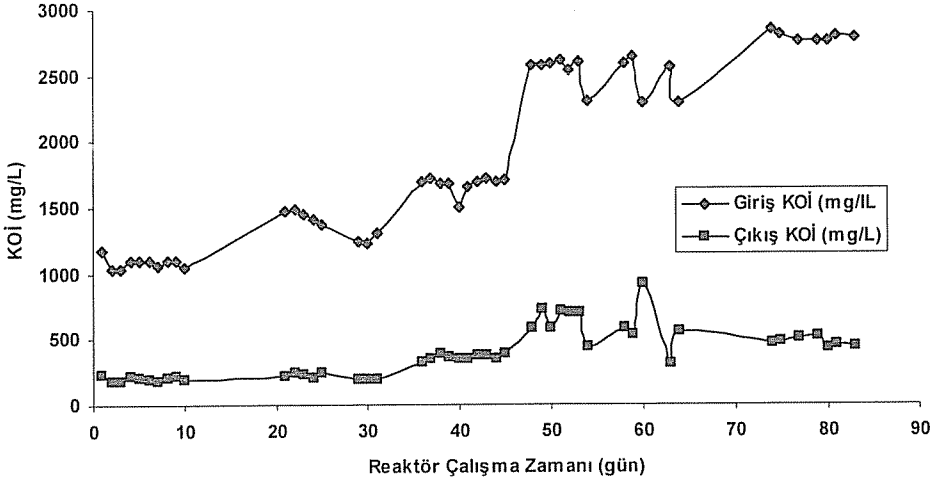
Atıksuyun yüksek konsantrasyonlarda NH₄ veya protein içermesi durumunda, NH₃ toksisitesi problemi meydana gelebilir. Özellikle yüksek pH'larda NH₄⁺'ün iyonlaşmamış amonyağa (NH₃) dönüşmesinden dolayı sistem inhibe olur. Optimum deney şartlarında anaerobik bir reaktör, 850 mg/L NH₄-N'i (nötr pH'da 84 mg/L NH₃-N) proses performansında herhangi bir düşme olmaksızın tolere edebilir (13). Yapılan deneylerde NH₄⁺ konsantrasyonun bu derece yüksek konsantrasyonlara ulaşmadığı gözlenmiştir. NH₄⁺ konsantrasyonları Şekil 1 de verilmiştir. Atıksudaki nutrient eksikliğini gidermek için azot kaynağı olarak, atıksuya üre eklenmiştir.



Şekil 1. Farklı fazlarda pH ve amonyum azotu konsantrasyonu değişimi (pH ▲).

Çalışma boyunca reaktör girişinde ve çıkışında filtre KOİ izlenmiştir. KOİ ve filtre KOİ arasında %10-15 gibi küçük bir fark çıkmaktadır. Bu da atıksuyun içerdiği AKM'nin organik içeriğinin düşük olduğunu göstermiştir. Kabdaşlı ve ark. (14) yaptıkları çalışmada, atık kağıttan kağıt üretimi yapan bir fabrikanın atıksu karakterizasyonunu yapmışlardır. Bu çalışmanın sonuçları incelediğinde KOİ ve filtre KOİ arasındaki farkın 4 farklı su numunesinde %15-28 arasında değiştiği görülmektedir.

Reaktöre 1 ile 8 kg KOİ/m³.gün arasında 5 farklı organik yükleme uygulanmıştır ve çalışma boyunca giriş ve çıkış suyunda filtre KOİ ölçülmüştür. Reaktörün KOİ giderme verimleri %70-85 arasında değişmiştir. Beşinci yükleme hariç KOİ giderme verimlerinin artan organik yükleme oranı ile azda olsa azaldığı görülmektedir. İkinci organik yükleme oranında, birinci organik yükleme oranından az da olsa daha yüksek giderim verimleri elde edilmiştir. Üçüncü ve dördüncü organik yükleme oranlarında giderim verimlerinde bir azalma gerçekleşmiş fakat beşinci organik yükleme oranında tekrar bir artış olmuştur. Bunun nedeni atıksuyun parçalanabilme özelliklerindeki farklılıklar olabilir. Ayrıca zaman zaman fabrikada biosit kullanılması, atık kağıdın sürekli aynı kaynaktan alınmaması, temizleme işlemleri sırasında farklı zamanlarda alınan atık kağıdın anaerobik parçalanmayı olumsuz etkileyecek materyalleri içermesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Reaktörün giriş ve çıkış sularındaki KOİ değişimi Şekil 2 de verilmiştir.



Şekil 2. Reaktör giriş ve çıkış suyunda zamana göre KOİ değişimi.

Anaerobik filtrelerle ilgili Monod dahil birçok kinetik model başarıyla test edilmiştir. Bu modeller arasında Stover ve Kincannon (15) döner disk biyofilm reaktörlerin dizaynında toplam organik yükün kullanıldığı kinetik bir model önermişlerdir. Bu modelde substrat kullanma hızı, organik yükleme hızının bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

$$\frac{dS}{dt} = \frac{U_{\max} (Q \cdot S_i / A)}{K_b + (Q \cdot S_i / A)} \quad (1)$$

Denklem (1) deki (A), disk yüzey alanını ifade emektedir. Bu alan, RBC (Döner biyolojik disk) reaktörlerinde, toplam tutunarak büyümüş biyokütleyi temsil etmektedir. Yukarıdaki modelde reaktör içerisindeki askıdaki biyokütle ihmal edilmiştir (15). Anaerobik filtrelerde ise alan yerine hacim kullanılır. Çünkü arıtmayı gerçekleştiren aktif biokütlenin büyük bir çoğunluğu askıda bulunmaktadır (8, 16).

3.1. Stover-Kincannon Modeli

Stover-Kincannon ve Monod Modelleri arasındaki en büyük fark toplam organik yük (QS_i/V) kavramının Stover-Kincannon modelinde kullanılmasıdır.

Stover-Kincannon'a göre hidrolik yükleme hızı ve organik konsantrasyon ile substrat giderme hızı ve giderme verimi arasında kesin bir ilişki vardır (15). Stover-Kincannon (15), Henze ve Harremoes (17), İza ve ark. (18, yaptıkları çalışmalarda substrat giderme hızının ve veriminin organik konsantrasyon ya da hidrolik yükleme hızından daha çok biyolojik reaktörlere uygulanan toplam organik yükün miktarına bağlı olduğunu göstermişlerdir.

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)^{-1} = \frac{V}{Q(S_i - S_e)} = \frac{K_B}{U_{\max}} \cdot \frac{V}{Q \cdot S_i} + \frac{1}{U_{\max}} \quad (2)$$

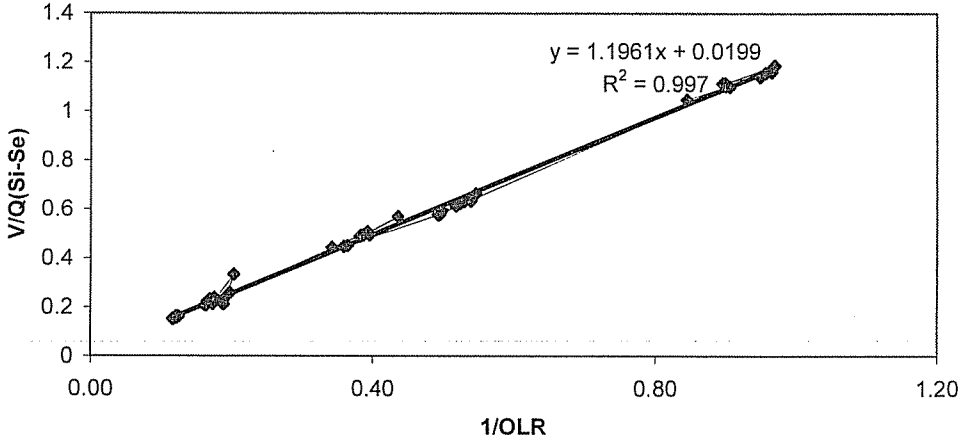
$$OLR = Q \cdot S_i / V \quad (3)$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{U_{\max} \cdot (Q \cdot S_i / V)}{K_B + (Q \cdot S_i / V)} = \frac{Q(S_i - S_e)}{V} \quad (4)$$

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)^{-1} = \frac{V}{Q(S_i - S_e)} = \frac{K_B}{U_{\max} \cdot (Q \cdot S_i / V)} + \frac{1}{U_{\max}} \quad (5)$$

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)^{-1} = \frac{V}{Q(S_i - S_e)} = \frac{K_B}{U_{\max}} \cdot \frac{1}{OLR} + \frac{1}{U_{\max}} \quad (6)$$

Buradan $1/OLR$ 'ye karşı $V/Q(S_i - S_e)$ çizildiğinde doğrunun kesim noktası $1/U_{\max}$ 'ı, eğimi de K_B/U_{\max} 'ı verir. Bu çalışmada 5 farklı organik yükleme oranında günlük olarak filtre giriş ve çıkış KOİ'leri ve debi ölçümü yapılmıştır. Elde edilen datalar denklem (6)'ya uygulanarak Şekil.3 deki grafik elde edilmiştir.



Şekil. 3. Stover- Kincannon Modelinin Anaerobik Filtreye Uygulanması

Bu grafikten U_{\max} ve K_B değerleri sırasıyla 50.25 g/L.gün ve 60.1 g/L.gün olarak bulunmuştur. Ahn ve Forster (10) nişasta, kağıt ve oluklu mukavva kullanarak hazırladıkları sentetik atıksuyun anaerobik filtrede arıtılabilirliğini ve Stover-Kincannon Kinetik Modelinin uygulanmasını çalışmışlardır. Nişasta için U_{\max} 49.8 g/L.gün, K_B 50.6 g/L.gün, kağıt atıksuyu için U_{\max} 6.71 g/L.gün, K_B 6.14, oluklu mukavva atıksuyu için U_{\max} 3.86 g/L.gün, K_B 0.8 g/L.gün bulmuşlardır. Üç farklı atıksuyun kinetik sabitlerine bakıldığında oluklu mukavva atıksuyunun kinetik sabitleri oldukça düşük

bulunmuştur. Bu çalışmada kullanılan kağıt fabrikası atıksuyu, karışık atık kağıttan oluşan bir atıksudur. Birebir karşılaştırma yapılamamasına rağmen kağıt ve oluklu mukavva için bulunan kinetik sabitlerden daha yüksek değerler elde edilmiştir. Elde edilen kinetik sabitler, Forster ve Ahn'ın (10) nişastayla elde ettikleri kinetik sabitlere daha yakındır. Oluklu mukavvanın kinetik sabitlerinin düşük olmasını, oluklu mukavvanın bor içermesi ve anaerobik parçalanmayı olumsuz etkileyebilecek materyalleri içerebileceğiyle açıklamışlardır. Yu ve ark. (19) yine anaerobik filtrede soya fasulyesi işleme atıksularına Stover-Kincannon Kinetik Modelini uygulayarak kinetik sabitleri çıkarmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda U_{max} 83.3 g/L.gün ve K_B 85.5 g/L.gün olarak bildirmişlerdir. Büyükkamacı ve Filibeli (20) hibrit bir reaktörde Stover-Kincannon Kinetik Modelini uygulayarak melas içeren atıksuyun arıtılabilirliği ve kinetik sabitlerin çıkarılması üzerine çalışmışlardır. Onlar da U_{max} ve K_B değerlerini sırasıyla 83,3 g/L.gün ve 86.23 g/L.gün olarak bildirmişlerdir. Bu çalışmalardan görüldüğü gibi atıksuyun anaerobik parçalanabilirliğine bağlı olarak farklı kinetik sabitler elde edilmektedir. Sonuçlar anaerobik arıtmaya uygun birçok atıksuya özgü kinetik sabitlerin elde edilebileceğini göstermektedir. Kinetik sabitler, uygulanacak organik yüklemeye göre reaktör hacminin veya çıkış suyu konsantrasyonunun tahmin edilebilmesi için çok önemlidir. Bir atıksu için özel olan kinetik sabitler bir kez tespit edildikten sonra gerçek reaktörlerin dizaynı için zorunlu parametrelerdir.

4. SONUÇ

Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Hurda kağıttan kağıt üretimi yapan bir fabrikaya ait atıksuların arıtılmasında yukarı akışlı mezofilik anaerobik filtrenin 1 ile 8 kg KOI/m³.gün organik yük şartlarında başarılı olduğu görülmüştür.
- Reaktöre gerçekleştirilen organik yüklemeler sonucunda pH ve amonyak azotu değerleri reaktör çalışma şartlarını etkilemeyecek değerlerde seyretmiştir.
- Reaktörün KOI giderim verimleri yapılan tüm organik yüklemelerde %70-85 değerleri arasında gerçekleşmiştir.
- Ayrıca kinetik sabitlerin eldesi amacıyla modifiye edilmiş Stover-Kincannon modeli elde edilen datalara uygulanmış ve kağıt endüstrisinden kaynaklanan gerçek atıksuların arıtılmasında yukarı akışlı anaerobik filtre de modifiye edilmiş Stover-Kincannon modelinin başarıyla kullanılabileceği görülmüştür.

5. KAYNAKLAR

1. EPA, Office of Compliance Sector Notebook Project. "Profile of the Pulp and Paper Industry" EPA/310-R-95-015. Washington DC., 1995.
2. Thompson, G., Swain, J., Kay, M., Forster, C.F., "The treatment of pulp and paper mill effluent: a review", *Bioresource Technology*, 77, 275-286, 2001.
3. Omil, F., Garrido, J.M., Arrojo, B., Mendez, R., "Anaerobic filter reactor performance for the treatment of complex dairy wastewater at industrial scale", *Water Research*, 37, 4099-4108, 2003.
4. Harrison, J.T., Viraraghavan, T., Sommerstad, H., "Treatment of slaughterhouse effluent using an anaerobic filter", *Can J Civil Eng.* 18 (3), 436-445, 1991.

5. Carliell, C.M., Barclay, S.J., Buckley, C.A., "Treatment of exhausted reactive dyebath effluent using anaerobic digestion—laboratory and full scale trials". *Water SA* 22, 225-233, 1996.
6. Hernandez, E.P.S., Cordoba, T., "Anaerobic treatment of sugar-mill wastewater in downflow fixed-bed reactors", *Bioresource Technology*, 48, 179-181, 1994.
7. Rindone, B., Andreoni, V., Rozi, A., Solini, C., "Analysis and anaerobic degradation of wool scouring and olive mill wastewaters", *Fresenius J Anal Chem.* 339, 669-672, 1991.
8. Ahn, J-H., Forster, C.F., "Kinetic analyses of the operation of mesophilic and thermophilic anaerobic filters treating a simulated starch wastewater". *Process Biochemistry*, 36, 19-23, 2000.
9. Ahn, J-H., Forster, C.F., "A comparison of mesophilic and thermophilic anaerobic upflow filters", *Bioresource Technology*, 73, 201-205, 2000.
10. Ahn, J-H., Forster, C.F., "A comparison of mesophilic and thermophilic anaerobic upflow filters treating paper-pulp-liquors", *Process Biochemistry*, 38, 257-262, 2002.
11. Öztürk, İ., Samsunlu, A., Melek, T., "Kağıt ve karton endüstrisi atıksularının iki kademeli biyolojik arıtımı", *İTÜ 5. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu*, 25-27 Eylül, İstanbul, 1996.
12. Lettinga, G., Haandel, A.C., "Anaerobic Sewage Treatment". Wiley, England, 1994.
13. Speece, R.E., "Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater", Vanderbilt University, USA. 1996.
14. Kabdaşlı, N.I., Tünay, O. and Eldem, N., "Treatability of Wastepaper Pulping Process Wastewaters", *Proceedings of 51st Industrial Waste Conference, Purdue University*, 645-650. May, 1996, West Lafayette. USA, 1996.
15. Kincannon, D.F., Stover, E.L., "Design methodology for fixed film reaction-RBCs and biological towers", *Civil Eng Prac Des Eng.* 2, 107-124, 1982.
16. Tay, J.H., Show, K.Y., Jeyaseelan, S., "Effects of media characteristics on performance of upflow anaerobic packed-bed reactors", *J Environ Eng.* 122, 469-476, 1996.
17. Henze, M., Harremous, P., "Anaerobic Treatment of Wastewater in Fixed Film Reactors: A Literature Review", *Water Science and Technology.* 15, 1-101, 1983.
18. Iza, L., Colleran, E., Paris, J.M., Wu, W.M., "International Workshop on anaerobic Treatment Technology for Municipal, and Industrial wastewaters: Summary paper", *Water Science and Technology.* 24, 1-16, 1991.
19. Yu, H.Q., Wilson, F, Tay, J.H., "Kinetic analysis of an anaerobic filter treating soybean wastewater", *Water Research*, 32, 3341-52, 1998.
20. Büyükkamacı, N., Filibeli, A., "Determination of Kinetic Constants of an Anaerobic Hybrid Reactor", *Process Biochemistry*, 38. 73-79, 2002.

MONTAJ HATLARININ DEĞİŞEN KOŞULLAR ALTINDA YENİDEN DENGELENMESİ*

Ebru YILMAZ ve Rızvan EROL

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

ÖZET : Önceden dengelenmiş bir montaj hattında, metod geliştirme, teknolojik yenilikler, istasyonlarda öğrenme gibi nedenlerden dolayı işlem sürelerinde değişiklikler olması zaman içerisinde hattın yeniden dengelenmesini gerektirebilir. Bu çalışmada, değişen işlem sürelerinden dolayı denge gecikmesi belirlenen bir değeri aşıyorsa yeniden dengeleme önerilmektedir. İncelenen montaj hattı türü, tek modelli, deterministik işlem süreli montaj hatlarıdır. Yeniden dengeleme için çevrim süresi, öncelik, bölgeleme, bölünmeme, taşıma, denge gecikmesi kısıtları altında, işlemlerin istasyonlar arasında taşınmasının toplam maliyetini minimum yapan bir tamsayılı programlama modeli ve bu modele özgü optimum çözümü veren bir dal – sınır algoritması geliştirilmiştir. Algoritmanın etkinliği farklı boyutlu örneklerle test edilmiş ve kesme kurallarının çözüm süresini önemli ölçüde azalttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Montaj Hatları, Yeniden Dengeleme, Dal – Sınır Algoritması.

ASSEMBLY LINE REBALANCING UNDER VARYING CONDITIONS

ABSTRACT : Changes in task times in a balanced assembly line due to improvements in methods and technology and learning effects may require the line to be rebalanced. In this study, rebalancing is recommended when the balance delay exceeds a specified value after continual deterioration in line balance. Investigated assembly lines are single model lines with deterministic task times. First, the problem is formulated as an integer programming model whose objective function is to minimize the total cost of moving tasks between stations under cycle time, precedence, zoning and indivisibility constraints. Then a special branch-and-bound algorithm using a tree search is developed. This algorithm has special fathoming rules aimed at reducing the solution time. Test examples in varying sizes show that these rules decrease the solution time significantly.

Key Words: Assembly Lines, Rebalancing, Branch-and-Bound Algorithm.

* Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.
Proje No: FBE.2002.YL.129

1. GİRİŞ

Bir montaj hattı ardarda sıralı iş istasyonlarının yerleştirilmiş biçimidir. Bir montaj faaliyeti işlemlere bölünür ve her bir işlem, montaj işinin en küçük birimidir. Her bir iş istasyonu ise, bu işlemlerin montajı için tahsis edilir ve bu şekilde parça hat üzerinde ilerleyerek en son iş istasyonuna geldiği zaman ürün tamamlanarak son ürün elde edilir (1).

Montaj hatları, otomotiv, uçak, makine ve makine parçaları gibi kitle üretimine dayalı üretim sektörleri içerisinde önemli bir yere sahiptir. İlk olarak, 1900'lü yılların başında Henry Ford tarafından tasarlanan montaj hatlarının, otomasyona olanak sağlaması, zamandan ve hızdan kazanç getirmesi, gecikmelerin engellenebilmesi gibi faydaları bulunmaktadır.

Klasik hat dengeleme problemi, montaja ait işlemlerin istasyonlara dağıtımıdır. Eğer işlemler gruplandırıldığında, tüm istasyonların süreleri birbirlerine eşit olursa bu durumda hat mükemmel dengelenmiş olacaktır ve düzgün bir iş akışı beklenecektir. Ancak, bazı çalışma koşullarının değişmesi durumunda işlem sürelerinde değişiklikler olabilir ve hat dengesi bozulabilir. Bu durumda montaj hattının yeniden dengelenmesine ihtiyaç duyulur. İşlem sürelerinde değişiklik meydana getirebilecek nedenlerin başlıcaları metot geliştirme, teknolojik yenilikler ve istasyonlarda öğrenmedir. Bu çalışmada, deterministik işlem sürelerine sahip tek modelli montaj hatlarının, işlem sürelerinde meydana gelen değişikliklerden dolayı yeniden dengelenmesi amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde montaj hatlarının yeniden dengelemesi ile ilgili çalışmalar çok azdır. Ayrıca, yöntemlerinin çoğunluğunda işlemlerin istasyonlara atanmasının maliyeti konusuna değinilmemiştir. Bazı yeniden dengeleme yöntemleri şunlardır:

Dar-El ve Rubinovitz, yeni ürünler için, öğrenme teorisi kullanılarak bir montaj hattı dengeleme algoritması sunmuşlardır. Öğrenme sonucunda işlem sürelerinde sık sık değişiklikler olması nedeniyle geliştirilen bu algoritma, yeniden dengelemede de kullanılabilir. Bu algoritmanın amacı, öğrenmenin neden olduğu dengesizliği gidermek ve işlemlerin yeni istasyonlara atanmasından dolayı oluşan öğrenme kayıplarını minimum yapmaktır (2).

Rachamadugu ve Talbot, montaj hatlarında işyükü dağılımının eşit olarak gerçekleştirilebilmesi için bir algoritma önermişlerdir. Montaj hatlarının dengelenmesinde bir çok sezgisel ya da optimum algoritma, ya çıktı oranı verilmişken istasyon sayısının minimum yapılmasını ya da istasyon sayısı sabit olarak verilmişken çıktı oranının maksimum yapılmasını amaçlamıştır. Bu çalışma ise, işlemlerin atama seviyeleri için bir çözüm verilmişken bir yeniden dengeleme prosedürü sunmaktadır. Bilgisayar sonuçları doğrultusunda, bu prosedürün işyükü seviyelenmesinde oldukça etkin çalıştığını göstermiştir (3).

Miltenburg, U-hatlarının dengelenmesi ve yeniden dengelenmesi çalışması yapmıştır. U-şekilli hatlar, birden fazla hattan meydana gelen üretim hatları olup bu çalışmada, çevrim süresi, öncelik, istasyon türü gibi kısıtlar doğrultusunda işlemlerin istasyonlara düzenli olarak atanmasını amaçlayan dinamik bir model geliştirilmiştir. Bundan başka, istasyonlardaki boş zamanın, tam zamanında üretim politikalarına uygun olarak

gerçekleştirebilmesinin önemine değinilmiştir. Bu çalışmada, işlemlerin istasyonlara ve U-hattına atanmasının maliyetine de yer verilmiştir. Yeniden dengeleme çalışması ise, tüm işlemlerin taşınabilmesi, bazı işlemlerin sabit bazı işlemlerin taşınabilmesi ve hiçbir işlemin taşınamaması durumlarına göre yapılmıştır (4).

3. METOD

3.1. Problemin Formülasyonu

Bu çalışmada incelenen montaj hattı türü, tek modelli ve deterministik işlem süreli montaj hatlarıdır. İşlem sürelerinde değişiklik meydana geldikten sonra denge gecikmesi belirlenen bir değeri aşıyorsa yeniden dengeleme yapılmaktadır. Yeniden dengeleme taşınabilir işlemlerin başka istasyonlara taşınması şeklinde yapılmaktadır. İşlemlerin taşınması sonucunda da taşıma maliyeti oluşmaktadır.

Yeniden dengeleme için geliştirilen model, tamsayı programlama modelidir. Bu çalışmada, hattın yeniden dengelenebilmesi için çeşitli kısıtlar gözönünde bulundurularak işlemlerin taşıma maliyetini en küçükmeyi amaçlayan bir dal – sınır algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen yeniden dengeleme dal – sınır algoritmasının hızlı çalışabilmesi için de kesme kuralları geliştirilmiştir.

Notasyon:

Bu modelde temel karar değişkeni (x_{ik}), ikili tamsayı değişken olup aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & i. \text{işlem } k. \text{istasyona taşınırsa} & i = 1, \dots, N \\ 0, & \text{aksi halde} & k = 1, \dots, K \end{cases} \quad (1)$$

N ve K sırasıyla işlem sayısı ve istasyon sayısıdır.

Bu çalışmada kullanılan parametreler ise aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

t'_i : Süre değişimlerinden sonra i . işlemin yeni süresi

C' : Yeniden dengeleme çevrim süresi

$P = \{(y, z) : y. \text{işlem } z. \text{işlemden hemen önce gelmektedir}\}$

F : Aynı istasyonda bulunması gereken işlemlerin kümesi

V : Aynı istasyonda bulunması istenmeyen işlemlerin kümesi

A_i : i . işlemin taşınabileceği istasyonların kümesi

G : Kabul edilebilen en kötü denge gecikmesi değeri

K : Dallandırma esnasındaki mevcut istasyon sayısı

K_{\min} : Optimum istasyon sayısı için alt sınır (minimum istasyon sayısı)

K_{\max} : Optimum istasyon sayısı için üst sınır (kabul edilebilen en kötü denge gecikmesine karşı gelen istasyon sayısı)

K_{opt} : Yeniden dengeleme sonucunda elde edilen optimum istasyon sayısı

D_{opt} : Yeniden dengeleme sonucunda elde edilen optimum denge gecikmesi

- S : i . işlemden sonra gelen işlemlerin kümesi
 U_i : i . işlemin taşınabileceği en geç istasyon numarası
 C_{ik} : i . işlemin k . istasyona taşınmasının maliyeti
 $TC_{üst}$: Optimum toplam taşıma maliyeti için üst sınır
 TC_{opt} : Optimum toplam taşıma maliyeti

Amaç Fonksiyonu:

Yeniden dengelemede amaç fonksiyon işlemlerin toplam taşıma maliyetinin en küçüklenmesi olup aşağıdaki formülle ifade edilmektedir:

$$TC_{opt} = \min \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K C_{ik} * x_{ik} \right\} \quad (2)$$

Kısıtlar:

İşlemlerin iş istasyonlarına atanması, çeşitli kısıtlar altında gerçekleşmektedir. Bu kısıtların varlığı, uygulamada bir hattın yeniden dengelenmesini güçleştirir ve hatta olanaksız kılabilir. Bu çalışmada, yeniden dengeleme sırasında gözönünde bulundurulan kısıtlar aşağıda ifade edilmektedir:

i) **Çevrim süresi kısıtı:** Herhangi bir istasyonun süresi çevrim süresini aşamaz.

$$\sum_{i=1}^N t'_i * x_{ik} \leq C' \quad k = 1, \dots, K \quad (3)$$

ii) **Öncelik kısıtı:** Taşınacak işlemin, işlemler arasındaki öncelik ilişkisine de uyması gerekmektedir. Örneğin; z . işlem r . istasyona taşınıyorsa, bu işlemden hemen önce gelen y . işlem 1. ve r . istasyonlar arasındaki bir istasyona taşınmış olmalıdır. Bu durum aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$x_{zr} \leq \sum_{t=1}^r x_{yt} \quad r = 1, \dots, K \quad (y, z) \in P \quad (4)$$

iii) Bölgeleme kısıtları:

Bazı işlemlerin, makine, teçhizat vb. donanımları ortak kullanmalarından dolayı aynı istasyonda bulundurulmaları gerekebilir. Aynı istasyonda bulunması gereken işlem çiftleri için bölgeleme kısıtı şu şekildedir:

$$\sum_{k=1}^K x_{yk} * x_{zk} = 1 \quad (y, z) \in F \quad (5)$$

Yukarıda belirtilen bölgeleme kısıtının tersi bir durum da söz konusu olabilir. Güvenlik, yer kısıtı gibi nedenlerden dolayı bazı işlemlerin aynı istasyonda bulundurulmaları istenmez. Bu durumda, bölgeleme kısıtı şu şekilde ifade edilir:

$$x_{y,k} + x_{z,k} = 1 \quad k = 1, \dots, K \quad (y, z) \in V \quad (6)$$

iv) **Bölünmeme kısıtı:** Her bir işlem sadece bir istasyona taşınmalıdır.

$$\sum_{k \in A_i} x_{ik} = 1 \quad i = 1, \dots, N \quad \text{ve} \quad x_{ik} = 0 \text{ veya } 1 \quad (7)$$

v) **Taşıma kısıtı:** Bir işlemin, taşınabileceği istasyonların kümesi sınırlı olabilir. Bu kısıtın özel durumu, bu kümenin boş küme olmasıdır ($A_i = \emptyset$ durumu). Bu özel durum, sabit donanımlarla faaliyet gören işlemlerin diğer istasyonlara taşınamaması veya taşıma maliyetlerinin çok büyük olmasından dolayıdır.

vi) **Denge gecikmesi kısıtı:** Denge gecikmesinin kabul edilen en kötü denge gecikmesi değerini aşmaması gerekmektedir. Bu durum aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\frac{K * C' - \sum_{i=1}^N t'_i}{K * C'} \leq G \quad (8)$$

3.2. Geliştirilen Yeniden Dengeleme Dal – Sınır Algoritması

Yeniden dengeleme problemi sezgisel yöntemler, genel dal – sınır algoritması veya spesifik bir dal – sınır algoritması ile çözülebilir. Sezgisel bir yöntem hızlı çalışabilir; ancak optimum çözümü garanti etmez. Genel dal – sınır algoritması tüm tamsayılı programlama modelleri için kullanılmasına rağmen çözüm süresi çok uzundur. Bu nedenle, bu çalışmada yeniden dengeleme için optimum çözümü veren spesifik bir dal – sınır algoritması ve de bu algoritmanın hızlı çalışabilmesi için de kesme kuralları geliştirilmiştir.

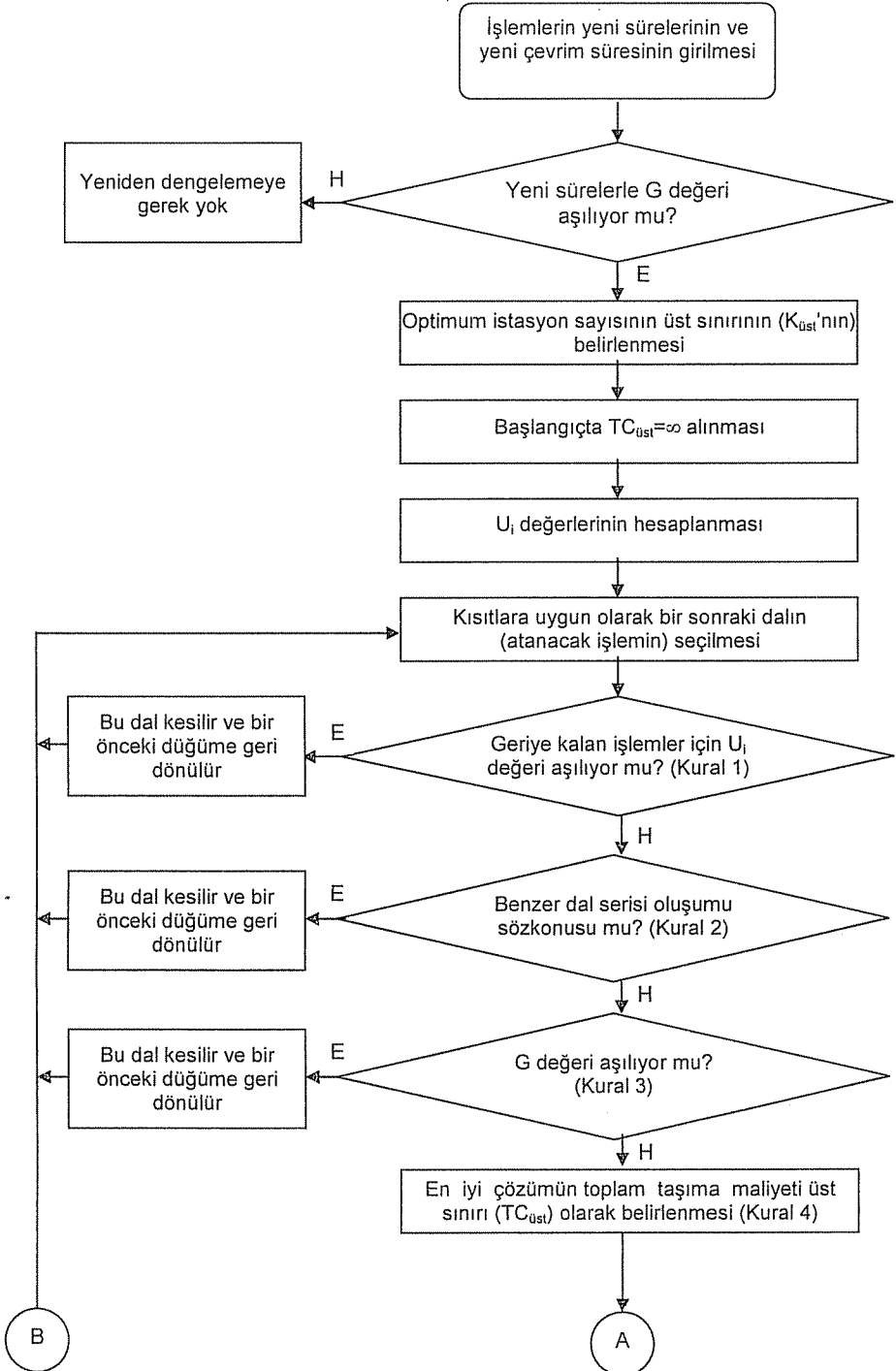
Geliştirilen yeniden dengeleme dal – sınır algoritmasının akış şeması Şekil 3.1.'de verilmiştir.

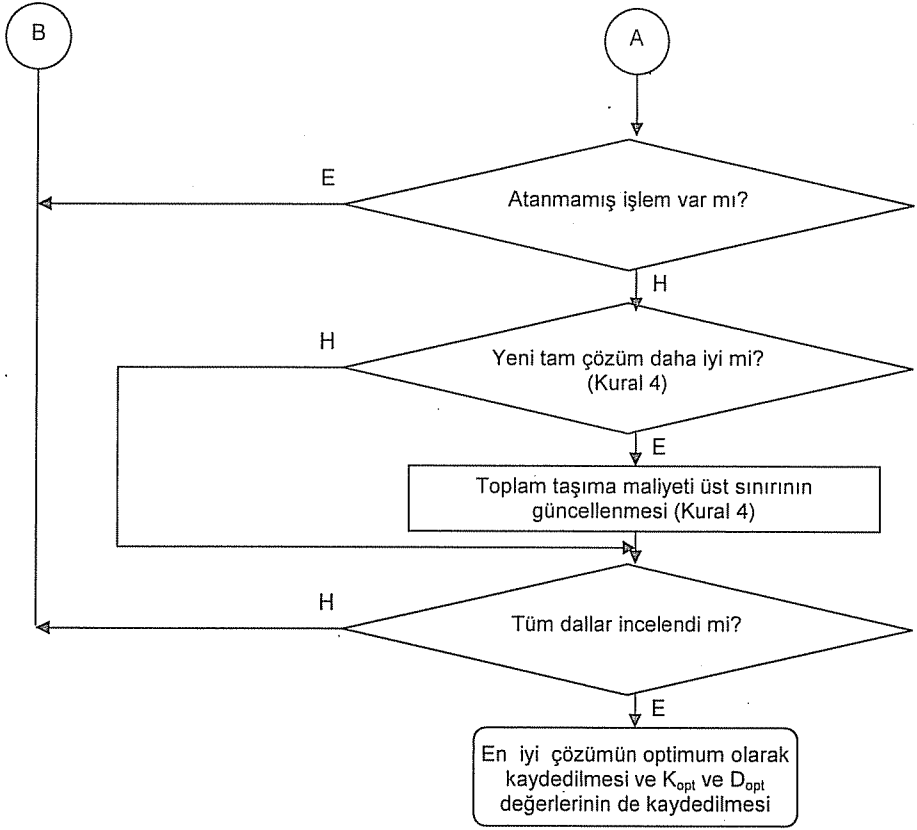
Geliştirilen bu algoritmada, dallandırma esnasında geriye dönüş yöntemi kullanılmaktadır. Diğer bir ifadeyle, kısıtlardan veya kesme kurallarından dolayı bir dal kesildikten sonra bir önceki düğüme geri dönülerek yeni bir dallandırma yapılır. Bu şekilde ağaç yapısında olurlu dalların oluşturulması sağlanır.

Dallandırma esnasında iki tür çözümle karşılaşılır. Bu çözümler şunlardır:

Kısmi çözüm: İşlemler kümesinden birkaç işlemin atanması ile elde edilen çözümdür.

Tam çözüm: Tüm işlemlerin atanması sonucunda elde edilen çözümdür.





Şekil 3.1. Geliştirilen Yeniden Dengeleme Dal-Sınır Algoritmasının Akış Diyagramı

Yeniden dengeleme sonunda oluşan optimum istasyon sayısı, minimum istasyon sayısından daha az olamaz. Aşağıda çevrim süresi kısıtı dışında hiçbir kısıtın dikkate alınmadığı minimum istasyon sayısı bağıntısı verilmektedir:

$$K_{\min} = \left\lceil \sum_{i=1}^N t'_i / C' \right\rceil \quad (9)$$

Diğer kısıtların varlığı K_{\min} değerinin artmasına yol açabilir.

Yeniden dengelemede taşınabilir her işlem, taşınmak zorunda olmayıp kendi istasyonunda kalabilir. Bu durumda, bu işlem için taşıma maliyeti sıfırdır.

Dal – sınır algoritmasında, başlangıç “0” düğümünden başlanılarak bütün işlemler kısıtlara uygun olarak sıralanmalıdır. Dallandırma esnasında kısıtların sağlanmadığı görüldüğünde, o dal kesilerek dallandırma durdurulur ve bir önceki düğüme geri

dönülerek yeni bir dal oluşturulur. Bu şekilde kısıtları sağlamayan dallar elimine edilerek sadece olurlu dalların incelenmesi sağlanır.

3.2.1. Kesme Kuralları

Kısıtlara rağmen hala elimine edilmesi gereken dallar olabilir. Kesme kuralları, dalların elimine edilmesini hızlandırmaktadır. Bu kurallarla olurlu diğer bir deyişle, dallandırmaya devam edildiğinde daha iyi bir çözüm olmadığına karar verilen dal kesilerek dallandırma durdurulur ve bir önceki düğüme geri dönlür. Bir önceki düğümden yeni bir dal oluşturularak sadece olurlu dalların oluşturulması sağlanır.

Bu çalışma için geliştirilen kesme kuralları şunlardır:

Kural 1: İşlemin Taşınabileceği En Geç İstasyon: Bir işlemin taşınabileceği istasyon için üst sınır, belirlenen denge gecikmesini aşmayacak en geç istasyon numarasını ifade etmektedir. Bu üst sınırın aşılması istasyon sayısının artmasına ve dolayısıyla da denge gecikmesinin artmasına neden olur. i . işlemin taşınabileceği en geç istasyon diğer bir ifadeyle o işlemin A_i kümesindeki üst sınırı aşağıdaki formülle bulunur:

$$U_i = K_{üst} - \left[\frac{t'_i + \sum_{j \in S_i} t'_j}{C'} \right] \quad (10)$$

$K_{üst}$ değeri kabul edilen en kötü denge gecikmesine (G 'ye) karşı gelen istasyon sayısıdır. Bu $K_{üst}$ değeri, aynı zamanda optimum istasyon sayısı için üst sınırı da ifade etmekte olup aşağıdaki formül yardımıyla bulunur:

$$K_{üst} = \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^N t'_i}{C' * (1 - G)} \right\rceil \quad (11)$$

O halde optimum istasyon sayısının alt ve üst sınırları şu şekilde ifade edilir:

$$K_{min} \leq K_{opt} \leq K_{üst} \quad (12)$$

Sabit donanımlarda faaliyet gören işlemler taşınmaz işlemler oldukları için bu işlemler için taşınabilecekleri en geç istasyon hesabı yapılmaz.

Kural 2: Daha Önce Bulunan Dal Serisine Benzer Bir Dal Serisinin Oluşmasının Engellenmesi: Bir önceki kısmi çözümde bulunan istasyondaki işlemlerin, istasyon numaraları aynı, sadece yerleri değişmiş şekilde yeni bir dal serisi oluşuyorsa, bu dal serisinin dallandırılması kesilir. Bu şekilde, keşfedilmiş bir istasyonun en fazla bir kez düzenlenmesi sağlanır ve daha önceki kısmi çözüme benzer bir kısmi çözüm oluşması engellenir.

Kural 3: Denge Gecikmesi Limiti: Kabul edilen en kötü denge gecikmesini (G 'yi) aşan dalların dallandırılması durdurulur. Bu kural, şu formülle ifade edilmektedir:

$$\frac{K * C' - \sum_{i=1}^N t'_i}{K * C'} \leq G \quad (13)$$

Yeniden dengeleme sonunda $D_{opt} \leq G$ olmalıdır.

Kural 4: Optimum Toplam Taşıma Maliyeti İçin Üst Sınırın Bulunması: Eldeki en iyi tam çözüm, toplam taşıma maliyeti üst sınırını ifade etmektedir. Kümülatif taşıma maliyetinin bu üst sınırı aştığı dallarda, daha iyi bir tam çözüm elde edilemeyeceğine karar verilerek hesaplama durdurulur. Bu durum şu formülle ifade edilir:

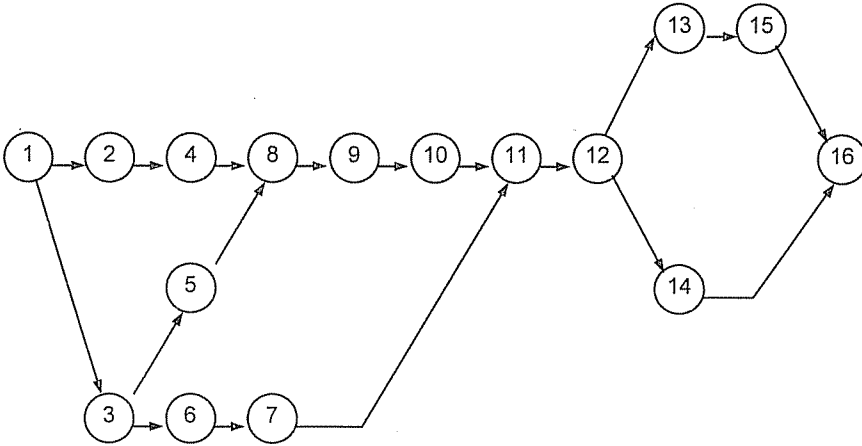
$$TC_{opt} \leq TC_{üst} \quad (14)$$

Daha iyi bir tam çözüm bulunduğunda, bu tam çözümün toplam taşıma maliyeti yeni üst sınır olmalıdır.

4. ÖRNEK UYGULAMA

Geliştirilen yeniden dengeleme dal – sınır algoritmasının etkinliği farklı boyutlardaki örnek problemlerle test edilmiş ve optimum çözüme ulaşılmıştır. Ayrıca, kesme kurallarının çözüm süresini önemli ölçüde azalttığı görülmüştür.

Şekil 4.1.'de bir montaj hattına ait işlemlerin öncelik diyagramı görülmektedir. Başlangıçtaki çevrim süresi 75 sn'dir. Tablo 4.1.'de bu montaj hattının başlangıçtaki denge durumu görülmektedir.



Şekil 4.1. Bir Montaj Hattına Ait İşlemlerin Öncelik Diyagramı

İstasyon Numarası	Kalan Süre	İşlemler
1	75,45,30	1,3
2	75,35,0	2,5
3	75,50,5	4,8
4	75,35,20	6,9
5	75,50,30,0	7,10,11
6	75,50,20	12,13
7	75,50,45,35	15,14,16

$$\text{Hattın şu andaki denge gecikmesi} = \frac{7 * 75 - 415}{7 * 75} * 100 \cong \%21$$

Tablo 4.2.'de işlemlerin yeni süreleri yer almaktadır. Yeni çevrim süresi 60'tır.

İşlemler	Yeni Süreler(sn)	İşlemler	Yeni Süreler(sn)
1	20	9	10
2	25	10	12
3	8	11	26
4	16	12	20
5	22	13	15
6	18	14	3
7	20	15	14
8	35	16	8

$$\text{Hattın bu durumdaki denge gecikmesi} = \frac{7 * 60 - 272}{7 * 60} * 100 \cong \%35$$

Kabul edilen en kötü denge gecikmesi değeri %30 olarak belirlenmiştir. Bu durumda, belirlenen sınırdan daha fazla bir denge gecikmesi söz konusudur ve hattın yeniden dengelenmesi gerekmektedir.

Amaç: Minimum toplam taşıma maliyeti ile yeniden dengelemeyi gerçekleştirmek.

Kısıtlar:

- Çevrim süresi kısıtı: $C' = 60$
- Öncelik kısıtı: Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi işlemlerin öncelik sıralamalarıdır.
- Bölgeleme kısıtı: 7 ve 10 işlemleri, kullanılan donanımların aynı olması nedeniyle kesinlikle aynı istasyonda işlem görmeliler. 14,15 ve 16 işlemleri de kullanılan donanımların aynı olması nedeniyle kesinlikle aynı istasyonda işlem görmeliler. 6

ve 8 işlemleri ise kullanılan donanımların farklı olması nedeniyle kesinlikle farklı istasyonda işlem görmeliler.

- Bölünmeme kısıtı: Bir işlem sadece bir istasyona taşınmalıdır.
- Taşıma kısıtı: 2,3,5 ve 6 işlemleri, sabit donanımlarda faaliyet gördüklerinden taşınamaz işlemlerdir.
- Denge gecikmesi kısıtı: %30, kabul edilebilir en kötü denge gecikmesi değeridir.

(9) bağıntısından yararlanılarak minimum istasyon sayısı $K_{\min} = \left\lceil \frac{272}{60} \right\rceil = 5$ olarak

bulunur.

Dallandırma İşlemi:

Dallandırmaya öncelik kısıtına uygun olarak başlanmalıdır. Bu nedenle, dallandırmaya 1 işlemi ile başlanır. 1 işleminden sonra, taşınamaz işlem olması nedeniyle önce 3 sonra da 2 işlemi ile devam edilir. Daha sonra yine taşınamaz işlem olması nedeniyle 5 işlemi ile dallandırmaya devam edilir. Örneğin, 0→1→3→2→4→5 şeklinde başlayan bir dalın daha fazla dallandırılmasına izin verilmeden kesilmesi gerekmektedir. Ayrıca, çevrim süresini aşmayacak şekilde istasyonlara ayrılmada bölgeleme kısıtına da dikkat edilmelidir. Örneğin, 0→1→3→2→5→4→6→7→8→9 şeklinde başlayan bir dallandırma daha fazla dallandırılmadan kesilmelidir. Kısıtlara uygun bir şekilde dallandırma işlemi bittikten sonra atanmamış hiçbir işlem kalmamalıdır. Kısıtlara rağmen hala elenmesi gereken dallar, kesme kurallarıyla elenir.

Kesme Kurallarının Uygulanması:

i) İşlemin taşınabileceği en geç istasyonun bulunması:

2,3,5 ve 6 işlemleri, taşınamaz işlemler olduklarından kendi istasyonlarında kalırlar. Bu nedenle bu işlemlerin taşıma maliyetleri olmayıp A_2, A_3, A_5 ve $A_6 = \emptyset$ 'dir. Bu durumda taşınabilecek konumdaki işlemler 1,4,7,8,9,10,11,12,13,14,15 ve 16 işlemleri olup bu işlemler için taşınabilecekleri en geç istasyonlar bulunur. Ancak, Şekil 4.1.'de de görüldüğü gibi 2 ve 3 işlemlerinden önce 1 işleminin olması gerekmektedir. 2 ve 3 işlemleri taşınamaz işlemler olduklarından 1 işlemi de mecburen kendi istasyonunda kalacaktır. Dolayısıyla 1 işlemi için taşınabileceği en geç istasyon bulunmasına gerek yoktur.

Kabul edilebilir en kötü denge gecikmesi %30'du. Bağıntı (11)'den yararlanılarak;

$$K_{\text{ist}} = \left\lceil \frac{272}{60 * (1 - 0,30)} \right\rceil = 7 \text{ olarak bulunur.}$$

$K_{\text{ist}} = 7$ durumu, optimum istasyon sayısı için üst sınırı da ifade etmektedir. Bu durumda, optimum istasyon sayısının alt ve üst sınırları şu şekilde ifade edilebilir:

$$K_{\min} = 5 \leq K_{\text{opt}} \leq K_{\text{ist}} = 7$$

ii) Daha önce bulunan dal serisine benzer bir dal serisinin oluşmasının engellenmesi:

Örneğin, $0 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 7 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow 15 \rightarrow 14 \rightarrow 16$ dalı ile $0 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 7 \rightarrow 11$ şeklinde başlayan dalın aslında aynı dallar oldukları görülmektedir. Bu nedenle, $0 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 7 \rightarrow 11$ şeklinde başlayan dalın daha fazla dallandırılmasına izin verilmez. Bu şekilde aynı dalların oluşması engellenmelidir.

iii) Denge gecikmesi için belirtilen değerin aşılmaması:

Kabul edilen en kötü denge gecikmesi %30'du. Bu nedenle, bu problemin çözümünde 7 ya da daha fazla istasyon oluşması engellenmezse denge gecikmesi limiti aşılır. Örneğin, $0 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow 15 \rightarrow 14 \rightarrow 16$ dalında 7 istasyon oluşmaktadır ve dolayısıyla denge gecikmesi %30 sınırı aşılmaktadır. O halde denge gecikmesi %30 sınırını aşan bu tür dalların dallandırılması kesilir. Bu durumda güncelleme yapılır. Bu problemin çözümünde, $K_{\min} = 5 \leq K_{opt} \leq 6$ durumu söz konusudur.

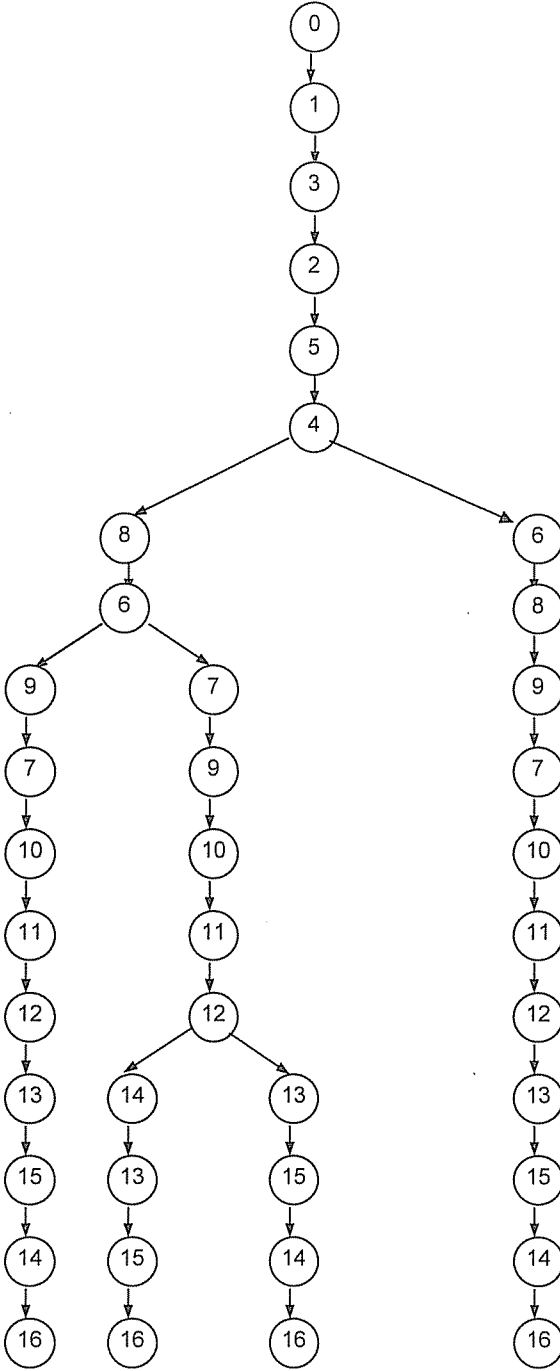
YILMAZ ve EROL

Bu kurallara ve kısıtlara göre bulunan olurlu dallar Şekil 4.2.'de gösterilmektedir.

iv) Optimum toplam taşıma maliyeti için üst sınırın bulunması:

Tablo 4.3.'de işlemlerin diğer istasyonlara taşınmaları durumunda oluşan taşıma maliyetleri görülmektedir. Bu tabloda, maliyet değerleri para birimi cinsindedir ve M çok büyük bir sayıyı ifade etmektedir.

İşlemler	Maliyet Değerleri						
	İstasyon 1	İstasyon 2	İstasyon 3	İstasyon 4	İstasyon 5	İstasyon 6	İstasyon 7
1	0	M	M	M	M	M	M
2	M	0	M	M	M	M	M
3	0	M	M	M	M	M	M
4	M	M	0	1	M	M	M
5	M	0	M	M	M	M	M
6	M	M	M	0	M	M	M
7	M	M	M	1	0	4	M
8	M	M	0	1	1	M	M
9	M	M	M	0	2	M	M
10	M	M	M	1	0	2	M
11	M	M	M	M	0	2	M
12	M	M	M	M	1	0	3
13	M	M	M	M	M	0	3
14	M	M	M	M	5	1	0
15	M	M	M	M	M	2	0
16	M	M	M	M	M	1	0



Şekil 4.2. Sadece Olurlu Dalların Bulunduğu Ağaç Yapısı

Şekil 4.2. ve Tablo 4.3.'den yararlanılarak, çözüm alternatifleri oluşturulur:

Bazı çözüm alternatifleri şunlardır:

İlk alternatif:

İst.-1	İst.-2	İst.-3	İst.-4	İst.-5	İst.-6	İst.-7
1,3	2,5	4,8	6,9	7,10,11	12,13,15,14,16	Kapatıldı

Bu alternatifte, toplam taşıma maliyeti 4'tür. O halde, $TC_{üst} = 4$ 'tür. $TC_{opt} \leq TC_{üst} = 4$ olmalıdır. 4'ten daha az bir toplam taşıma maliyeti bulunduğu anda, yeni üst sınır bulunan bu değer olacaktır.

İkinci alternatif:

İst.-1	İst.-2	İst.-3	İst.-4	İst.-5	İst.-6	İst.-7
1,3	2,5	4,8	6,7,9,10	11,12	13,15,14,16	Kapatıldı

Bu alternatifte ise, toplam taşıma maliyeti 7'dir. $7 > TC_{üst} = 4$ olduğundan hala ilk alternatifte bulunan toplam taşıma maliyeti üst sınırdır ve bu alternatif gözardı edilir.

Bu şekilde tüm çözüm alternatiflerine bakıldığında, optimum çözümün ilk alternatif ¹⁴ ğü görülmektedir. Bu durumda optimum taşıma maliyeti, $TC, = 4$ 'tür. Tablo 4.4.'de optimum yeniden dengeleme durumu görülmektedir.

Tablo 4.4. Optimum Yeniden Dengeleme Durumu

İstasyon Numarası	Kalan Süre	İşlemler
1	60,40,32	1,3
2	60,35,13	2,5
3	60,44,9	4,8
4	60,42,32	6,9
5	60,40,28,2	7,10,11
6	60,40,25,11,8,0	12,13,15,14,16

$$K_{opt} = 6 \text{ olup } D_{opt} = \frac{6 * 60 - 272}{6 * 60} * 100 = \%24,4 < \%30 \text{ 'dir.}$$

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, tek modellenmiş ve deterministik işlem sürelerine sahip montaj hatlarının yeniden dengelenmesi incelenmiştir. Geliştirilen dal-sınır algoritması, optimum çözümü veren bir ağaç yapısı oluşturmaktadır. Ancak, işlem sayıları çok fazla olan büyük montaj hatlarında, ağaç yapısındaki dalların sayısı çok fazla olabilir. Bu durumda,

optimum çözümün kısa sürede elde edilebilmesi için incelenen probleme özgü gereksiz dallanmaları önleyen kesme kuralları geliştirilmiştir. Bu çalışmanın devamı olarak, karma modellenmiş ve/veya stokastik işlem süreli montaj hatlarının yeniden dengelenmesi incelenebilir.

6. KAYNAKLAR

1. Askin, R.G., Standridge, C.R., "Modeling and Analysis of Manufacturing Systems", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1993.
2. Dar-El, E.M., Rubinovitz, J., "Using Learning Theory in Assembly Lines for New Products", *International Journal of Production Economics*, 25, 103-109, 1991.
3. Rachamadugu, R., Talbot, B., "Improving the Equality of Workload Assignments in Assembly Lines", *Int. J. Prod. Res.*, 29, 3, 619-633, 1991.
4. Miltenburg, J., "Balancing U – Lines in a Multiple U – Line Facility", *European Journal of Operational Research*, 109, 1-23, 1998.

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KURUMSAL KARNE UYGULAMASINA DAYALI PERFORMANS YÖNETİM SİSTEMİ KURULMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ*

İsmail DÜNDAR

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

Oya H. YÜREGİR

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

ÖZET : *Günümüzde sadece finansal ölçütlere dayalı olan performans ölçümleri, işletmelerin performanslarını değerlendirmede yeterli olmamaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar göstermiştir ki, finansal ölçütlere dayalı olan performans ölçüm sistemleri, işletmeler için önemli olan faktörlerin ölçülmesinde yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, işletmeler performans ölçüm sistemlerinin tasarımında maliyetle birlikte diğer faktörleri de dikkate almalıdırlar.*

Yapılan bu çalışmanın amacı; PYS(Performans Yönetim Sistemi) kartlarını implemente etmeye çalışan işletmedeki kritik başarı faktörlerini ortaya koymak, BSC(Balanced Scorecard) felsefesinden yararlanarak ilgili sistemi iyileştirmek ve bu sistemin doğruluğunun ve geçerliliğinin test etmektir. Bu çalışma önceki çalışmalarla başlamakta ve performans değerlendirme sistemi literatürünün incelenmesiyle devam etmektedir. Literatür taraması sonucunda elde edilen bilgiler ışığında işletmenin bir bölümünde PYS kartları implemente edilmiş ve kurulan sistem TOPSIS yöntemi ile doğrulanmıştır. Anket çalışması işletme genelinde uygulanarak sonuçlar ve hazırlanan hipotezler SPSS ile analiz ve test edilmiştir. PYS kritik başarı faktörü önem derecesinin çalışanlar açısından önemli bulunmasına rağmen işletmede gerçekleşme düzeyinin yeterli olmadığı sonucu elde edilmiştir.

BUILDING UP AND EVALUATION OF A PERFORMANCE MANAGEMENT SYSTEM BASED ON BALANCED SCORECARD FOR AUTOMOTIVE SECTOR*

ABSTRACT : *Today, performance measurement systems based on only financial criterians are not sufficient to evaluate the performance of private and public buisness enterprises. Current studies show that peformance measurement systems taking only the*

* Yüksek Lisans Tezi- MSc-Thesis

financial measures into consideration are not able to measure the most important factors for operational side. Consequently, operational plants should include other factors besides the financial ones in the foundation of their performance measurement systems.

The objective of this study is to bring up the critical success factors for operations trying to implement Balanced Scorecard, by utilizing BSC philosophy to improve the relevant system and to test its accuracy and effectiveness. This study starts with the examination of past studies and continues with the literature survey about performance management systems. In the light of the datum obtained from literature survey, BSC was implemented in some part of the plant and the system was verified with TOPSIS method. The results obtained from the poll taken from all over the plant personnel and the hypothesis set up were analyzed and tested with SPSS method. Although the level of importance of performance management system critical success factors in plant personnel's opinion was found as adequate, the realization in practice was found insufficient.

1. GİRİŞ

Bugüne kadar kitlesel üretim tarzının getirdiği bir zorunluluk olarak, ürün tasarım ve geliştirme işlemleri için performans ölçüleri geliştirilmeye önem verilmemiştir. Stratejilere yeterli kaynak ve geribildirim desteği, takım ve bireylerin hedefleriyle ilişkilendirilme yeteneği sağlanamadığı için, stratejiler eyleme dönüştürülemedi. Takımların ve bireylerin çalışmaları, özel ve stratejiden kopuk olarak, üst düzey yöneticilerin dikkatini çekmeye yönelik bir şekilde gerçekleşmiştir.

Aslında birer araç olmalarına rağmen, yanlış bir tutumla giderek amaç olarak görülmeyle başlanan kalite artırma, operasyon sürelerinde iyileştirme, teslim sürelerinde kısaltma gibi çalışmalar performansın artmasına yol açarlar, ancak daha iyi finansal sonuçları garantilemezler.

İşletme stratejisi kapsamında büyüme sağlayan konulardan ziyade, maliyet düşüren ve verimlilik artıran konular önem kazanmıştır.

Tek bir coğrafi sınır içerisinde, bir kaç müşteri ve tedarikçiyle ve kendi içine kapalı (izole) bir şekilde çalışan şirketler, dar alanlarda giderek artan uzmanlıklar elde etmişlerdir. Sonuçta, şirketin iç yönetim (departmanların matriks sorumluluklar içinde işleri sahiplenmemesi) sorunları, artan rekabet, genişleyen ticari sınırlar, yaşam süresi azalan ürünler dolayısıyla ile Ar-Ge bütçelerinin giderek büyümesi, müşteri ve tedarikçiden gelen dış baskılar kapıya dayanmıştır.

Değişim hızının ve kaos ortamının giderek arttığı bugünkü ortamda, sadece geçmişte gerçekleşen olaylara dayalı finansal ölçüler yetersiz kalmaktadır. Yine de gerekliliği yadsınmayan bu ölçülerin daha geniş (stratejik boyutlarda: finansman, müşteriler, iç işleyiş yöntemi, öğrenme ve büyüme boyutları) bir kullanım alanı olmasına rağmen, çoğu yerde ve sadece değişik bir taktik geliştirmek için destek bilgi sağlamak ve kısa dönemli operasyonları kontrol edebilmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada performans yönetimi olarak kullanılan sistemlerin çeşitliliği, şirketin misyon ve stratejisini fiziksel ölçüler haline dönüştürerek ifade etmenin önemi ortaya konmak istenmektedir. Performans Ölçüm Teknikleri hakkında 1994'ten beri, her gün 5 saate bir rapor ya da makale yayınlanmaktadır (1).

1998’de 45, 2000’de 73 ve 2002’de 154 atıf ile, bu konuda en çok atıf yapılan araştırmacı Robert Kaplan’dır. David Norton ve Andy Neely 2. ve 3. sırada yer almaktadır. Bunları Mike Gregory, Ken Iatso ve Robert Eccles izlemektedir (2). Bu 3 yılda, en çok atıf yapılan yayınlar Kaplan ve Norton’un 1996’da yayınladığı “The Balanced Scorecard-Translating Strategy into Action” kitabı ve 1992’de Harvard Business Review’de yayınladıkları ve BSC’yi tanıtan makaleleridir .

Araştırmalar BSC’nin BPM(Business Performance Measurement) alanında en çok etkisi bulunan yapı olduğunu göstermektedir. 2002 yılında makalelerin dörtte üçü BSC konseptine atıfta bulunmuştur. Buna karşılık 2000 yılında makalelerin sadece yarısı BSC ye atıf yapmıştır (2). Bu da BSC’nin yayılma hızının iyi bir göstergesidir. 2000 yılında en çok atıf yapılan yayın ise; Neely’nin 1998’de yayınladığı “Performance Measurement-Why, What and How” adlı kitabıdır.

1880’li yıllar ile 1980’li yıllar arasında kâr, yatırımların geri dönüşümü, verimlilik gibi finansal ölçütler üzerinde odaklanılmıştır. Dünya pazarlarındaki değişimlerin sonucu olarak 1980’li yılların sonunda başlamıştır (3). 1970’li yılların sonları ile birlikte ve 1980’li yıllarda; araştırmacılar, muhasebe temelli performans ölçüm sistemlerinin eksikliklerini belirleyerek bu sistemlerin yetersizliklerini vurgulamışlardır. 1980’li yılların sonu ve 1990’lı yılların başında, geleneksel performans ölçüm sistemlerinden memnuniyetsizlik, “dengeli” ve “çok boyutlu” performans ölçümlerinin temellerinin oluşturulmasını sağlamıştır (4).

Balanced Scorecard literatüre 1992 yılında Harvard Business Review’de yayımlanan: “The Balanced Scorecard – Measures That Drive Performance (Balanced Scorecard - Başarıya Yön Veren Ölçütler) adlı makaleyle girmiştir. Bu makaleyi yazar Robert S. Kaplan ve David P. Norton 1993 yılında aynı dergide “Putting the Balanced Scorecard to Work (Balanced Scorecard’ı Uygulamak)” adlı makaleyi yayınlamışlardır (5).

Yaptıkları çalışmalarla Balanced Scorecard’ı daha da geliştirmişler ve 1996 yılında “Using Balanced Scorecard as a Strategic Management System (Balanced Scorecard’ın Stratejik Yönetim Sistemi Olarak Kullanılması)” adlı makaleyle bu metodolojiyi sunmuşlardır. Kaplan ve Norton’un 1996 yılında yazdıkları “Balanced Scorecard” adlı kitap, 1999 yılında Türkçe’ye çevrilmiştir. Bu kitapta yazarlar Balanced Scorecard’ı; “şirket stratejilerini eyleme dönüştürmenin yöntemi” olarak sunulmaktadırlar (6).

Kurumsal Karne yaklaşımı; 1993 yılından sonra en önemli yönetim araçlarından birisi haline gelmiş ve Fortune 1000 şirketlerinin % 60’ında ve dünyanın en güçlü 300 bankasında uygulamaya alınmıştır.

Çizelge 1. Performans Yönetim Kronolojisi (KPMG,2001)

Başlangıç Tarihi	Ölçüm Alanları	ilk Savunular	Kapsamı
20.yüzyıl öncesi	Finansal	Bir çok	Özel ve kamu teşebbüslerinin başarısı için finansal alandaki performans ölçümlerinin değerlendirilmesi
1990'ların başlarında	Ana Prosesler	Frederick Taylor ve Frank ve Lillian Gilberth	
1930 - 1940 arası	Operasyonel Prosesler	W.Edwards Deming ve Walter E. Shewart	Kurumsal Karne(BSC)'den önce sebep sonuç ilişkilerini tanımayan gösterge tabloları oluşturur
1964 ve sonrası	İnsan Kaynakları Yönetim Muhasebesi	Roger H.Hermanson ve diğerleri	Değişkenlik konseptini ve kaynaklarını araştırır ve bugünkü ve gelecekteki performans arasında ilişki kurar
1970 ve sonrası	Senaryo Planlama	Bir çok	Yönetimsel ve finansal kararlara girdi sağlamak insanın ekonomik değerini ölçer
1990'lar	Kurumsal Karne (Balanced Scorecard)	Robert S. Kaplan ve David P.Norton	Organizasyonlara bugünkü durumu modellemelerini ve organizasyonları üzerindeki etkilerini değerlendirmelerini sağlayacak teknikler içerir.
1994	Ekonomik Katma Değer (Economic Value Added)	Stern, Stewart & Company	Değer katan veya katmayan faaliyetleri açıklar.
1997	Entelektüel Sermaye Yaklaşımları	Bontis, Edvinsson, Malone, Roos & Roos	Organizasyonel değer yaratmada katkıda bulunan soyut kaynaklar için entegre bir yapıdaki ölçüm.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Materyal

Seçilen örnek grup için hazırlanan performans kartlarının sonuçları çalışmada kullanılan bir materyaldir. Performans kartları birim, bölüm ve takım bazında hazırlanmıştır. Toplam 13 performans kartı oluşturulmuştur. Performans kartları şirketin vizyon ve stratejileri doğrultusunda hazırlanmış alt kademelere kadar indirgenmiştir. Bu nedenle hedeflerin yayılımı gerçekleşmiştir.

Anket sonuçları çalışmada kullanılan materyaldir. Anketler elektronik posta, yüz yüze görüşme yoluyla uygulanmış ve 139 anket geçerli sayılmıştır. Literatür taramasına dayandırılarak oluşturulan anket soruları çalışanlara uygulamak üzere kullanılmıştır. Anketlerin güvenilirliğinin tespitinde birbirine benzer nitelikte olan sorulara verilmesi beklenen benzer cevaplar arasındaki ilişki test edilerek anket cevaplarının güvenilir olduğu tespit edilmiştir. İşletmede çalışan insanlar için 2 tip anket tasarlanmıştır. 1. tip Mavi yakalı çalışanların doldurması için hazırlanan anket; bu ankette genel olarak çalışanların performans yönetim sistemlerinin temel kriterleri ve şirket hedefleri ile ilgili çalışan açısından önem derecesi ve işletmede ki gerçekleşme düzeyi tespit edilmesi amaçlanmıştır. 2. tip Beyaz yakalı çalışanların doldurması için hazırlanan anket ; bu ankette genel olarak çalışanların performans yönetim sistemlerinin temel kriterleri ve şirket hedefleri ile ilgili çalışan açısından önem derecesi ve işletmede ki gerçekleşme düzeyine ek olarak performans yönetim sistemi uygulamasında kritik aktivitelerin değerlendirilmesi istenmiştir. Geri dönen anket sayısı 139 iken bu rakam ihtiyaç duyulan örneklem büyüklüğüne ulaşıldığını göstermektedir. Cevaplanan anketlerin % 58,9'u performans kartlarının uygulandığı bölümden, % 23,2'si

performans kartlarının uygulanmadığı bölümlerden ve % 17,9 ise beyaz yaka olarak çalışan kişilerden oluşmaktadır.

2.2. Metod

Yapılan çalışmada izlenen metodoloji; konu ile ilgili literatür çalışmasının yapılması, Literatür taraması sonucunda elde edilen bilgiler ışığında işletmenin bir bölümünde PYS kartları implemente edilmesi ve kurulan sistem TOPSIS yöntemi ile doğrulanması, anket sorularının düzenlenmesi, anketlerin belirlenen kitleye uygulanması, anket cevaplarının SPSS For Windows 12. Versiyonda kodlanması, istatistiki analizlerin yapılması ve elde edilen sonuçların değerlendirilerek yorumlanması şeklindedir. Hipotezlerin test edilmesinde Ki-kare testi (Pearson) ve korelasyon analizi (Pearson korelasyon katsayısı kullanılarak) yapılmıştır.

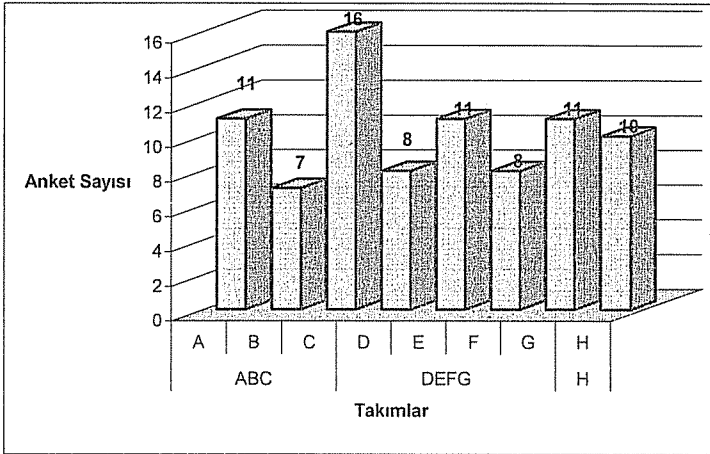
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Anketler elektronik posta ve yüz yüze görüşme yoluyla uygulanmış ve 139 anket geçerli sayılmıştır. Anket çalışmalarında geri dönüş oranının % 10-20 olduğu bilinmektedir. Anket bölümlere göre Çizelge 1'de gösterilmektedir. X birim PYS uygulanan ve Y birimi ise PYS uygulanmayan olmak üzere kategorilendirilip; PYS uygulanan, PYS uygulanmayan ve beyaz yaka olmak üzere 3 sınıfta analiz yapılmıştır.

Çizelge 2. Anketlerin Bölümlere Göre Dağılımı

Kategori	Anket Sayısı	Yüzde (%)
PYS uygulanan (mavi yaka)	82	59
PYS uygulanmayan (mavi yaka)	32	23
Beyaz Yaka	25	18
TOPLAM	139	100

Yapılan çalışmada PYS uygulanan takımlara göre dağılımı Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Takımlara Göre Gelen Anketlerin Dağılımı

Anket sonuçlarını incelediğimizde 5 yıldan az tecrübeye sahip olanların ankete katılanların % 79'unun oluşturduğu görülmektedir. Bu oran PYS uygulanan bölümde % 79,2'si uygulanmayan bölümde % 77,5 oranında değişmektedir.

Ankete katılanları %59'u iş tecrübelerinin ilgili firmada gerçekleştiğini söylemektedirler. % 41'i ise ilgili firma dışında başka yerlerde de iş tecrübesi olduğunu belirtmiştir. Bu büyük bir çoğunluğun ilk iş tecrübesi olarak ilgili firmayı tercih ettiğini gösteriyor. Firmanın kurumsal yapısı, firma kültürü buna etken olabilir.

Ankete katılanların eğitim düzeylerini incelediğimizde; %4,3'ünün ortaokul mezunu, % 55,4'ünün meslek lisesi, %25,2'sinin meslek yüksek okulu, % 12,2'sinin üniversite ve % 2,2'sinin master'ını yaptığını görmekteyiz. Mavi yakalılar içerisinde ankete katılanların % 94'ü meslek lisesi veya meslek yüksek okulu mezunu bu da bize çalışanların eğitim seviyesinin yüksek olduğunu gösteriyor. Bu da firmanın işe alma politikasından kaynaklanabilir.

Çizelge 3. Çalışanların işletme vizyonuna verdikleri önem ve işletmede gerçekleşme düzeyi arasındaki ilişki

Örnek Büyüklüğü		Vizyonunun önemi?			İşletmede gerçekleşmesi?			
		Önemsiz (≤ 3)	Önemli (>3)	Toplam	Yok (≤ 3)	Var (>3)	Bilgim Yok	Toplam
PYS uygulanan	Sayı	2	79	81	23	43	12	78
	% Kendi içinde	2,5%	77,5%	100%	29,5%	55,1%	15,4%	100%
	%Toplam içinde	1,5%	57,7%	59,2%	17,3%	32,3%	9%	58,6%
PYS uygulanmıyavanan	Sayı	2	29	31	15	10	7	32
	% Kendi içinde	6,5%	93,5%	100%	46,9%	31,3%	21,9%	100%
	%Toplam içinde	1,5%	21,1%	22,6%	11,4%	7,6%	5,3%	24,1%
Beyaz Yaka	Sayı	0	25	25	10	11	2	23
	% Kendi içinde	0	100%	100%	43,4%	47,8%	8,7%	100%
	%Toplam içinde	0	18,2%	18,2%	7,6%	8,3%	1,5%	17,3%
Toplam	Sayı	4	133	137	48	64	21	133
	% Kendi içinde	3%	97%	100%	36,1%	48,1%	15,8%	100%
	%Toplam içinde	3%	97%	100%	36,1%	48,1%	15,8%	100%

Genel olarak çalışanlara vizyonun önemi sorulduğunda çalışanların %97'si vizyonun önemli olduğunu, %3'ü ise önemsiz olduğunu düşünmektedir. İşletmede vizyonun gerçekleşme düzeyi sorulduğunda % 51.9'u uygulanmadığını veya bilgisinin olmadığını bildirmiştir. Bu yüksek oran işletme vizyonunun çalışanlar ile paylaşılmadığı şeklinde yorumlanabilir.

Çizelge 4. Çalışanların işletme stratejine verdikleri önem ve işletmede gerçekleşme düzeyi arasındaki ilişki

Örnek Büyüklüğü		Stratejinin önemi?			İşletmede gerçekleşmesi?			
		Önemsiz (≤3)	Önemli (>3)	Toplam	Yok(≤3)	Var(>3)	Bilgim Yok	Toplam
PYS uygulanan	Sayı	0	80	80	22	51	6	79
	% Kendi içinde	0	100%	100%	27,9%	64,5%	7,6%	100%
	%Toplam içinde	0	58,8%	58,8%	16,6%	38,3%	4,5%	59,4%
PYS uygulanmayan	Sayı	4	27	31	15	7	9	31
	% Kendi içinde	12,9%	87,1%	100%	48,4%	22,6%	29%	100%
	%Toplam içinde	2,9%	19,9%	22,8%	11,2%	5,3%	6,8%	23,3%
Beyaz Yaka	Sayı	0	25	25	10	11	2	23
	% Kendi içinde	0	100%	100%	43,5%	47,8%	8,7%	100%
	%Toplam içinde	0	18,4%	18,4%	7,5%	8,3%	1,5%	17,3%
Toplam	Sayı	4	132	136	47	69	17	133
	% Kendi içinde	2,9%	97,1%	100%	35,3	51,9%	12,8%	100%
	%Toplam içinde	2,9%	97,1%	100%	35,3	51,9%	12,8%	100%

Genel olarak çalışanlara stratejinin önemi sorulduğunda çalışanların % 97,1'i stratejinin önemli olduğunu, % 2,9'u ise önemsiz olduğunu düşünmektedir. İşletmede stratejinin gerçekleşme düzeyi sorulduğunda % 48,1'i uygulanmadığını veya bilgisinin olmadığını bildirmiştir. Çıkan sonuçlar bize işletmenin vizyon ve stratejisinin çalışanlarla yeterli derecede paylaşılmadığı şeklinde yorumlanabilir.

Çizelge 5. Beyaz yaka çalışanların PYS uygulamasındaki kritik aktivitelere verdikleri önem derecesi ve işletmede gerçekleşme düzeyi arasındaki ilişki

Kritik Aktiviteler		ÖNEM DERECESİ			İŞLETMENİZDE GERÇEKLEŞME DÜZEYİ			
		Önemli (≤3)	Önemli (>3)	Toplam	Gerçekleşmedi (≤3)	Gerçekleşti (>3)	Bilgi yok	Toplam
İşletme vizyonunun ve kurum stratejisinin bulunması(1)	Frekans	0	25	25	10	11	2	23
	Yüzde %	0%	100%	100%	43,5%	47,8%	8,7%	100%
İşletme üst yönetiminin destek sağlaması(2)	Frekans	0	25	25	8	12	3	23
	Yüzde %	0%	100%	100%	34,8%	52,2%	13,0%	100%
Bölüm/fonksiyon yöneticisinin destek sağlaması(3)	Frekans	0	24	24	4	15	3	22
	Yüzde %	0%	100%	100%	18,2%	68,2%	13,6%	100%
PERFORMANS YÖNETİMİ SİSTEMİ (PYS) amaç ve hedeflerinin saptanmış olması(4)	Frekans	2	23	25	10	7	6	23
	Yüzde %	8%	92%	100%	43,5%	30,4%	26,1%	100%
PYS'e kurulum süresince yeterli bütçe ayrılmış olması(5)	Frekans	10	15	25	10	3	9	22
	Yüzde %	40%	60%	100%	45,5%	13,6%	40,9%	100%
İmplementasyon için detaylı PYS planının bulunması(6)	Frekans	5	17	22	10	4	10	24
	Yüzde %	22,7%	77,3%	100%	41,7%	16,7%	41,7%	100%
PYS için yeterli bilgi ve deneyime sahip elemanlar olması(7)	Frekans	7	18	25	12	4	7	23
	Yüzde %	28%	72%	100%	52,2%	17,4%	30,4%	100%
PYS'nin sahibi bir birimin olması(8)	Frekans	12	13	25	11	4	7	22
	Yüzde %	48%	52%	100%	50%	18,2%	31,8%	100%
İşletme ve bölüm Kritik Başarı Faktörlerinin belirlenmiş olması(9)	Frekans	3	21	24	10	5	8	23
	Yüzde %	12,5%	87,5%	100%	43,5%	21,7%	34,8%	100%
PYS ile ilgili etkin iletişim sisteminin kurulmuş olması(10)	Frekans	4	21	25	13	4	7	24
	Yüzde %	16%	84%	100%	54,2%	16,7%	29,2%	100%
PYS ile ilgili yeterli danışmanlık desteğinin alınması(11)	Frekans	10	14	24	11	3	9	23
	Yüzde %	41,7%	58,3%	100%	47,8%	13,0%	39,1%	100%
PYS için yeterli eğitimin alınması(12)	Frekans	5	20	25	11	3	9	23
	Yüzde %	20%	80%	100%	47,8%	13,0%	39,1%	100%
Kurum kültürünün PYS 'yi destekleyici olması(13)	Frekans	6	19	25	12	3	8	23
	Yüzde %	24%	76%	100%	52,2%	13,0%	34,8%	100%
PYS ile ödül sistemi arasında bağlantı kurulmuş olması	Frekans	11	14	25	9	6	8	23
	Yüzde %	44%	56%	100%	39,1%	26,1%	34,8%	100%
Performans ölçütlerinin takım veya departman ile ilişkilendirilmesi(14)	Frekans	6	19	25	9	7	7	23
	Yüzde %	24%	76%	100%	39,1%	30,4%	30,4%	100%
Etkin değişim yönetimi ile PYS'ye olan direncin yok edilmesi(15)	Frekans	4	19	23	10	2	12	24
	Yüzde %	17,4%	82,6%	100%	41,7%	8,3%	50,0%	100%
PYS'nin etkin implementasyonu için bir yazılım kullanılması(16)	Frekans	12	13	25	9	2	11	22
	Yüzde %	48%	52%	100%	40,9%	9,1%	50,0%	100%
Varolan bilişim sisteminin PYS'yi destekliyor olması(17)	Frekans	11	13	24	9	3	11	23
	Yüzde %	45,8%	54,2%	100%	39,1%	13,0%	47,8%	100%
Toplam	Ortalama Frekans	6,00	18,50	24,50	9,89	5,44	7,61	22,94
	% Kendi içinde	24%	76%	100%	43%	24%	33%	100%
	% Toplam içinde	24%	76%	100%	43%	24%	33%	100%

Çizelge 4’de beyaz yaka çalışanların PYS uygulamasındaki kritik aktivitelere verdikleri önem derecesi ve işletmede gerçekleşme düzeyi arasındaki ilişki sorgulanmıştır. Analizler sonucunda:

“İşletme vizyonunun ve kurum stratejisinin bulunması” kriterine verilen cevaplar analiz edildiğinde ankete katılanların % 100’ünün önemli olduğunu düşünmektedir. İşletmedeki gerçekleşme düzeyi ise % 48’ler seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir.. Önem seviyesinin % 100 çıkması çalışanlar tarafından vizyon ve stratejinin önemini benimsendiğini göstermektedir. Gerçekleşme düzeyini incelediğimizde beyaz yakalı çalışanlar tarafından strateji ve vizyonun işletmede tam olarak gerçekleşmediği şeklinde yorumlanabilir.

“İşletme üst yönetiminin destek sağlaması” kriterine verilen cevaplar analiz edildiğinde ankete katılanların % 100’ü önemli olduğunu düşünmektedir. İşletmedeki gerçekleşme düzeyi ise % 52’ler seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Önem seviyesinin % 100 çıkması çalışanlar açısından üst yönetim desteğinin sistemin işleyişini sağlayan temel indikatör olarak değerlendirildiği belirtilebilir. Gerçekleşme düzeyi açısından ise üst yönetim tarafından yeterli desteğin sağlanmadığı görülmektedir.

“Bölüm/fonksiyon yöneticisinin destek sağlaması” kriterine verilen cevaplar analiz edildiğinde ankete katılanların % 100’ü önemli olduğunu düşünmektedir. İşletmedeki gerçekleşme düzeyi ise % 68’ler seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Önem seviyesinin % 100 çıkması çalışanlar açısından üst yönetim desteği gibi ilgili birim ve bölüm yöneticilerin desteğinin önemli olduğu belirtilebilir. Gerçekleşme düzeyi üst yönetimin desteğine göre oranı yüksek. Bu da orta kademe yöneticilerin ilgili sistemin işleyişi için yeterli desteği sağladığı şeklinde yorumlanabilir.

“Performans Yönetimi Sisteminin (PYS) amaç ve hedeflerinin saptanmış olması” kriterine verilen cevaplar analiz edildiğinde ankete katılanların % 92’si önemli olduğunu düşünmektedir. İşletmedeki gerçekleşme düzeyi ise %30’lar seviyesinde gerçekleşmiştir. Önem seviyesi açısından tüm çalışanlar açısından önemli bulunduğu şeklinde yorumlanabilir. Bunun sebebi de amaç ve hedefleri belirlenmemiş bir sistemi yönetmek ve sürekliliğini sağlamak mümkün değildir. Gerçekleşme düzeyi açısından da son derece düşük bir oran gerçekleşmiştir. Bu da mevcut sistemin en zayıf noktası olarak ortaya çıkmaktadır.

“PYS’e kurulum süresince yeterli bütçe ayrılmış olması” kriterine verilen cevaplar analiz edildiğinde ankete katılanların % 60’ı önemli olduğunu düşünmektedir. İşletmedeki gerçekleşme düzeyinin ise % 14’ler seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Önem seviyesi açısından önemli olduğu söylenebilir. Gerçekleşme düzeyi son derece düşük bir oran gerçekleşmiştir. Bu da ilgili sistemin kurulumu sırasındaki aksiyon planları içerisinde bütçe faaliyetlerinin yer almamasından kaynaklanabilir.

“İmplementasyon için detaylı PYS planının bulunması” kriterine verilen cevaplar analiz edildiğinde ankete katılanların % 77’si önemli olduğunu düşünmektedir. İşletmedeki gerçekleşme düzeyi ise % 17’ler seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Önem seviyesine göre gerçekleşme seviyesi düşüktür. Bir önceki kriterin değerlendirilmesinde görüldüğü gibi aksiyon planı hazırlanırken çok boyutlu düşünmek

gerekir. Bazı faaliyetlerin aksiyon planı içerisinde yer almaması sistemin geçerliliğini zayıflatabilir.

“PYS için yeterli bilgi ve deneyime sahip elemanlar olması” kriterine verilen cevaplar analiz edildiğinde ankete katılanların % 72’si önemli olduğunu düşünmektedir. İşletmedeki gerçekleşme düzeyi ise % 18’ler seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Sistemin implemente aşamasında yeterli bilgi ve deneyime sahip elemanların bulunması sistemin işletilmesi sırasında çıkacak sorunları daha hızlı bir şekilde çözülmesine yardımcı olabilecektir.

“PYS’nin sahibi bir birimin olması” kriterine verilen cevaplar analiz edildiğinde ankete katılanların % 52’si önemli olduğunu düşünmektedir. İşletmedeki gerçekleşme düzeyi ise % 18’ler seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Önem seviyesine göre yeterli desteği alamadığı görülmektedir. Sistemin bir ekip kontrolünde işletilmesi sistemin yönetimini daha da kolaylaştıracaktır. Veriler tek bir birim tarafından toplanması analiz edilmesi, raporlanması önemlidir.

“İşletme ve bölüm Kritik Başarı Faktörlerinin belirlenmiş olması” kriterine verilen cevaplar analiz edildiğinde ankete katılanların % 88’i önemli olduğunu düşünmektedir. İşletmedeki gerçekleşme düzeyi ise % 22’ler seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Görüldüğü gibi çalışanların büyük bir çoğunluğu sistemin KBF’lerin belirlenmesini önemli bulmaktadır. Sistemin analizinde KBF’ler önemli bir yer tutmaktadır.

“PYS ile ilgili etkin iletişim sisteminin kurulmuş olması” kriterine verilen cevaplar analiz edildiğinde ankete katılanların % 85’i önemli olduğunu düşünmektedir. İşletmedeki gerçekleşme düzeyi ise % 15’ler seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Sistemin kullanıcı ile işleticisi arasında etkin iletişim ağının kurulması kullanıcılardan gelecek geri beslemeler sayesinde sistemin performansının yükseltilmesi sağlanabilir.

“PYS ile ilgili yeterli danışmanlık desteğinin alınması” kriterine verilen cevaplar analiz edildiğinde ankete katılanların % 58’i önemli olduğunu düşünmektedir. İşletmedeki gerçekleşme düzeyi ise % 13’ler seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Eğer PYS için yeterli bilgi ve deneyime sahip elemanlar varsa danışmanlık firmasından alınan desteğe gerek kalmayabilir.

“PYS için yeterli eğitimin alınması” kriterine verilen cevaplar analiz edildiğinde ankete katılanların % 80’i önemli olduğunu düşünmektedir. İşletmedeki gerçekleşme düzeyi ise %13’ler seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. PYS planlarında öncelikli olarak düşünülmesi gereken bir kriter olarak ortaya çıkmaktadır. Kullanıcıların sistemin işleyişi sağlayabilmeleri için PYS hakkında eğitimleri almış olmaları gerekmektedir.

“Kurum kültürünün PYS ‘yi destekleyici olması” kriterine verilen cevaplar analiz edildiğinde %76 önemli olduğunu düşünüyor. İşletmedeki gerçekleşme düzeyi ise %13’ler seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir.

“PYS ile ödül sistemi arasında bağlantı kurulmuş olması” kriterine verilen cevaplar analiz edildiğinde ankete katılanların % 56’sı önemli olduğunu düşünmektedir. İşletmedeki gerçekleşme düzeyi ise % 26’lar seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. PYS ile ödül sistemi arasında bağlantı kurulmuş olması çalışanları sistemin işletilmesi konusunda teşvik ederek sisteme olan adaptasyon süresini de kısaltabilecektir.

“Performans ölçütlerinin takım veya departman ile ilişkilendirilmesi” kriterine verilen cevaplar analiz edildiğinde ankete katılanların % 76’sı önemli olduğunu düşünmektedir. İşletmedeki gerçekleşme düzeyi ise % 30’lar seviyesinde gerçekleştiği

görülmektedir. PYS sisteminin temel felsefesindeki hedeflerin yayılımı için son derece önemli bir kriterdir. Mevcut strateji ve vizyonu eyleme dönüştürülmesi isteniyorsa bunu gerçekleştirecek kişiler ile bu bağlantının kurulması gerekmektedir.

“Etkin değişim yönetimi ile PYS’ye olan direncin yok edilmesi” kriterine verilen cevaplar analiz edildiğinde ankete katılanların % 83’ü önemli olduğunu düşünmektedir. İşletmedeki gerçekleşme düzeyi ise % 8’ler seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Hangi sistemi kurarsanız kurun sisteme direnci yaşayabilirsiniz. Bu kurum kültüründen de kaynaklanabilir. Eğer esnek bir yapınız yoksa kurulacak sisteme bakış açınız son derece temkinli olacaktır. Etkin değişim yönetimi ile esnekliğin sağlanabilmesi gerçekleşebilir.

“PYS’nin etkin implementasyonu için bir yazılım kullanılması” kriterine verilen cevaplar analiz edildiğinde ankete katılanların % 52’si önemli olduğunu düşünmektedir. İşletmedeki gerçekleşme düzeyi ise % 9’lar seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Yazılıma duyulan önemin düşük oranda gerçekleşmesi daha önce PYS sistemi için kullanılan yazılımların başarısızlığından kaynaklanabilir.

“Varolan bilişim sisteminin PYS’yi destekliyor olması” kriterine verilen cevaplar analiz edildiğinde ankete katılanların % 54’ü önemli olduğunu düşünmektedir. İşletmedeki gerçekleşme düzeyi ise % 13’ler seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. PYS sistemini şirket genelinde uygulamak istiyorsanız ve sisteminizin hızlı, etkin ve kullanışlı olmasını istiyorsanız kuracağınız sistemin yazılımla desteklenmesi gerekmektedir. Bu yazılım içinde varolan bilişim sisteminizin uygun olması gerekmektedir.

Genel olarak durumu analiz ettiğimizde PYS ile ilgili kritik aktivitelerin beyaz yakalı çalışan personel tarafından değerlendirildiğinde yaklaşık % 76’sı aktivitelerin önemli olduğunu düşünmektedir. Yaklaşık % 76’sı bilgisayarın olmadığını veya gerçekleşmediğini belirtmiş. Bu da mevcut sistemin yeterince istenilen noktada olmadığını zayıf noktalarını bünyesinde barındırdığını göstermektedir. Yapılması gereken mevcut sistemi tekrar gözden geçirmek problemleri ortaya koyarak kök nedenlerini bulmaktır. Sistemin tekrar işletilmesi için aksiyon planının hazırlanması ve uygulanması gerekmektedir. Analizler ve değerlendirmeler sonucunda iyileşme oranına bakılarak sistemin geçerliliği analiz edilebilir.

Çizelge 5’de beyaz yaka çalışanların PYS uygulamasındaki kritik aktivitelere verdikleri önem derecesi ve işletmede gerçekleşme düzeyi arasındaki ilişki sorgulandığında;

“Vizyonun açıklanması” kriterine verilen cevaplar analiz edildiğinde ankete katılanların % 84’ü önemli olduğunu düşünmektedir. İşletmedeki gerçekleşme düzeyi ise % 44’ler seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Bu oran oldukça düşüktür. Vizyon ve stratejiyi eyleme dönüştürecek kişiler o şirketin çalışanlarıdır. Vizyonun açıklanması konusunda çalışanların % 56’sı olumsuz düşünüyorsa şirketin vizyon ve stratejisini eyleme dönüştürmesi mümkün olmaz.

“Orta kademe yöneticilere stratejinin anlatılması” kriterini analiz ettiğimizde ankete katılanların % 83’ü önemli olduğunu düşünürken firmada gerçekleşme düzeyinin % 20’ler seviyesinde gerçekleştiğini görülmektedir. Şirkette üst yönetimle çalışanlar arasındaki iletişimi orta kademe yöneticilerinin üstlendiği bilinmektedir. Onların

PYS'ye olan inancı ve güveni tam olmasa sistemin işletilmesi mümkün gözükmemektedir.

Çizelge 6. Beyaz yaka çalışanların PYS uygulamasındaki kritik aktivitelere verdikleri önem derecesi ve işletmede gerçekleşme düzeyi arasındaki ilişki.

Kritik Aktiviteler		ÖNEM DERECESİ			İŞLETMENİZDE GERÇEKLEŞME DÜZEYİ			
		Önemsiz (<3)	Önemli (>3)	Toplam	Gerçekle şmedi (<3)	Gerçekle şti (>3)	Bilgin yok	Toplam
Vizyonun Açıklanması (18)	Frekans	4	21	25	7	10	6	23
	Yüzde %	16	84	100	30	44	26	100
Orta Kademe Yöneticilere Stratejinin Anlatılması (19)	Frekans	4	20	24	10	5	8	23
	Yüzde %	17	83	100	43	22	35	100
İşletme Birimlerinin Kurum Karnelerini oluşturmak (20)	Frekans	7	17	24	7	3	12	22
	Yüzde %	29	71	100	32	14	55	100
Stratejik önemi olmayan yatırımların elenmesi (21)	Frekans	6	17	23	8	3	12	23
	Yüzde %	26	74	100	35	13	52	100
Kurumsal değişim programlarının başlatılması (22)	Frekans	6	18	24	9	4	10	23
	Yüzde %	25	75	100	39	17	43	100
İşletme birimlerinin Kurum Karnelerini denetlemek (23)	Frekans	7	16	23	6	6	11	23
	Yüzde %	30	70	100	26	26	48	100
Vizyonun Netleştirilmesi (23)	Frekans	3	22	25	8	7	8	23
	Yüzde %	12	88	100	35	30	35	100
PYS'nin tüm kuruluş çapında duyurulması (24)	Frekans	6	19	25	11	6	6	23
	Yüzde %	24	76	100	48	26	26	100
Kişisel performans hedeflerini belirlemek (25)	Frekans	1	23	24	8	9	4	21
	Yüzde %	04	96	100	38	43	19	100
Uzun dönemli plan ve bütçenin güncelleştirilmesi (26)	Frekans	7	16	23	10	2	10	22
	Yüzde %	30	70	100	45	10	45	100
Aylık ve 3'er aylık değerlendirme yapılması (27)	Frekans	3	21	24	10	3	9	22
	Yüzde %	13	88	100	45	14	41	100
Yıllık strateji değerlendirmeleri yapmak (28)	Frekans	4	20	24	6	7	9	22
	Yüzde %	17	83	100	27	32	41	100
Herkesin performansının PYS'ye bağlanması (29)	Frekans	6	18	24	9	4	9	22
	Yüzde %	25	75	100	41	18	41	100
Genel uygulamaya geçmeden önce pilot uygulamayı yapmak (30)	Frekans	5	19	24	8	5	9	22
	Yüzde %	21	79	100	36	23	41	100
Toplam	Ortalama Frekans	4,93	19,07	24	8,36	5,29	8,79	22,43
	% Kendi içinde	20,54	79,46	100	37,26	23,57	39,17	100
	%Toplam içinde	20,54	79,46	100	37,26	23,57	39,17	100

“İşletme birimlerinin kurum karnelerini oluşturmak” kriterini analiz ettiğimizde beyaz yaka çalışanların % 71'i önemli olduğunu düşünürken firmada gerçekleşme düzeyinin % 14'ler seviyesinde gerçekleştiğini görülmektedir. Şirketin stratejisi ve

vizyonu doğrultusunda hedefleri alt kademelere kadar indirmezseniz hedeflere ulaşmanız mümkün olmayabilir. Bunu bir yöntemi de PYS kartları (kurum karneleri)'nin oluşturulmasıdır.

“Stratejik önemi olmayan yatırımların elenmesi” kriterini analiz ettiğimizde ankete katılanların %74’ü önemli olduğunu düşünürken firmada gerçekleşme düzeyinin %13’ler seviyesinde gerçekleştiğini görülmektedir. Eğer şirket stratejisi eyleme dönüştüreceksek o paralelde faaliyetleri de planlamak gerekmektedir.

“Kurumsal değişim programlarının başlatılması” kriterini analiz ettiğimizde ankete katılanların %75’i önemli olduğunu düşünürken firmada gerçekleşme düzeyinin %17’ler seviyesinde gerçekleştiğini görülmektedir. PYS kartları (kurumsal karne) işletme birimleri arasında ortak değişim programının gerekliliğini ortaya koyar. İşletme birimleri PYS kartlarını hazırlarken bu programlar devreye sokulur.

“İşletme birimlerinin kurum karnelerini denetlemek” kriterini analiz ettiğimizde ankete katılanların % 70’i önemli olduğunu düşünürken firmada gerçekleşme düzeyinin % 26’lar seviyesinde gerçekleştiğini görülmektedir. Üst yönetim oluşturulan PYS kartlarını denetlemesi gerekmektedir. Bu denetleme üst yönetiminde işletme biriminin stratejisini belirleme sürecine katılımı sağlar. İlgili firmada çalışanlar bu konunun önemli olduğunu düşüncelerine rağmen firmada gerçekleşme düzeyi açısından aynı şekilde yorumlanamayabilir.

“Vizyonun Netleştirilmesi” kriterini analiz ettiğimizde ankete katılanların % 80’i önemli olduğunu düşünürken firmada gerçekleşme düzeyinin % 30’lar seviyesinde gerçekleştiğini görülmektedir. İşletme birimlerinin PYS kartlarının değerlendirilmesi başlangıçta kurumsal PYS kartına dahil edilmeyen bazı ortak konuların belirlenmesini sağlar. PYS kartları güncelleştirilir.

“PYS’nin tüm kuruluş çapında duyurulması” kriterini analiz ettiğimizde ankete katılanların % 76’sı önemli olduğunu düşünürken firmada gerçekleşme düzeyinin %26’lar seviyesinde gerçekleştiğini görülmektedir. Eğer üst yönetim uygulanan stratejik yaklaşımdan memnun olduğu takdirde PYS kartlarını tüm kuruluşa tanıtıp yaygınlaştırabilir.

“Kişisel performans hedeflerini belirlemek” kriterini analiz ettiğimizde ankete katılanların % 96’sı önemli olduğunu düşünürken firmada gerçekleşme düzeyinin % 43’ler seviyesinde gerçekleştiğini görülmektedir. Performans yönetim sisteminin temelinde performans hedeflerinin ortaya konması yatmaktadır.

“Uzun dönemli plan ve bütçenin güncelleştirilmesi” kriterini analiz ettiğimizde ankete katılanların % 70’i önemli olduğunu düşünürken firmada gerçekleşme düzeyinin % 10’lar seviyesinde gerçekleştiğini görülmektedir. Hedeflere ulaşmak için gerekli yatırımların belirlenmesi ve bunların bütçede yer alması önemlidir.

“Aylık ve 3'er aylık değerlendirme yapılması” kriterini analiz ettiğimizde ankete katılanların % 88’i önemli olduğunu düşünürken firmada gerçekleşme düzeyinin %14’ler seviyesinde gerçekleştiğini görülmektedir. Sistemin işleyişinin kontrol edilmesi açısından belirli periyotlarda değerlendirmeler yapılması önemlidir.

“Yıllık strateji değerlendirmeleri yapmak” kriterini analiz ettiğimizde ankete katılanların % 83’ü önemli olduğunu düşünürken firmada gerçekleşme düzeyinin % 32’ler seviyesinde gerçekleştiğini görülmektedir. Yıl sonunda stratejilerin gerçekleşip gerçekleşmediği ve hangi noktada olduğunun tespiti önem arz etmektedir.

Değerlendirmeler sonucunda ilgili birimlerin katılımı ile strateji güncellenmesi gerekebilir.

“Herkesin performansının PYS’ye bağlanması” kriterini analiz ettiğimizde ankete katılanların % 75’i önemli olduğunu düşünürken firmada gerçekleşme düzeyinin % 18’ler seviyesinde gerçekleştiğini görülmektedir. Tüm çalışanların kişisel hedeflerinin PYS kart hedefleri ile aynı paralelde olması gerekmektedir.

“Genel uygulamaya geçmeden önce pilot uygulamayı yapmak” kriterini analiz ettiğimizde ankete katılanların % 79’u, önemli olduğunu düşünürken firmada gerçekleşme düzeyinin % 23’ler seviyesinde gerçekleştiğini görülmektedir. PYS kartlarını uygulamaya geçirmeden önce sistemdeki eksikleri görmek gerekli faaliyetleri planlamak için pilot uygulama bölümü seçilebilir.

Genel olarak durumu analiz ettiğimizde PYS ile ilgili kritik aktivitelerin ankete katılanlar tarafından değerlendirildiğinde yaklaşık % 80’i aktivitelerin önemli olduğunu düşünürken % 77’si ise bilgisinin olmadığını veya gerçekleşmediğini belirtmiştir. Bu da şirket genelinde PYS’nin çalışanlar tarafından tam anlamı ile anlaşılmadığını yada ilgili sistemin tam olarak işletilmediğini göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Günümüzdeki rekabet koşullarında işletmelerin başarılı olabilmelerinde, işletmelerin etkin bir performans yönetim sistemine sahip olmalarının çok önemli rolü bulunmaktadır. Etkin olarak tasarlanan ve başarıyla uygulanan bir performans yönetim sistemi, işletmelerin, rakip işletmelere göre performansını sürekli ve etkin olarak izlemesine ve ölçmesine olanak sağlamaktadır. İşletmelerin üretim yöntemlerinde ve yönetim felsefelerinde meydana gelen değişimler, performans yönetim sistemlerinin tasarlanmasında finansal ölçütlerle birlikte finansal olmayan ölçütleri de dikkate alınmasını gerektirmektedir. İşletmelerin hızlı bir biçimde değişen rekabet koşullarında başarılı olabilmeleri için tasarladıkları performans ölçüm sistemleri dinamik olmalıdır ve doğru bilgiye hızlı bir biçimde ulaşılabilir. Performans ölçüm sistemleri de hızlı bir geribildirim sağlayarak işletmelerin performans ölçümlerini doğru olarak değerlendirebilmelerine olanak sağlamalıdır. İşletmelerin, içsel ve dışsal değişimlere duyarlı olabilmeleri için, bütünlük performans ölçüm sistemlerini geliştirmeleri gereklidir. İşletmeler, performans ölçüm sistemlerinin tasarımında birçok boyut arasında dengeyi sağlayacak biçimde ölçütleri belirlemeli ve performans ölçümünü stratejik bir faaliyet olarak değerlendirmelidirler. Etkin bir performans ölçüm sisteminin tasarımı sonucunda, verilerin doğruluğundan şüphe duyulmamalı, ölçütleri kullananlar tarafından ölçütlerin amaçları net bir biçimde anlaşılmalı ve ölçütlerin, işletmenin stratejileri ile bağlantısı kurulabilmelidir.

Kurumsal Karne implementasyonu ile ilgili temel olarak neyin ölçüleceğine karar verilmesi, bu ölçümler için verilerin nasıl toplanacağı ve yöneticilerin bu ölçümleri kullanmalarının nasıl sağlanacağı olmak üzere üç engel ile karşılaşmıştır. Aynı sonuçlara Manoochehri (1999) ‘de ulaşmıştır (7).

A takımının başarı puan tablosuna bakıldığı zaman; “Yatırım geri dönüş süresi kısaltılacak”, “İşçilikten kaynaklanan hurda maliyetinin azaltılması”, “Müşteriden gelen hata şikayetlerinin hemen çözülmesi”, “İşçilik hatalarının azaltılması”, “Kalite arttıracak proje”, “ISO Sistem Standartlarına uygun çalışılması”, “Periyodik olarak

denetimlerin yapılması” ve “AOS Projesinin sonuçlandırılması” gibi hedefler gerçekleştirilmiştir.

“Bütçe hedeflerin tutturulması” hedefinde hedeflenen değere ulaşamamıştır. Bunun sebebi de ilgili hedefin ölçüm kriteri olarak indirekt maliyet bedelinin değerlendirilmesi olabilir. İndirekt maliyet bedeli bölüm bazında olmayıp fabrika bazında tutulmaktadır. Hedefin gerçekleşebilmesi için tüm takımların çabası gerekmektedir. Bu aşamada bu hedefin tutturulması sadece takımın kendi performansına bağlı değildir.

“Maliyet düşüşü getirecek çalışma” hedefinde hedeflenen değere ulaşamamıştır. Hedefin ölçüm kriteri maliyet düşüşü sağlayacak proje sayısı ve o proje ile ilgili maliyet düşüşü baz alınmaktadır. Altı aylık verilere göre A takımına ait maliyet düşüşü sağlayacak proje gerçekleşmemiştir. Bu ilgili takımın iş yoğunluğundan kaynaklanabilir.

“Teslimat süresinin kısaltılması” hedefinde hedeflenen değere ulaşamamıştır. Hedefin ölçüm kriteri olarak aracın bant giriş tarihinden bitiş aşamasına kadar geçen süre baz alınmaktadır. İndirekt maliyetlerde olduğu gibi ilgili bölümdeki tüm takımların ortak hedefidir. Hedefe ulaşamamasının sebebi olarak yeni ürünlerin devreye alınması ile mevcut ürünlerin teslimat sürelerinde artma gözlenmektedir.

“Üretimde harcanan işçilik süresinin azaltılması” ile ilgili hedef ile gerçekleşen değer arasında sapma bulunmaktadır. Sebep olarak yan sanayi kaynaklı gecikmeler, tasarrım hataları ve işçilik hataları gösterilebilir.

Çalışmada kullanılan TOPSIS yöntemi sayesinde takımların başarıları değerlendirilerek kendi aralarında sıralanmalarının matematiksel olarak ifade edilebildiği bir değerlendirme sistemi ortaya konmuştur. Bu değerlendirme sistemi sayesinde, uzmanların subjektif ve yoruma dayanan başarı kararlarının, matematiksel olarak rakamla ifade edilebilen sistem dahilinde verilebilmesini sağlayan bir yaklaşım oluşturulmuştur. Kullanılan TOPSIS yöntemi bize sistematik bir değerlendirme sistemi oluşturmamızı sağlamıştır. TOPSIS yöntemi ile ortaya konan uygulamanın tutarlılığının, bir başka deyişle testinin yapılabilmesi için, değerlendirilen takımların başarı puanı TOPSIS’de bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda TOPSIS yöntemi sonuçları ile başarı puanı değerlerinin sıralaması birbiri ile tutarlı çıkmıştır.

5. KAYNAKLAR

1. Neely,A. “Business Performance Measurement: Theory and Practice”, Cambridge University Press, Cambridge, 2002.
2. Marr,B ve Schiuma, “Business Performance Past, Present and Future”, Management Decision Vol 41 No:8, pp 680-687.
3. Ghalayni.M., Noble,J.S., “The Changing Basis of Performance Measurement”, International Journal of Operations & Production Management, Vol:16, No:8, 1996.
4. Bourne,M., Milss,J., Wilcox,M., Neely,A., Platts,K., “Designing, Implementing and Updating Performance Measurement Systems”, International Journal of Operations & Production Management, Vol:20, No:7, 2000.
5. Kaplan,R.S. and Norton, D.P., “The Balanced Scorecard”, Harvard Business Review (1):71-79, 1992.

6. Kaplan,R. ve Norton,D., *Balanced Scorecard*, Çeviren: Serra Egeli, İstanbul: Sistem Yayıncılık, 1999.

7. Manoochehrı,G., "Overcoming Obstacles To Developing Effective Performance Measures", *Work Study*, Vol:48, No:6, 1999.

SANDAL DAĞI (MERSİN) GÜNEY-DOĞUSUNUN STRATİGRAFİSİ VE KARAIŞALI KİREÇTAŞININ SEDİMANTER PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ

Cengiz YETİŞ ve İsmail DİNÇER

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

ÖZ : Bu çalışma ile Mut-Silifke Baseni güneydoğu kesiminde yer alan, Sandal dağı güney-güneydoğusunda (Erdemli-Mersin) yüzeyleyen Tersiyer istifi ve Mesozoyik temel ayırılarak haritalanmıştır. Transgressif Miyosen istifi bölgede çalışma alanından kuzeyde Mut-Karaman dolayına kadar geniş alanda yayılmıştır. Bölgede Paleozoyik'e ait dolomit ve kuvarsit yapıllı birimler ile Mesozoyik yaşlı Demirkazık formasyonu karbonatları temeli oluşturmaktadır. Paleotopografik yükselim oluşturan bölgeye Miyosen denizi transgresyonu Erken Miyosen'de (Burdigaliyen) erişmiştir. Miyosen denizi transgresyonu ile ilgili olarak bölgede sığ deniz-resif ortamında algae, miliolid, ekinid, mercan vb. kapsayan biyomikrit, biyomikrosparit, yapıllı, resifal nitelikli, Karaisalı kireçtaşı çökelmiştir. Sandal dağı çevresinde geniş yayımlı olan Karaisalı kireçtaşı istifi tabanına yakın kesimlerinde kalın, üstte orta kalın katmanlı, bej-kirli beyaz renkli, sert, sağlam, keskin köşeli kırıklıdır.

Anahtar kelimeler: Sandal dağı, stratigrafi, Karaisalı kireçtaşı, sedimanter petrografi.

STRATIGRAPHY OF THE SOUTHERN-EASTERN PART OF THE SANDAL MOUNTAIN (MERSIN) AREA AND SEDIMENTARY PETROGRAPHIC PROPERTIES OF THE KARAIŞALI LIMESTONE

ABSTRACT : Tertiary succession of the Mut-Silifke Basin was distinguished at the eastern part of the basin which is well exposed around the southern part of the Sandal mountain (Erdemli-Mersin) area. Transgressive Miocene succession cropping out from the study area to Mut-Karaman and covering large area. Palaeozoic aged quartzites and crystalline carbonates and Mesozoic aged platform carbonates of the Demirkazık formation forms the basement at the region. The Miocene sea transgression was reached to the region Lower Miocene, most probably during the Burdigalian time. Algae, miliolid, echinodermata comprising coralline biomicrites, biomicrosparites and biosparites of the Karaisalı limestone were deposited in shallow water-reef environment.

Keywords : Sandal Mountain, stratigraphy, Karaisalı limestone, petrography.

* Bu çalışma Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projelerince desteklenmiştir (MMF2003BAP4).

1. GİRİŞ

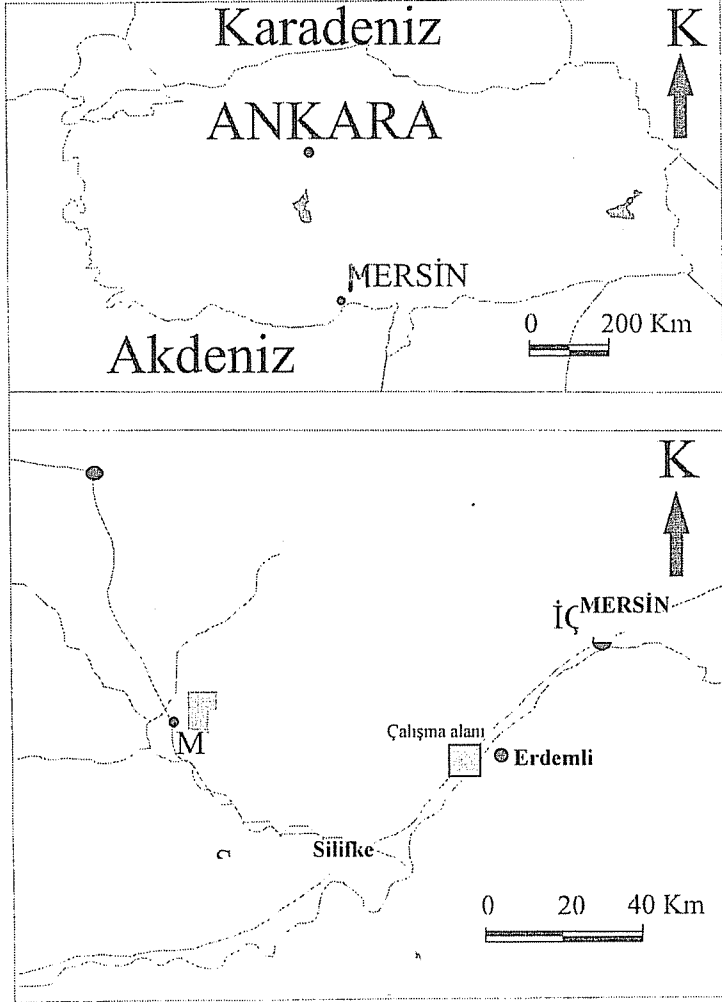
Bu çalışmanın konusunu Sandal dağı (Mersin) güney-doğusunun stratigrafisinin belirlenmesi ve Karaisalı kireçtaşının sedimanter petrografik özelliklerinin ortaya konması oluşturur. Sandal Dağı ve dolayını kapsayan inceleme alanı Mersin ili, Erdemli ilçesinin 19 km kuzeybatısında ve günümüzde deniz seviyesinden 860 m yüksekte bulunan plato üzerinde yer almaktadır (Şekil 1). Sandal Dağı dolayında inceleme alanı sınırları içerisinde sürekli yerleşim yeri olarak Karaahmetli köyü, Çanakçı, Kanlıdivane, Deveciler köyü, Yasırlar çukuru, Kabasam, Kızılören, Çatıören mahalleleri bulunmaktadır. İnceleme alanı dışında Esenpınar Köyü sürekli olduğu kadar yazlık yerleşim yeri olarak da kullanılmaktadır. Çalışma alanı kuzeyinde topografik en yüksekleri Karadağ 704 m., Sandal Dağı 860 m. oluşturmaktadır.

Bu çalışma Sandal dağı güney-doğusunda (Erdemli-Mersin) yüzeyleyen Mesozoyik ve Tersiyer istife ait transgressif ve regressif dönemlere ait birimlerin stratigrafisini ve Karaisalı kireçtaşının sedimanter petrografik özelliklerinin ortaya konması amacıyla yapılmıştır.

Bölgede Mut-Silifke Baseni Tersiyer istifi tabanında temeli Alanya birliğine ait kristalize kireçtaşı arakatmanlı şisti metamorfik kayalar ile Mesozoyik'e ait platform karbonatları niteliğindeki Demirkazık formasyonu (1, 2, 3, 4); Adana baseninde ise Paleozoyik'e ait kırıntılı-karbonatlardan oluşan (Devoniyen) Yerköprü, Kireçtaşı-dolomit yapıllı (Permo-Karbonifer) Karahamzaşağı formasyonları ile Demirkazık formasyonu oluşturur. Alanya birliği üzerine gelen platform karbonatları niteliğindeki Geç Triyas-Jura-Kretase evresinde çökelmiş olan Mesozoyik istif bölgede açık gri-koyu gri renkli, orta-kalın katmanlı, yer yer dolomitik, fosilli kireçtaşından oluşur (1, 2, 3, 4). Adana Baseni Tersiyer istifi ile benzerli çökeltme özellikleri sunan bu çalışma ile (5, 6) Adana ve Mut-Silifke Basenlerinin geçişinde bulunan Sandal dağı (Erdemli - Mersin) alanında yüzeyleyen Tersiyer istife ait Karaisalı kireçtaşı ayrırtlanarak haritalanmıştır (Şekil 2). Gildirli, Kaplankaya formasyonları ile Güvenç şeyli halen ve geçmişte de paleotopografik yüksekleri oluşturan bölgede çökelememiştir. Ancak paleotopografik çukurlarda, Karaisalı kireçtaşının tabanında 1-2 m kalın, Demirkazık formasyonundan türeme çakıl ve blok boyu taneleri kapsayan kırıntılı kireçtaşı düzeyi olağandır. Ayrırtmış yüzey renginin gri ve tonları olması nedeniyle Demirkazık formasyonu ile Karaisalı kireçtaşı arasındaki karbonat-karbonat dokanağının arazide ayırında güçlükler bulunmaktadır. Tersiyer birimleri Paleozoyik-Mesozoyik temel üzerinde hep düşük açılı açıl uyumsuzdur. Lamellibrans, miliolidae, ekinid, mercan vb. kapsayan, resifal nitelikli, Karaisalı kireçtaşı sığ deniz-resif ortamında çökelmiştir ve çoğunlukla biyomikrit yapıllıdır. Adana ve Mut-Silifke basenlerinin geçiş güzergahında çökelen birimin kalınlığı Paleotopografik yükseği oluşturan Sandal Dağı'ndan her yöne uzaklaştığında artmaktadır ve yüzeyi yoğun karstik erimelidir. İnceleme alanında birimin kalınlığı 200 m dolayındadır.

Toros Dağ Kuşağı, Orta Toros bölümünde yer alan inceleme alanı ve dolayında temel jeolojik çalışmalar 1940'lı yıllardan başlamıştır. Geçen süre içerisinde bölgede değişik amaçlarla pek çok çalışma yapılmıştır. BLUMENTHAL (7, 8), Anamur dolayında metamorfik serilerin Silüriyen yaşında olduğunu, Aladağlar ve dolayındaki Toroslar'daki Paleozoyik istifin en yaşlı temeli oluşturduğunu bildirmiştir. SCHMİDT (9), 1957-1960 yılları arasında Adana Baseni'nin genel stratigrafisini 47 kayastratigrafi

birimi ayırtlayarak adlandırmıştır. ÖZER ve diğ., (10), Mut-Antalya-Adana Neojen havzalarında yaptıkları Jeolojik araştırmalar ile bu üç havzayı yapısal ve bölgesel özellikleriyle denetirmişlerdir. İLKER (11), Adana havzası kuzey batı-kesiminin jeolojisini inceleyerek bölgenin 1/50.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamıştır. ÖZGÜL (12), Toros kuşağı kaya birimlerini "Birlik" lere ayırarak incelemiştir. YETİŞ (1,2), Ecemiş Fay Kuşağı'nın Maden Boğazı ve Kamışlı arasındaki kesiminin karmaşık stratigrafi istifini belirlemiş ve Ecemiş Fay Kuşağı'nın özelliklerini ortaya koymuştur. GEDİK ve diğ., (13), Mut-Ermenek-Silifke havzasında Paleozoyik-Mezozoyik istif ile



Şekil 1. Sandal Dağı (Erdemli-Mersin) alanının yer bulduru haritası.

Eosen ve Miyosen çökellerini ayırtlamışlardır. YETİŞ ve DEMİRKOL (14), Adana Baseni Batı Kesiminin Detay Jeoloji Etüdü'nü yapmışlardır. YETİŞ (5), Yaklaşık 3000 km²'lik bir alanda (Kozan N34 paftası ve dolayı) Adana Baseni Tersiyer İstifinin (Oligosen-Pilyosen) Stratigrafik reorganizasyonunu gerçekleştirmiş, SCHMIDT'in (9) aynı basen içinde ayırtladığı 47 litostratigrafi birimini 12 temel birime indirmiştir. YETİŞ (15), Kaşpazarı (Anamur-Mersin) alanında yüzeyleyen Tersiyer istifi ayırtlayarak haritalamıştır. ÇAM (16), Mersin ili, Çelebili Köyü, Taşlı Tepe dolayında yer alan bölgenin stratigrafik özellikleri inceleyerek, bölgenin 1 / 25 000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamıştır.

İnceleme alanında arazi çalışmaları ile Silifke-O 32-d3 paftası kullanılarak 1/25 000 ölçekli ayrıntılı jeoloji haritası hazırlanmıştır. Ayırtlanan litostratigrafi birimlerinin kalınlık, yapı ve litolojik değişimleri ortaya konularak dokanak ilişkileri Genelleştirilmiş Stratigrafi Kesiti'nde sunulmuştur (Şekil 3). Laboratuvarında ince kesit çalışmaları ile paleontolojik tanıtlar uzmanlarına yaptırılmıştır; sedimanter petrografik çalışmalara ilişkin karbonatlı kayaç sınıflama ve adlamaları Folk, Dunham sınıflamaları kullanılarak (17, 18, 19, 20), kalsit-dolomit ayırıcı için Alizarin Red-S ile boyama testleri Dickson 1965 (21) yöntemiyle yapılarak, özellikle Karaisalı kireçtaşının sedimanter petrografik özellikleri ortaya konmuştur.

3. STRATİGRAFİ VE KARAIŞALI KİREÇTAŞININ SEDİMANTER PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ

3.1. Giriş

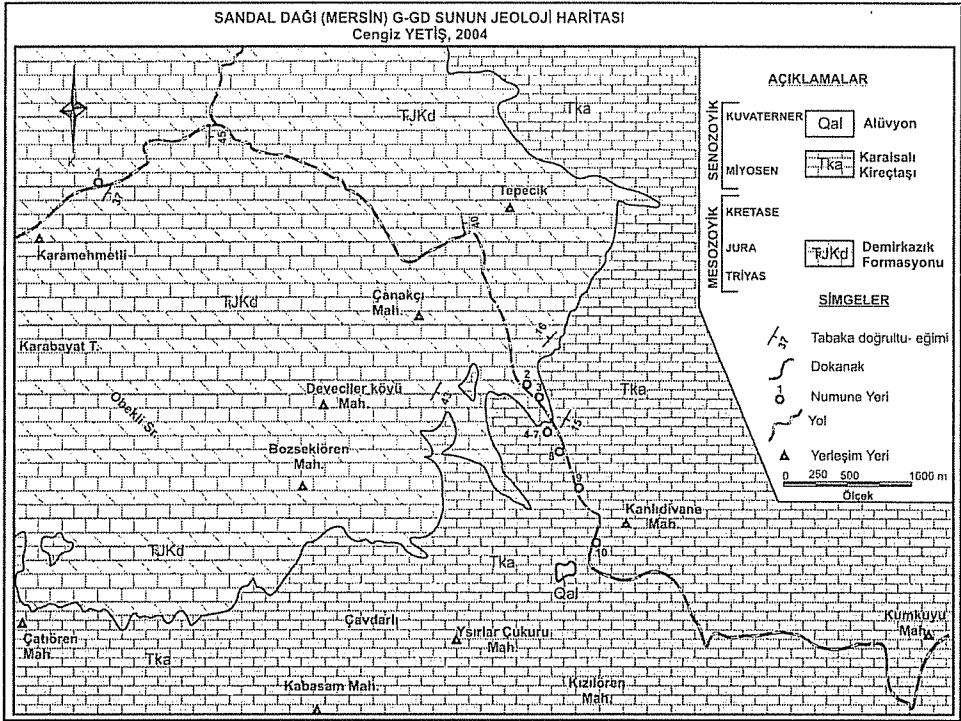
Toros dağ kuşağı Tetis zonu içerisinde Alpin – Akdeniz bölgesinin güney kıtasal kenarında yer alır (22). Sandal dağı (Erdemli-Mersin) alanı Toros Dağ Kuşağı, Orta Toros bölümünde yer alıp yüksekliği 800 metreye erişen, az engebeli, karstik erime yüzey şekilleri sunan, bölgesel yükseği oluşturmaktadır (Şekil 1, 2). Mut-Silifke baseni, Sandal dağı dolayında yapılan incelemede, Mesozoyik ve Senozoyik yaş aralığında iki farklı litostratigrafi birimi ayırtlanmıştır. Bölgede temeli Mesozoyik'e ait Geç Triyas-Jura-Kretase yaşlı ve başlıca kireçtaşı, dolomit ve dolomitik kireçtaşı litolojili platform karbonatları niteliğindeki Demirkazık formasyonu oluşturmaktadır (1, 2, 22). Bu birimin üzerine uyumsuz olarak gelen algli, mercanlı, ekinidli, lamellibranslı, resifal nitelikli kireçtaşından oluşan Alt-Orta Miyosen yaşlı Karaisalı kireçtaşı bölgede gözlenen Tersiyer istifin tabanını oluşturur. Bölgede gözlenen en genç çökeli mi ise Kuvaterner yaşlı alüvyon oluşturmaktadır.

3.2. Mesozoyik (Geç Triyas–Jura–Kretase)

3.2.1. Demirkazık formasyonu (TrJKd)

Ecemiş Fay Kuşağı doğu bloğunda, Maden boğazı ile Karanfıldağ arasında geniş alanlar boyunca yayımlı, açık-koyu gri renkli, orta-kalın katmanlı, *Involutina* sp. ve alg dışında kıt mikrofosilli, çoğunlukla mikritik yapıllı kireçtaşı istifine Yetiş (1, 2) Demirkazık kireçtaşı adını vermiştir. Demirkazık kireçtaşı adı çeşitli araştırmacılar tarafından Aladağlar ölçeğindeki yayılım gözetilerek Demirkazık formasyonu olarak değiştirilmiştir (1, 2). Bu çalışmada da kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomit ile temsil edilen birimler Demirkazık formasyonu adı altında toplanmıştır.

SANDAL DAĞI (MERSİN) GÜNEY-DOĞUSUNUN STRATİGRAFİSİ VE
KARASALI KİREÇTAŞININ SEDİMANTER PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ


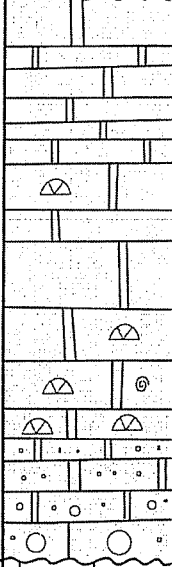
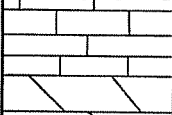
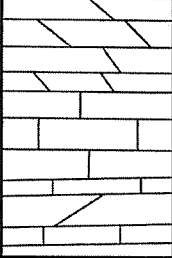


Şekil 2. Sandal Dağı (Erdemli-Mersin) güney-güneydoğusunun jeoloji haritası

Demirkazık formasyonu çalışma alanında topografik en yüksek Sandal Dağı güney ve doğusunda Karaahmetli köyü, Çanakçı, Deveciler köyü, Bozsekiören mahalleleri ile Tepecik, Karabayat tepeleri dolayı ve Çatiören mahallesi kuzeyinde yüzülemektedir (Şekil 1, 2). Genel olarak akarsu yatakları ve diğer aşınma alanlarında birim, gri-koyu gri rengi, sert, sağlam, keskin köşeli görünümü, sarp topoğrafyası ile belirgindir.

İnceleme alanı sınırları içerisinde genellikle, ayrılmış yüzeyi gri-koyu gri-bozca açık kahve, taze kırık yüzeyi gri-koyu gri-siyah, ince-orta-kalın belirgin katmanlı, yer yer laminalı, çok sert, çok sağlam, oldukça dayanımlı, keskin köşeli kırıklı, yüzeyi yer yer lapyalı, mikritik dokulu kireçtaşı, dolomili kireçtaşı ve dolomit yapılaşmıştır. Birimin, kireçtaşı yapılaşmış kesimleri: ayrılmış yüzeyi gri-koyu gri, taze kırık yüzeyi gri-koyu gri-siyah renkli, orta-kalın katmanlı, çok sert, çok sağlam, keskin köşeli kırıklıdır. Dolomili kireçtaşı kesimleri ayrılmış-taze kırık yüzeyleri gri-koyu gri renkli, yer yer laminalı, ince-orta-kalın katmanlı, yer yer de kireçtaşı-dolomit düzeyleri ardalanmalıdır. Birimin dolomit yapılaşmış kesimleri ise gri-koyu gri renkli, kalın katmanlı, tabakalanma ve eklem yüzeyleri pürüzlü görünümlü, sert, sağlam, keskin köşeli kırıklıdır.

Demirkazık formasyonundan derlenen numunelerin ince kesitlerinin petrografik incelenmesi sonucunda aşağıdaki tanımlar yapılmıştır.

M E S O Z O Y I K	S E N O Z O Y I K			LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
	ÜST TRIYAS JURA KRETASE	KUVATERNER	ÜST SİSTEM		
			SİSTEM		
			SERİ		
FORMASYON (Simges)					
Demirkazık formasyonu R.Jkd	KARİSALİ KİREÇTAŞI Tka	MIYOSEN	Alüvyon Qal		Çakıltası, kumtaşı, miltası, bitkisel toprak; çakıl, kum tane boyulu, kül köşeli, az yuvarlak taneli, kötü boylanmış, tavani çakıllı-kumlu bitkisel toprak.
			TERSİYER		Resifal kireçtaşı; Ayrışmış yüzeyi gri, taze kırık yüzeyi bej-kirli beyaz, orta-masif katmanlı, sert-sağlam, keskin köşeli kırıklı, mikritik dokulu, ince damarcıklı, yer yer seyrek koçuk gözenekli, bol fosilli kireçtaşı.
Demirkazık formasyonu R.Jkd	KARİSALİ KİREÇTAŞI Tka	MIYOSEN			Çakıllı kumlu kireçtaşı; ayrışmış yüzeyi gri, taze kırık yüzeyi kirli beyaz-bej renkli, kalın katmanlı, dayanımlı, mikritik dokulu, keskin köşeli kırıklı ve seyrek fosilli.
					Kireçtaşı; Ayrışmış yüzeyi gri, taze kırık yüzeyi koyu gri renkli, orta-kalın katmanlı, sert sağlam, mikritik dokulu, keskin köşeli, kırıklı, damarcıklı. Dolomit; Ayrışmış yüzeyi gri, taze kırık yüzeyi koyu gri renkli, kalın katmanlı, sert sağlam, kötü kokulu, eklemli, eklemli kalsit dolgulu.

Şekil 3. Sandal Dağı (Erdemli-Mersin) güney-güneydoğusunun Genelleştirilmiş Stratigrafi Kesiti (Ölçeksiz)

2004-CY-1. Stilolitle biyomikrit (Karamehmetli Köyü 500m KD su):

Ayrıışmış yüzeyi gri, taze kırık yüzeyi koyu gri, ince-orta katmanlı, çok sert, sağlam, dayanımlı, keskin köşeli kırıklı, mikritik dokulu, seyrek karstik erimeli, lamellibranslı kireçtaşı.

% 15 dolayında sparitik yapıışlı, lamellibrans kavkısı görünümlü biyoklastlar mikritik zeminde matriks desteklidir. İnce-orta sparikalsit dolgulu çatlaklar seyrek. Stilolitle kayaçta sitilolitik alanlar demirli killi maddeler ile doldurulmuştur. Kayaç seyrek opak minerallidir ve Alizarin Red-S ile yapılan boyama testinde dolomit gözlenmemiştir.

2004-CY-2. Stilolitle biyomikrit (Kanlıdivane Mahallesi KB sı):

Ayrıışmış yüzeyi gri, taze kırık yüzeyi gri-koyu gri, orta-kalın katmanlı, çok sert, sağlam, keskin köşeli kırıklı, mikritik dokulu, seyrek karstik erimeli, lamellibranslı kireçtaşı.

Sparitik yapıışlı, % 13 dolayındaki lamellibrans kavkısı görünümlü biyoklastlar mikritik zeminde matriks desteklidir. Kayaçta stilolit gelişimi oldukça ileri olup stilolitlerin içleri demirli killi maddeler ile doldurulmuştur. Opak mineral oldukça seyrek ve Dickson 1965 (21) yöntemiyle Alizarin Red-S ile boyanan ince kesitte dolomit gözlenmemiştir.

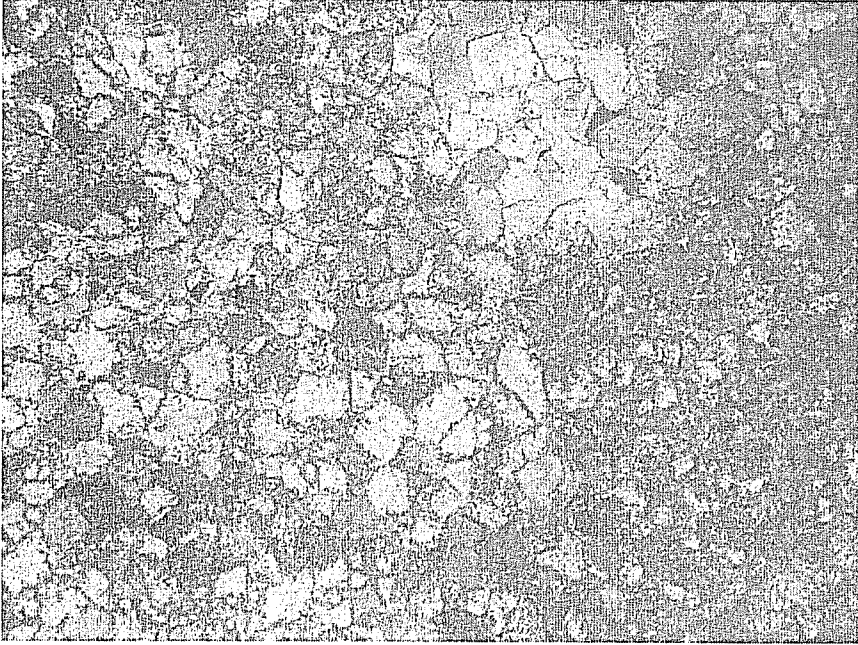


Foto 1. Dolomit yapıışlı ince kesitte öz şekilli-yarı öz şekilli dolomit kristallerinin mikroskopta görünümü. Örnek: 2004-CY-3, OI, 40X.

2004-CY-3. Dolomit (Örnek 2 nin yakın GD'sundan alınmıştır).

Ayrışmış/taze kırık yüzeyi gri-koyu gri, kalın katmanlı, sert, sağlam, keskin köşeli kırıklı, taban kesimi dolomit-kireçtaşı ardalanmalıdır.

Dolomitik yapılışı kayaçta orta, yer yer iri, özşekilli-yarı özşekilli, zonlanmasız dolomit kristalleri % 95 kadardır (Foto 1). Kayaçta, belirgin bir yönde gelişmiş, orta-yer yer iri sparikalsit dolgulu orta kalın damarcıklar seyrekler. Orta-iri sparikalsit ile doldurulmuş kristal arası gözenek alanları % 5 kadardır. Dickson 1965 (21) yöntemiyle Alizarin Red-S ile boyanan ince kesit ve çipste dolomitik alanlar ile sparikalsit dolgulu kristal arası gözenek alanları oldukça belirgindir.

Bu çalışmada Demirkazık formasyonuna ait kireçtaşı örneklerinde yeterli fosil bulgusu saptanmamıştır. Yetiş (1) Çamardı (Niğde) doğusunda yapmış olduğu çalışmada derlediği nokta numunelerden Üst Triyas-Jura yaşını vermiştir. Yetiş ve Demirkol (14) tarafından Adana Baseni kuzeyinde yapılan çalışmada Demirkazık formasyonundan derlenen numuneler M.T.A paleontologları tarafından tanımlanmış ve birime çalışmacılar tarafından Alt - Üst Kretase yaşı verilmiştir. Çam (16) ise Mersin KD su, Taşlıtepe taş ocağından derlediği örneklerden, Prof. Dr. Atike Nazik tarafından tanıtımı yapılan Tintinnid, Kalpionellid tanımlarına dayanarak birime Jura-Erken Kretase yaşını uygulamıştır. Ancak, Yetiş (1)'in Geç Triyas-Jura ve Yetiş-Demirkol (14)'un Erken-Geç Kretase yaş bulguları göz önüne alınarak bu çalışmada da Demirkazık formasyonuna Geç Triyas-Kretase yaşı verilmesi uygun görülmüştür.

Ecemiş Fay Kuşağının doğusunda bulunan kireçtaşlarında saptanan alg ve miliolid gibi fosiller, birimin çökme ortamının yaklaşık 40-80 m kadar derinliğe sahip olduğunu, *Thaumatoporella* sp. gibi fosiller ise, ortamın 40 m veya daha sığ derinlikte olduğunu göstermektedir (1). Demirkazık formasyonunun bolca alg ve foraminifer içeren mikritik yapısı ve yer yer oomikrosparit yapılışı olması göz önüne alınınca, birim sığ ve sıcak bir şelf ortamı ile sığ deniz ortamını yansıtabilir.

3.3. Senozoyik (Tersiyer)

Çalışma alanında Tersiyer'de Erken-Orta Miyosen yaşlı resifal nitelikli Karaisalı kireçtaşı ayrırtlanmıştır. Adana ve Mut-Silifke basenleri ile korrelle edildiğinde Karaisalı kireçtaşının (Mut formasyonu) tabanında yer alan Gildirli (Derinçay) ve Kaplankaya formasyonları ile üzerine yanal ve düşey geçişli olarak gelen Erken Miyosen yaşlı Güvenç formasyonunun (Köselerli) çalışma alanı ve dolayında çökmediği/yüzeylemediği gözlenmiştir.

3.3.1. Karaisalı kireçtaşı (Tka) ve sedimanter petrografik özellikleri :

Mut-Silifke baseninde Miyosen yaşlı resifal kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn yapılışı birimi Gedik ve diğ. (13) tarafından Mut formasyonu olarak incelenmiştir. Aynı havzada, Mut yöresinde birim Sezer (23) tarafından Mut kireçtaşı formasyonu, Silifke yöresinde Gökten (24) tarafından Mut formasyonu ve Sarıaydın resif kireçtaşı, Ermenek-Karaman alanında Koçyiğit (25) tarafından da Göktepe resif kireçtaşı üyesi olarak incelenmiştir. Adana Baseni, Tersiyer istifine ait açık gri-krem renkli, mercanlı, sıkı dokulu, resif kenarları dışında belirgin katmansız biyoklastik kireçtaşına litostratigrafik birim ayırıcısına dayalı olarak ilk kez Schmidt (9), Karaisalı kalkerleri adını vermiştir. Daha sonra Schmidt 'in bu adlamasına İlker (11), Yetiş ve Demirkol (14), Yetiş (5) Karaisalı

formasyonu adlamasını uygulamışlardır. Mut-Silifke baseni batısında Yetiş (15, 26) tarafında Kaşpazarı yayla ve Abanoz yayla dolaylarında birim Adana baseni, Tersiyer istifi Karaisalı kireçtaşı eşdeğeri bir birim olarak ayırt edilip incelenmiştir. Günümüzde Karaisalı kireçtaşı adlamasının daha uygun olacağı kanısındayız. Bu çalışmada da Adana ve Mut-Silifke basenleri dahil bölgesel ölçekte oldukça geniş yayımlı olmasının yanı sıra Adana ve Mut-Silifke basenleri arasında belirgin bir ayrımı sağlayacak sınır bulunmaması (Örneğin Ecemiş Fay Kuşağı), benzer çökeltme koşulları, litolojik özellikler ve kronostratigrafik uyum sunması nedenleri ile birim Karaisalı kireçtaşı adı ile incelenmiştir.

Mut-Silifke baseni Tersiyer istifi inceleme alanından kuzey ve doğuya doğru Mesozoyik temel üzerinde oldukça geniş bir alanda yayımlıdır. Mut-Silifke baseninin orta-doğu kesiminde bulunan inceleme alanı 800 metre yüksekliğe erişen, bölgesel bir yüksek konumundadır. İnceleme alanında Karaisalı kireçtaşı Kumkuyu, Merdivenlikuyu kuzeyinde, Sandal Dağı güney ve doğusunda Tepcecik Tepe, Çanakçı Mahallesi doğusu; Deveciler Köyü, Bozsekiören mahalleleri güneyi ile Kanlıdivane, Kızılören, Yasırlar Çukuru, Kabasam ve Çatıören mahalleleri ile Çavdarlı dolayında güney ve doğuya doğru yer yer bölgesel topografik yüksekleri oluşturarak yayımlıdır (Şekil 2). Birim yüzeylediği her yerde benzer litolojik özelliklerinin yanı sıra sedimantolojik ve paleontolojik özellikleri ile sahada kolaylıkla ayırt edilebilmektedir.

Çalışma alanında birime ait tipik yer ve tipik kesit yeri Kanlıdivane ve Çatıören mahalleleri kuzeyinde yer almaktadır. Mut-Silifke baseninde Mut formasyonu olarak adlanan birime ait tip kesit yeri Mut kuzeyi, Derinçay köyü-Türbeleni tepe dolaydır (13). Burada ölçülen kesitte birim tabandan tavana kireçtaşı (30 m), kireçtaşı bantlı marn (100 m), kireçtaşı (875 m), kumtaşı (50 m), kireçtaşı (150 m) yapıllı olup aradaki marn düzeyi Köseleli formasyonu (Adana Baseni Tersiyer istifi Güvenç formasyonu eşdeğeri) olarak incelenmiştir. Adana baseninde birimin tipik yeri Karaisalı ilçesi dolaylı olup tipik kesiti de Karaisalı kesiti oluşturur. Bu kesitte birim başlıca resifal nitelikli kireçtaşı yapıllıdır (27, 5).

Sandal dağı (Erdemli-Mersin) alanında Karaisalı kireçtaşı başlıca bol fosilli, resifal nitelikli kireçtaşından oluşmaktadır. Bej-açık gri-kirli beyaz renkli, seyrek killi biyoklastik kireçtaşı arakatmanlı, bazen belirgin orta-kalın, bazen masif-som katmanlı birim, sert sağlam, keskin köşeli kırıklıdır. Bol fosilli birimde mercan, foraminifer, alg, ekinit, çok iri gastrapod, lamellibrans vb. olağandır. Karstik erime ile ilgili olarak birimin yüzeyi erime ile gelişmiş aşırı erime boşlukludur. Çalışma alanı ve yakın dolayında Karaisalı kireçtaşını üzerleyen Tersiyer'e ait bir birim bulunmamaktadır. Sandal dağı alanında Sandal dağı'nın bölgesel paleotopografik yükseği oluşturması nedeni ile Sandal dağı çevresinde birim genellikle az eğimli olup 12-16 derecelik santroklinel (bir noktadan her yönde dışa doğru açılan) bir eğim sunmaktadır.

Kanlıdivane ve Çatıören mahalleleri kuzeyinde Demirkazık formasyonu üzerinde birim başlıca ayrılmış yüzeyi gri-koyu gri, taze kırık yüzeyi bej-kirli beyaz, kalın-masif, yer yer som katmanlı, sert, sağlam, keskin köşeli kırıklı, dayanımlı, alg, mercan, lamellibrans vb. bol fosilli, tabanında bloklu-çakıllı kireçtaşı üst kesimlerinde fosilli kireçtaşı yapıllıdır. Birimin tabanındaki Demirkazık formasyonu dokanağına çok yakın kesimlerinde Demirkazık formasyonundan türeme kireçtaşı, dolomili kireçtaşı, dolomit yapıllı küt köşeli, as yuvarlak, belirgin yönelimsiz bloklar 50 cm boya

erişmektedir. Yukarıya doğru Demirkazık formasyonundan türeme çakılların boyu hızla küçülmektedir. Bu çakılların boyu yukarıya doğru kum boyuna geçmektedir. İstifin tabanındaki 0-5 m lik kesimde birim konglomeradan ziyade bloklu/çakıllı/kumlu kireçtaşı yapılaşmıştır. Yol yarmasındaki taze kırık yüzeylerinde her ikisinde karbonatlı olan Geç Triyas-Jura-Kretase yaşlı Demirkazık formasyonu ile Tersiyer'e ait (Erken-Orta Miyosen) yaşlı Karaisalı kireçtaşı karbonatlarını ayırılmış yüzey renklerinden ayırt etmek oldukça kolaydır. Örneğin: Demirkazık formasyonu her zaman açık-koyu gri-siyah renk tonu verirken Karaisalı kireçtaşı kirli beyaz-bej renk tonlarında görülmektedir. Karaisalı kireçtaşı tabanındaki bloklu-çakıllı kireçtaşı düzeylerinin taze kırık yüzeyi sunan bu tür yol yarmalarında iki karbonatlı birim arasındaki dokanağı ayırt edebilmek ve çakıllı kireçtaşı düzeyindeki Demirkazık formasyonundan türeme gri-koyu gri çakıllar ile Karaisalı kireçtaşına ait ana kayayı kirli beyaz-bej renk tonu, bol fosilli oluşu ve çok kalın-masif katmanlı oluşları ile kolaylıkla ayırt etmek mümkündür. Ancak ayırılmış yüzeylerinde her iki birim de koyu gri renk tonu sunmaları nedeni ile taze kırık yüzeyi sunan yol yarmaları dışında iki birimi ayırtta güçlükler bulunmaktadır. Böyle durumlarda tabaka kalınlıkları dokanağı bulmakta yardımcı olabilir. Bunun dışında kırarak taze kırık renklerinin gözlenmesi doğru yaklaşımı sağlayabilir. Demirkazık formasyonu keskin köşelerinde genellikle oldukça gevrek, kırılğan iken Karaisalı kireçtaşı bazı fasiyesleri dışında gevrek, kırılğan değildir ve Demirkazık formasyonu Karaisalı kireçtaşına göre daha sert ve dayanımlıdır. Demirkazık formasyonu her zaman sert, sağlam, keskin köşeli kırıklı ve dayanımlıdır. Buna karşın Karaisalı kireçtaşı çoğunlukla bir miktar killi oluşu ile bazı fasiyesleri dışında Demirkazık formasyonu kadar sert, sağlam, keskin köşeli kırıklı ve dayanımlı değildir. Biraz kulağı zorlayarak kayayı kırmadan ses tonlarından yararlanarak da iki birimi ayırt edebilmek olanaklı bulunmaktadır. Örneğin Demirkazık formasyonu daha tiz bir ses tonu verirken Karaisalı kireçtaşı daha tok bir ses tonu vermektedir. Kanlıdivane kuzeyinde Demirkazık formasyonu üzerinde Karaisalı kireçtaşı istifinin tabanına yakın çakıllı kesimleri yer yer yoğun kalıp-koğuk gözeneklidir. Daha üst kesiminde birim aşırı kalıp-koğuk gözenekli olup gözeneklerin boyutu yer yer 80 cm ye erişmektedir.

Sandal Dağı güney ve güneydoğusunu kapsayan inceleme alanı ve dolayında Tepecik Tepe, Çanakçı Mahallesi doğusu, Deveciler Köyü Mahallesi güneydoğusu, Bozsekiören Mahallesi güneyi ve Çatıören Mahallesi kuzeyinde hep paleotopografik yüksekleri oluşturan bölgede Karaisalı kireçtaşı direkt olarak Geç Triyas-Kretase yaşlı, gri-koyu gri renkli kireçtaşı-dolomili kireçtaşı-dolomit yapılaşmış Mesozoyik temel üzerine açılı diskordansla gelmektedir. Bölgesel ölçekte Adana ve Mut-Silifke basenlerinde Gildirli (Derinçay) formasyonu transgresyon öncesi dönemi temsil ederken; Transgresif döneme ait Kaplankaya formasyonu plaj-sığ deniz çökellerini ve Karaisalı kireçtaşı (Mut formasyonu) da resifal çökelleri oluşturmaktadır. Adana ve Mut-Silifke basenlerinde yaygın yayıllı bulunan Resif ilerisi ve basen fasiyesine ait Güvenç formasyonu (Köselerli) çalışma alanı ve yakın dolayında çökelememiş veya çökelp korunamamış olabilir.

Kumkuyu Mahallesi Çanakçı Mahallesi bağlayan kara yolu üzerinde ve Kanlıdivane Mahallesi yaklaşı 1 km kuzeyinde Triyas-Kretase yaşlı, gri-koyu gri renkli kireçtaşı-dolomili kireçtaşı yapılaşmış Demirkazık formasyonu üzerinde Karaisalı

kireçtaşı bloklu çakıltası ile başlar. Maksimum 50 cm boya erişen çakıllar sadece Demirkazık formasyonundan türeme olup gri-koyu gri renk tonu, küt köşeli, as yuvarlak görünümü ile kirli beyaz-bej renkli Karaisalı kireçtaşı içerisinde çokça belirgindir. Karaisalı kireçtaşının tabanındaki yaklaşık 1-5 m kalın kırıntılı kireçtaşı yukarıya doğru çakıllı kireçtaşı, kumlu kireçtaşına geçer. İstif bundan sonraki kırıntılı kireçtaşı üzerine gelen kesimi bej-açık gri- kirli beyaz, çok kalın katmanlı, sert, sağlam, kalıp-koğuk gözenekli, alg, ekinid, lamellibrans ve gastropodlu mikritik kireçtaşı yapılıdır. Bunun üzerine gelen fosilli kireçtaşı çok kalın-masif-som katmanlı ve oldukça kalındır. Üzerleyen açık gri-kirli beyaz renkli, ora-kalın katmanlı kireçtaşı ile çok kalın-masif-som kireçtaşı ardalanımı şeklinde devam etmektedir. İstifin tavanındaki fosilli kireçtaşı açık gri-kirli beyaz renkli ve orta-çok kalın katmanlıdır. Bu kesitte 250 metreden daha kalın birim çoğunlukla fosilli biyomikrit yapılıdır. İstifin orta düzeylerinde yer yer çok kalın – masif katmanlanma olağandır.

Kanlıdivane mahallesinin yaklaşık 1 km kuzeyinde Geç Triyas-Kretase yaşlı, Demirkazık formasyonunu açılı diskordansla üzerleyen Karaisalı kireçtaşı dokanağından başlayıp, yaklaşık yol boyunca toplam 7 adet Karaisalı kireçtaşına ait nokta örnek derlenmiştir. İnce kesitleri yaptırılan 7 adet nokta örneğin petrografik tanımları aşağıda sunulmaktadır.



Foto 2. Seyrek çakıllı-kumlu, iri kavkı parçalı *Amphistegina*'lı biyomikritte belirgin *Amphistegina* Sp., 2004.CY.4. Ol. 40x.

2004-CY-4. Seyrek çakıllı-kumlu, İri kavkı parçalı Amphistegina'lı biyomikrit (Kanlıdivane mahallesinin yaklaşık 1 km kuzeydoğusundan alınmıştır):

Ayrılmış yüzeyi bej, taze kırık yüzeyi kirli beyaz-bej, maksimum 10 cm ye erişen Demirkazık formasyonu karbonatlarından türeme küt köşeli-as yuvarlak çakıl-kumlu, belirgin kalın katmanlı, sert, sağlam, keskin köşeli kırıklı, kalıp-koğuk gözenekli, fosilli, kireçtaşı.

Çakıl-kum boyu, küt köşeli, as yuvarlak, Demirkazık formasyonundan türeme taneler % 15 kadardır. Biyoklastları iri lamellibrans kavkuları ile ekinid kavkı-diken kesitleri, bryozoon, alg, *Amphistegina* sp., oluşturmaktadır (% 45). Ekstraklast ve biyoklastlardan oluşma allokemler mikritik zeminde çoğunlukla matriks, yer yer tane desteklidir. Biyoklastlar çoğunlukla mikritik zıhlı olup çoğunun kavkısı orijinal kalsit yapıışlı ve kimilerinin içleri spari kalsit dolguludur (Foto 2).

2004-CY-5. Seyrek kumlu, algli biyomikrosparit (4 nolu örnek çok yakın güneyinden alınmıştır):

Ayrılmış yüzeyi bej-açık gri, taze kırık yüzeyi kirli beyaz, Demirkazık formasyonu karbonatlarından türeme seyrek kumlu, sert, sağlam, keskin köşeli kırıklı, kalın katmanlı, algli, kumlu kireçtaşı.

İnce-orta kum, silt boyu, küt köşeli-as yuvarlak, Demirkazık formasyonundan türeme kireçtaşı, dolomili kireçtaşı yapıışlı taneler % 10 kadardır. Başlıca alg, bryozoon, *Amphistegina* sp. ve diğer kavkı parçalarından oluşma biyoklastlar % 40 kadardır. Ekstraklast ve biyoklastlar mikritik zeminde matriks desteklidir. Özellikle alger oldukça iridir. Biyoklastlar genellikle mikritik zıhlıdır. Kayaç % 5 kadar gözeneklidir (Foto 3).

2004.CY.6. Çok seyrek ince kumlu, Algli, Borelis'li biyomikrit (5 nolu örneğin 15 m güneyinden alınmıştır):

Ayrılmış/taze kırık yüzeyi bej-açık gri, sert, sağlam, keskin köşeli kırıklı, kalın-masif-som katmanlı, karstik erimeli, alg ve diğer fosilli, fosilli kireçtaşı.

% 40 kadar Bryozoon, alg, gastropod kesiti, mercan kesiti, Rupertiidae, *Amphistegina* sp., *Borelis* sp. vb. kavkisından oluşan biyoklastlar mikritik zeminde matriks desteklidir. Kimi mikritik zıhlı iri gastropodların içi orta-kaba, zonlanmasız spari kalsit dolguludur. Saçılmış haldeki opak mineraller oldukça seyrek (% 1) ve yer yer laminalanmaya paraleldir (Foto 4).

2004.CY.7. Algli, Borelis'li, Amphistegina'lı biyomikrosparit (6 no lu örnek 50 m GD sundan alınmıştır):

Taze kırık yüzeyi-ayrılmış yüzeyi bozca açık gri-kirli beyaz, belirgin kalın-masif katmanlı, sert, sağlam, keskin köşeli kırıklı, karstik erimeli, algli-iri lamellibranslı fosilli kireçtaşı.

Biyoklastları iri lamellibrans kavkuları ile ekinid kavkı-diken kesitleri, mercan, *Borelis* sp., *Amphistegina* sp., Hauerinidae ve alg oluşturmaktadır. Mikritik zıhlı, çoğunun kavkısı orijinal kalsit yapıışlı biyoklastlar mikrospartik zeminde çoğunlukla tane desteklidir ve kimilerinin içleri spari kalsit dolguludur (Foto 5).

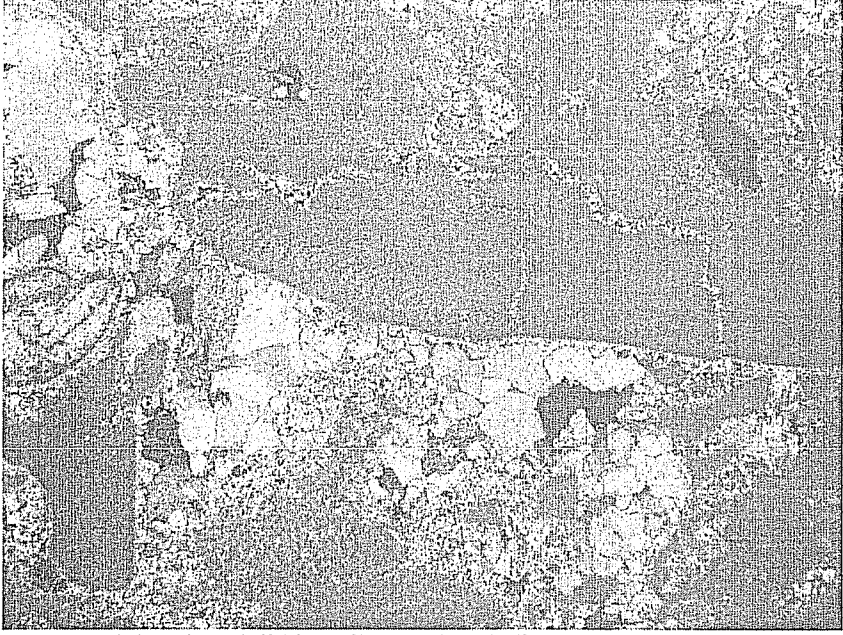


Foto 3. Seyrek kumlu, Algli biyomikrospartit'te belirgin Algler. 2004.CY.5. Pl. 40x.

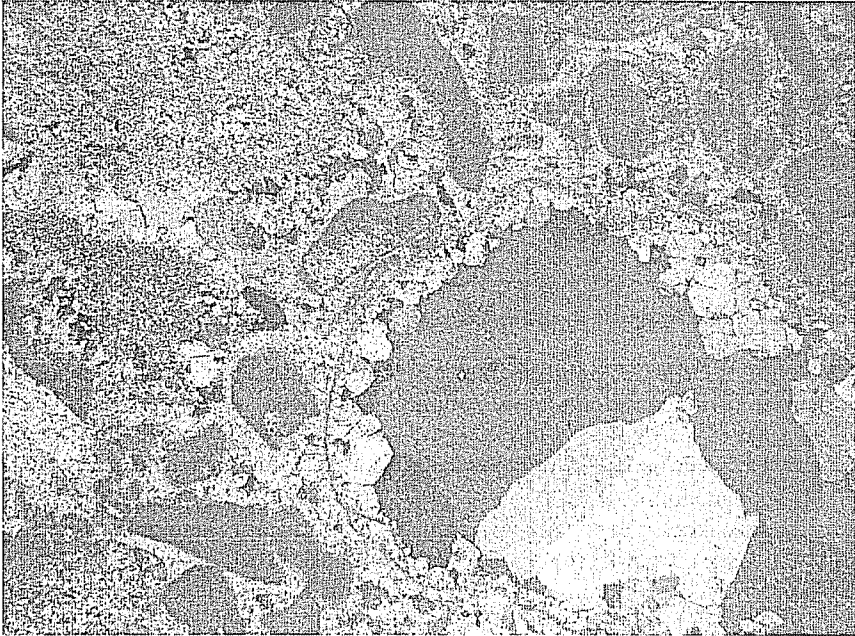


Foto 4. Seyrek ince kumlu Borelis, Amphistegina, algli biyomikritte oldukça küçük Algler., 2004.CY.6., Pl, 40 x.

2004.CY.7. Algli, Borelis'li, Amphistegina'lı biyomikrosparit (6 no lu örnek 50 m GD sundan alınmıştır):

Taze kırık yüzeyi, ayrılmış yüzeyi bozca açık gri-kirli beyaz, belirgin kalın-masif katmanlı, sert, sağlam, keskin köşeli kırıklı, karstik erimeli, algli-iri lamellibranslı fosilli kireçtaşı.

Biyoklastları iri lamellibrans kavkıları ile ekinid kavkı-diken kesitleri, mercan, *Borelis* sp., *Amphistegina* sp., Hauerinidae ve alg oluşturmaktadır. Mikritik zıhlı, çoğunun kavkısı orijinal kalsit yapıışlı biyoklastlar mikrosparitik zeminde çoğunlukla tane desteklidir ve kimilerinin içleri spari kalsit dolguludur (Foto 5).



Foto 5. Algli, Borelis'li, Amphistegina'lı biyomikrosparitte biyoklastların içi yer yer işinsal mikrosparit dolguludur. 2004.CY.7., OI, 40x.

2004.CY.8. İri kavkı parçalı Amphistegina'lı, Borelis'li biyomikrosparit (7 nolu örnek 125 m GD sundan alınmıştır) :

Ayrılmış-taze kırık yüzeyi bej-kirli beyaz, belirgin kalın katmanlı, sert, sağlam, keskin köşeli kırıklı, karstik erimeli, algli, lamellibranslı fosilli kireçtaşı.

Biyoklastları iri lamellibrans, gastropod kavkıları ile *Operculina* sp., *Amphistegina* sp., *Borelis* sp., Rotaliidae, Hauerinidae ve seyrek algae oluşturmaktadır. Biyoklastlar mikrosparitik zeminde çoğunlukla tane desteklidir. Biyoklastlar çoğunlukla mikritik zıhlı olup çoğunun kavkısı orijinal kalsit yapıışlı ve kimilerinin içleri spari kalsit dolguludur (Foto 6).

2004.CY.9. Algli, Amphistegina'lı biyomikrosparit (8 no lu örnek 300 m GD sundan alınmıştır:

Ayrılmış-taze kırık yüzeyi kirli beyaz-açık gri renkli, masif-som katmanlı, sert, sağlam, keskin köşeli kırıklı, Algli, lamellibranslı fosilli kireçtaşı.



Foto 6. İri kavkı parçalı Amphistegina'lı Borelis'li biyomikrosparitte belirgin *Borelis* Sp., 2004.CY.8. Pl, 40x.

% 40 biyoklastları algae, ekinid dikenli-kavkı kesitleri, lamellibrans-gastropod kavkı kesitleri ile Amphistegina sp. vb oluşturmaktadır. Algae ve bir kısım fosiller mikritik zıhlıdır. % 5 kadar biyomikritik yapıllı intraklast vardır. Allokemler mikritik zeminde yer yer tane desteklidir. Bazı kavkı içleri ile seyrek erime ile genişletilmiş koğuklar orta spari kalsit dolguludur. Kayaç % 5 e erişen oranda gözeneklidir (Foto 7).

2001.CY.10. Hauerinidae'li, Algli biyomikrit (9 No lu örnek 400 m G inden alınmıştır):

Ayrılmış yüzeyi açık gri, taze kırık yüzeyi kirli beyaz, masif-som katmanlı, sert, sağlam, keskin köşeli kırıklı, iri lamellibranslı fosilli kireçtaşı.

% 55 erişen biyoklastların büyük çoğunluğunu algae oluşturup bunun dışında ekinid dikenli, iri kavklı lamellibrans ile textulariidae, alg, rotaliidae ve Hauerinidae vb.

vardır. Bazı kavkı içleri ile alglerin içerisindeki gözenek alanları orta spari kalsit dolguludur. Biyoklastlar mikritik zeminde tane desteklidir. Erime ile genişletilmiş bazı fosil koğuk alanları orta-ince sparikalsit dolguludur. Özellikle algler mikritik zıhlıdır. Kısmi dolgulu kalıp gözenek alanları % 3 kadardır (Foto 8).

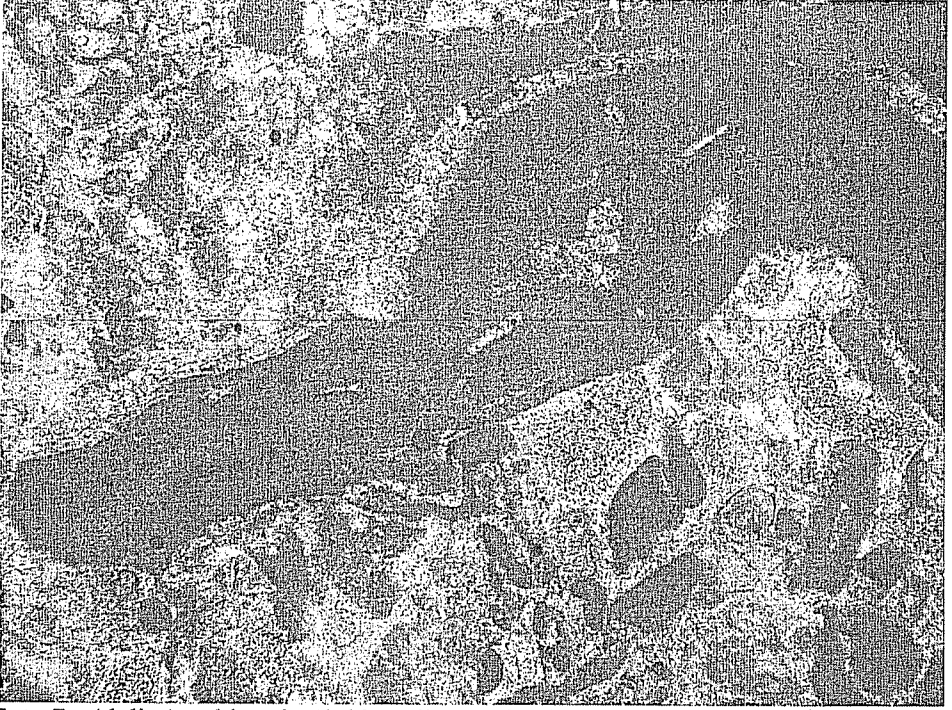


Foto 7. Algli, Amphistegina'lı biyomikrosparitte belirgin alg ve ekinid kavkı kesitleri. 2004.CY.9. OI., 40x.

Çatıören mahallesi 300 m kuzeyinde, Merdivenlikuyu-Karamehmetli kara yolu üzerinde Karaisalı kireçtaşı, Demirkazık formasyonu kalın katmanlı karbonatları üzerine aşıl diskordansla gelmektedir. Demirkazık formasyonunun tavanı genellikle ve çoğunlukla ayrışmalı, aşırı paralanmalı ve oksidasyon nedeni ile kırmızıya boyanmıştır. İki karbonatlı birimin arasında Tersiyer istifeye ait, Karaisalı formasyonunun tabanındaki Kaplankaya, Gidirli ve Karsantı formasyonları bölgenin bir paleotopografik yükselim olması nedeni ile çökmemişlerdir. Karaisalı kireçtaşının tabanındaki çakıllı-bloklu kireçtaşında Demirkazık formasyonundan türeme tanelerin boyu 50 cm ye erişebilmektedir. Bunun üzerine gelen çakıllı-kumlu kireçtaşı 1.25 m kalındır. Daha üstteki seyrek çakıllı-kumlu kireçtaşı 2 m kalındır. Üzerleyen kireçtaşı kırmtı bileşen içermeyip sırasıyla 2 m, 60 cm, 70 cm, 2 m, 1.5 m, 2 m, 2.40 m, 70 cm, 1.5 m, 2 m, 80 cm, 60 cm, 40 cm, 20 cm, 2m, 2.5 m kalındır. Bu düzeyde ana kaya içerisinde açılmış bir lahit ve bu lahite ait kapak bulunmaktadır. Daha üstte istif masif-som katmanlı olarak 1.5 m, 2 m, 1 m, 1.5 m, 1.20 m, 80 cm, 1.40 m, 1 m olarak Çatıören Mahallesi güneyinde yolu kesen dere boyuna kadar uzanmaktadır.

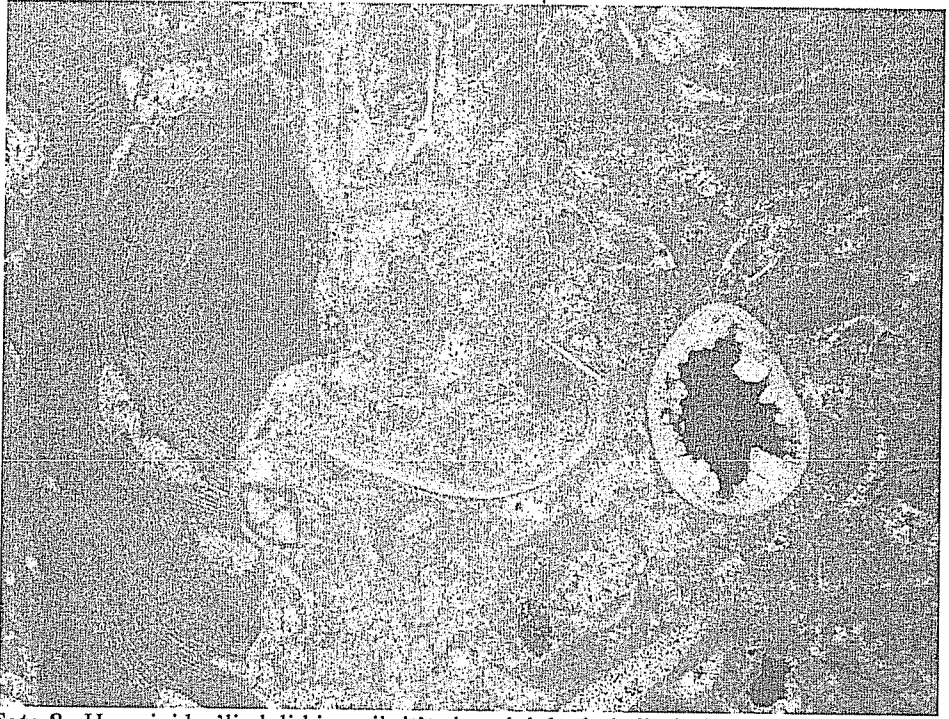
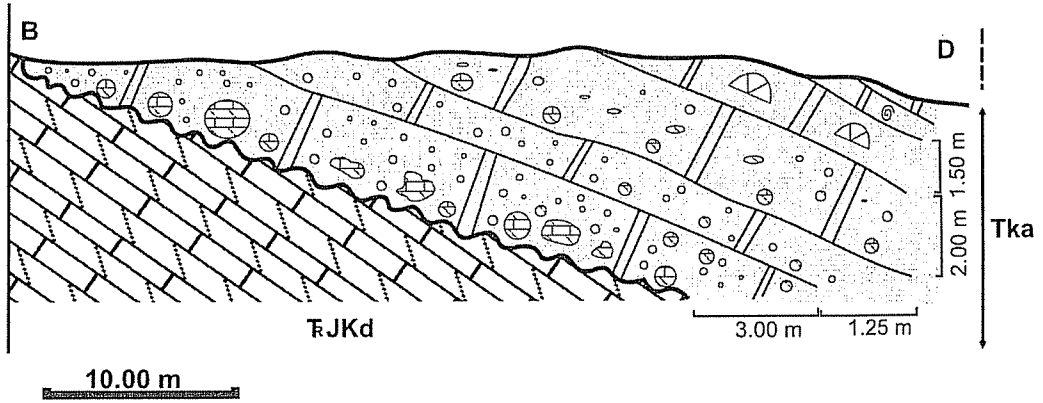


Foto 8. Hauerinidae'li algli biyomikrit'te kısmi dolgulu belirgin kalıp gözenek alanları. 2004.CY.10. Pl., 40x.

Sandal dağı günümüzde bölgede yegane topografik yükseği oluşturduğu gibi geçmişte de en önemli paleotopografik yükseği oluşturmuş olmalıdır. Bu nedenle yörede Adana ve Mut-Silifke basenleri ile uyumlu olarak Karaisalı kireçtaşının altında çökelen pre-transgressif ve transgressif döneme ait akarsu (Gildirli-Derinçay formasyonları), göl (Karsantı formasyonu-Derinçay formasyonu Fakırca üyesi) ve sığ denizel (Kaplankaya formasyonu) çökelleri çökelememişlerdir. Karaisalı kireçtaşı Sandal Dağı güney-güney doğusunda, paleotopografik yükseklerde Mesozoyik temeli oluşturan Demirkazık formasyonu karbonatları üzerinde açılal diskordanslıdır. Bu durum gerek Kumkuyu-Çanakçı kara yolu, Kanlıdivane Mahallesi yaklaşık 1 km kuzeyinde, Merdivenkuyu-Çatıören Mahallesi-Karamehmetli Köyü kara yolu Çatıören Mahallesi hemen kuzeyindeki ve diğer yol yarmalarında çok açık bir şekilde gözlenebilmektedir (Şekil 3). Buralarda Geç Triyas-Kretase yaşlı Demirkazık formasyonu karbonatlarının ayrılmış yüzeyi üzerine Tersiyer'e ait (Erken-Orta Miyosen) Karaisalı kireçtaşı Demirkazık formasyonundan türeme çok iri çakıllı, yer yer bloklu kireçtaşı ile başlar. İstifin yukarısına doğru bu çakılların boyu incelererek kum-silt boyuna geçmektedir. Karaisalı kireçtaşı karbonatları bölgede hep kirli beyaz-bej renk tonu sunar iken Demirkazık formasyonuna ait kireçtaşı-dolomili kireçtaşı-dolomit yapıllı değişik tane boyuna sahip ögeler daha koyu renkli ve daha dayanımlıdır. Çalışma alanı ve yakın dolayında transgressif döneme ait resif ilerisi-basen fasiyesine ait çökeller bulunmamaktadır. Bu istif Mut-Silifke baseni Mut dolayında Köselikli

formasyonu; Adana baseninde ise daha derin fasiyesleri kapsamak üzere Güvenç formasyonu ile temsil edilmektedir. Ancak Adana baseninde ve Mut Silifke baseni Mut dolayında resif ilerisi-derin deniz-basen fasiyesleri günümüzde deniz seviyesinden 150 m kadar yüksekte bulunabilmektedir. Mut Silifke baseni Mut dolayında hem transgressif, hem de regressif döneme ait resifal kireçtaşı çökelişi bulunmaktadır. 800 metre yüksekliğindeki, yüksek plato konumundaki çalışma alanında sadece transgressif döneme ait resifal karbonatlar çökebilmiştir. Adana baseninde regressif dönemde sığ denizel kırıntılı çökelişi vardır fakat resifal kireçtaşı çökelişi gözlenmemiştir.

Mut-Silifke baseninin güneydoğu kesimini oluşturan haritalama alanı ve yakın dolayında Tersiyer çökelleri tümüyle fazlaca bir kalınlığa sahip değildir. Çalışma alanında Karaisalı kireçtaşının kalınlığı 100 metreyi aşmaktadır. Bu kalınlık kuzeye, Ermenek dolayına doğru artmaktadır. Mut-Silifke ve Adana basenlerinde düzensiz paleotopografyaya bağlı olarak birimin kalınlığı oldukça büyük kalınlık değişimleri sunmaktadır. Mut-Silifke baseninde istifin en kalın kesitinin bulunduğu Derinçay kesitinde kalınlık 1100 metreye erişmektedir (13). Adana baseninde Karaisalı formasyonunun kalınlığını Schmidt (9) 2-350 metre, İlker (11) 600 metre olarak bildirmiştir.



Şekil 4. Çatıören Mahallesi kuzeyinde Erken Triyas-Kretase yaşlı Demirkazık formasyonu (TrJKd) karbonatları üzerine Erken-Orta Miyosen yaşlı Karaisalı kireçtaşının (Tka) açılı diskordansla geldiğini gösterir taslak kesit. İstifin tabanında Karaisalı kireçtaşı iri çakıllı, kumlu, masif katmanlı kireçtaşı yapılaşmıştır.

Adana baseninde Görür (27) Karaisalı formasyonu biyoklastik kireçtaşlarında: mercanlı-algli istiftaşı ve bağlamtaşı, küçük bentk foraminiferli-algli istiftaşı, mercanlı-algli vaketaşı-istiftaşı, büyük bentonik foraminiferli-algli istiftaşı, globigerinalı-algli istiftaşı, Globigerinalı killi vaketaşı olmak üzere 6 ayrı as fasiyes ayırtlamıştır.

Bu çalışmada Sandal dağı güney-doğusu Karaisalı kireçtaşından derlenen nokta ve seri örneklerin ince kesitlerinden Prof. Dr. Engin Meriç *Amphistegina* sp., *Borelis* sp., *Operculina* sp., Hauerinidae, Rotaliidae, Textulariidae, Rupertiidae, alg, bryozoan,

lamellibrans kavkı kesiti, ekinid kavkı-diken kesitleri, gastropod kavkı kesiti, Mercan kesiti vb. fosilleri tanıtmıştır.

Belirlenen fosil topluluğuna göre Mut-Silifke baseni, Sandal dağı güney-güneydoğusunda Karaisalı kireçtaşı Erken Miyosen (Burdigaliyen) evresinde çökelmiş olmalıdır. Yetiş (15, 26), Kaşpazarı ve Abanoz Yayla (Anamur-Mersin) dolaylarında Prof. Dr. Niyazi AVŞAR' ın fosil tanıtlarına dayanarak birime Erken Miyosen (Burdigaliyen) yaşını uygulamıştır (15). Gedik ve diğerleri (13) birimin Mut-Silifke baseninde kireçtaşı ve killi kireçtaşı düzeylerinden derledikleri planktonik foraminifer, bentik foraminifer, algae, mercan, ekinit, lamellibrans tanıtlarına göre Langiyen-Serravaliyen (Orta Miyosen) evresinde çökeldiğini bildirmişlerdir. Bu yaşlama Mut-Silifke baseninin Mut ve daha kuzeyindeki kesimlere ait olmalıdır. Zira Miyosen denizi transgresyonu Doğu Akdeniz Türkiye kıyılarına Burdigaliyen'de erişmiştir. Sadece Misis kompleksinde Akitaniyende; Kuzey Kıbrıs'ta ise Oligosen'de erişmiştir. Adana baseninde Karaisalı kireçtaşının yaşı Burdigaliyen-Langhiyendir (5).

Sandal dağı (Erdemli-Mersin) alanından Karaisalı kireçtaşı üzerinde Karstik erime ile oluşmuş karstik yüzey şekilleri çok yaygın değildir. Selcik yarıntıları, lapy (pürtük, karren) ve çapır arazi (leçe) türü karstik erime şekilleri çalışma alanı ve dolayında fazlaca gelişmemiştir. Bölgede tabandaki mağara tavanının çökmesiyle, oval-daire şeklinde oluşan obruk (çöküntü dolini) gelişimi yer yer olağandır.

Karaisalı kireçtaşı karbonatlarında Alizarin Red-S ile yapılan boyama testinde dolomite rastlanmamıştır (21).

Karaisalı formasyonu muhtemelen Burdigaliyen'de güneyden kuzeye dereceli olarak ilerleyen transgresif Miyosen denizinin sığ, çalkantılı ve ılık kesimlerinde ve daha çok Miyosen öncesi topografik yüksekliklerde resif kompleksi olarak gelişim göstermiştir.

3.4.1. Kuvaterner

3.4.1.1. Alüvyon (Qal)

Çalışma alanında sınırlı bir alanda, akarsu yatağı üzerinde gözlenen en genç çökeli mi, başlıca değişik tür ve boyutta, oldukça yuvarlak çakıl, kum, silt ve kil birikimlerinden oluşan alüvyon nitelikli, kırmızı renkli, yoğun bitkisel topraklı çökeller oluşturmaktadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma ile Mersin ili, Erdemli ilçesi 19 Km kuzeydoğusunda, Sandal Dağı güney-doğusu, Kanlıdivane-Çatıören Mahalleleri ile Çanakçı Mahallesi dolayında yüzeyleyen kayaçlar stratigrafik ve petrografik açıdan incelenmiştir. Çalışma alanında yüzeyleyen birimlerin dağılımlarının, litolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Silifke O32-d3 paftası kullanılarak çalışma alanının 1/25 000 ölçekli detay Jeoloji Haritası ve Genelştirilmiş Stratigrafik Kesiti hazırlanmıştır. İnceleme alanında 2 adet kaya stratigrafi birimi ayırtlanarak haritalanmıştır. Bu birimler sırasıyla bölgede temeli oluşturan sığ denizel ve platform tipi karbonatlardan oluşan, gri-koyu gri renkli, orta-kalin katmanlı Geç Triyas-Kretase yaşlı Demirkazık formasyonu ile, resifal nitelikli, açıkgrı-bej-kirli beyaz renkli, çok kalın-masif-som katmanlı, Burdigaliyen yaşlı Karaisalı kireçtaşıdır. Çalışma alanı ve dolayında Karaisalı kireçtaşı petrografik açıdan kırıntılı, fosilli biyomikrit, biyomikrosparit yapılıdır. Sandal dağı güney-doğusu

Karaisalı kireçtaşından derlenen nokta ve seri örneklerin ince kesitlerinden tanıtımı yapılan (Prof. Dr. Engin Meriç) *Amphistegina* sp., *Borelis* sp., *Operculina* sp., Hauerinidae, Rotaliidae, Textulariidae, Rupertiidae, alg, bryozoan, lamellibrans kavkı kesiti, ekinid kavkı-diken kesitleri, gastropod kavkı kesiti, Mercan kesiti vb. fosil tanıtımlarına göre birim Erken Miyosen (Burdigaliyen) evresinde çökelmiş olmalıdır.

5. KATKI BELİRTME

Bu çalışma Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri desteği ile başarılmıştır (MMF2003BAP4). Yazarlar gerekli desteğin ve çalışma olanaklarının sağlanması nedeniyle Ç.Ü. Rektörlüğü, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi ve Jeoloji Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na teşekkürü bir borç bilmektedir.

Ayrıca Tersiyer istife ait ince kesitlerden gerekli paleontolojik tanıtımları yapan ve kendisi ile değişik konularda tartışma imkanı bulduğumuz Prof. Dr. Engin MERİÇ'e (İstanbul Üniversitesi) teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Yetiş, C., "Çamardı (Niğde) yakın ve uzak dolayının jeoloji incelemesi ve Ecemiş Yarılım Kuşağı'nın Maden Boğazı-Kamışlı arasındaki özellikleri", İ.Ü. Fen Fak. Doktora Tezi, 164 s., İstanbul, 1978a.

2. Yetiş, C., "Geology of the Çamardı (Niğde) region and the characteristics of the Ecemiş Fault zone between Maden Boğazı and Kamışlı", *Revue de la Faculte des Sciences*, B / 43, 41-61, İstanbul, 1978b.

3. Balkılıç, H., "Gazipaşa ilçesi (Antalya ili) civarının Jeolojisi", M.T.A. Enst. Jeoloji Dairesi, Rap. No. 217, 53 s. (yayınlanmamış), Ankara, 1982.

4. Ulu, Ü., "Gazipaşa (Antalya ili) bölgesinin Jeolojisi", İ.Ü. Fen Bilimleri Enst., Doktora tezi, 209 s. (yayınlanmamış), İstanbul, 1989.

5. Yetiş, C., "Reorganization of the Tertiary stratigraphy in the Adana Basin, Southern Turkey", *Newsl. Stratigr.*, 20 (1), 43-58, Berlin-Stuttgart, 1988.

6. Yetiş, C., Kelling, G., Gökçen, S.L., Baroz, F., "A revised stratigraphic framework for Later Cenozoic sequences in the north - eastern Mediterranean region", *Geol. Rundsch.*, 84, 794-812, 1995.

7. Blumenthal, M.M., "Niğde ve Adana vilayetleri dahilindeki Torosların jeolojisine umumi bir bakış", M.T.A. Yayını 6 / B, 95s., Ankara, (1941).

8. Blumenthal, M.M., "Toroslarda Yüksek Aladağ Silsilesi'nin coğrafyası, stratigrafisi ve tektoniği hakkında yeni etüdler", M.T.A. yayını, D/6, 136s. Ankara, 1952.

9. Schmidh, G.C., "Stratigraphic nomenclature for the Adana region petroleum district", VII. Petroleum Administration Bull., 6, 47-63, Ankara, 1961.

10. Özer, B., Duval, B., Courier, P., Letouzey, I., "Antalya, Mut, Adana Neojen havzaları jeolojisi", Türkiye 2. Petrol Kongresi, 228-277, Ankara, 1974.

11. İlker, S., "Adana baseni kuzey-batısının jeolojisi ve petrol olanakları", T.P.A.O., Arşiv no. 973, 63 s. (yayınlanmamış), Ankara, 1975.

12. Özgül, N., "Torosların bazı temel jeoloji özellikleri", Türkiye Jeoloji Kurumu Bült., 19 / 1, 65-78, Ankara, 1976.

13. Gedik,A., Birgili,Ş., Yılmaz,H., Yoldaş,R., "Mut-Ermenek-Silifke yöresinin jeolojisi ve petrol olanakları", Türkiye Jeoloji Kurumu Bült., 22 / 1, 7-26, Ankara.
14. Yetiş,C. ve Demirkol,C., 1986, "Adana baseni batı kesiminin detay jeolojik etüdü", M.T.A, Rapor (yayınlanmamış), 187 s. Adana, 1979.
15. Yetiş,C., "Kaşpazarı (Anamur-İçel) dolayı Karaisalı kireçtaşının sedimanter petrografik özellikleri", Ç.Ü. Araştırma Fonu, MMF.2000.9 no lu proje sonuç raporu (yayınlanmamış), 42 s., Adana, 2001.
16. Çam,Ö., "Çelebili köyü (Mersin) dolayının stratigrafisi ve Demirkazık formasyonunun malzeme olarak değerlendirilmesi", Ç.Ü., Fen Bilimleri Enst., Yüksek Lisans Tezi, 53 s. (yayınlanmamış), Adana, 2004.
17. Folk,R.L., "Spectral subdivision of limestone types. In: Classification of carbonate Rocks", (ed: W. E. Ham) Mem. Amer. Assoc. Petr. Geol. 1, 62-64, 1962.
18. Folk,R.L., "Some aspects of recrystallization in ancient limestone. In: Dolomitization and limestone diagenesis", (Eds. L.C. pray and R. C. Murray), Soc.Econ. Pal. Min. Spec. Publ. 13, 14-48, 1965.
19. Folk,R.L., "The natural history of crystalline calcium carbonate: effect of magnesium content and salinity", J. Sed. Petr. Geol. 59, 60-68, 1974.
20. Dunham,R.J., "Classification of carbonate rocks according to depositional texture, in: Classification of carbonate rocks", (Ed. By. W.E. Ham). Mem. Amer. Ass. Petrol. Geol., 1, 108-121, 1962.
21. Dickson,J.A.D., "A modified staining technique for carbonates in thin section", Nature, No: 4971, p.587, 1962.
22. Bernoulli,D. and Jenkyns,H.C., "Alpine Mediterranean and Central Atlantic Mesozoic facies in relation to the early evaluation of Tethys", Modern and ancient geocyclinal sedimentation, eds. R. H. Dott and R. H. Shaver, SEPM, Spec. Publ. 191, 129-160, Tulsa, Oklahoma, 1974.
23. Sezer,S., "The Miocene stratigraphy of Mut region, Southern Turkey", Birkbeck college, London Univ., PhD thesis (Unpublished), 1970.
24. Gökten,E., "Silifke yöresinin temel kaya birimleri ve Miyosen stratigrafisi", Türkiye Jeoloji kurumu Bült., 19 / 2, 117-126, Ankara, 1976.
25. Koçyiğit,A., "Karaman-Ermenek (Konya) bölgesinde ofiyolitli melanaj ve diğer oluşuklar", Türkiye Jeoloji Kurumu Bült., 19 / 2, 103-116, 1976.
26. Yetiş,C., "Abanoz Yayla (Anamur-Mersin) dolayı Karaisalı kireçtaşının sedimanter petrografik özellikleri", Ç.Ü. Araştırma Fonu, MMF.2001.9 no lu proje (yayınlanmamış), 37 s., Adana, 2003.
27. Görür,N., "Karaisalı kireçtaşının (Miyosen) sedimantolojisi", Türkiye Jeoloji kurumu Bült., 22 / 2, 227-234, Ankara, 1979.

NİĞDE MERKEZİ SO₂ ve PATİKÜLER MADDE (PM) ANOMALİSİ

Mustafa Gürhan YALÇIN ve Semiha İLHAN
N.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Niğde/Türkiye
Mustafa AKYILDIZ
Ç.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye
Serkan İÇERLER
N.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Niğde/Türkiye

ÖZET : Ozon tabakasının incelmesine katkıları, toksik ve kanserojen yapıları, insan ve çevre sağlığına olumsuz etkileri nedeniyle havaya verilen zararlı gazlar giderek önem kazanmakta, örneklenmesi ve analizi, çevre ve hijyen analitiğinin güncel konularını oluşturmaktadır. Havadaki zararlı gazların kaynakları motorlu taşıt emisyonları, petrol ve türevlerinin taşınması, depolanması ve aktarılması, sinai üretim gibi insan faaliyetleridir. Niğde'nin hava kirliliğini ortaya koymak için SO₂ ve PM (asılı partikül madde) konsantrasyonları değerlendirilmiştir. İklim şartları da dikkate alınarak 2001, 2002, 2003 yıllarına ait hava kirliliği incelenmiştir. Dünya Sağlık Teşkilatının (1) belirlediği ve uzun vadeli sınır (UVS) değeri 150 mikrogram/m³ lük SO₂ sınırına, aylık aritmetik ortalamaya göre 2001 yılının Mart ayında, 2002 yılının Aralık ayında ve 2003 yılının Ocak ve Şubat aylarında yaklaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Hava kirliliği, yakıtlar, kükürt dioksit, PM (asılı partikül madde), hava kirlleticiler, Niğde.

ANOMALY OF SO₂ and PARTICULAR SUBSTANCE IN DOWNTOWN NİĞDE

ABSTRACT : Hazardous gases that are emitted into the air gain importance as they cause reduction of the thickness of the ozone layer; their toxic and cancerogenic properties and their negative effect on human and environmental health. The sampling and analysis of these poisonous gases constitute the daily issues of environmental and hygiene analytics. The sources of gases in the air are automobile emissions, transportation of petroleum and its derivatives, their storage and transfer and industrial manufacturing. In this study, the concentrations of SO₂ and particular substance in Niğde are investigated in order to present the level of air pollution in Niğde. Air pollution in years 2001, 2002 and 2003 are investigated regarding the climate conditions. According to arithmetic mean; in March 2001, December 2002 and; January and February 2003 the level of SO₂ have reached 150 micrograms/m³ (each month) which is the limit value not to be exceed according to the World Health Organization (1).

Key Words : Air pollution, fuels, sulfur dioxide, smoke, air pollutants, Niğde.

*Destekleyen Kuruluş: Niğde İl Çevre Müdürlüğü

1. GİRİŞ

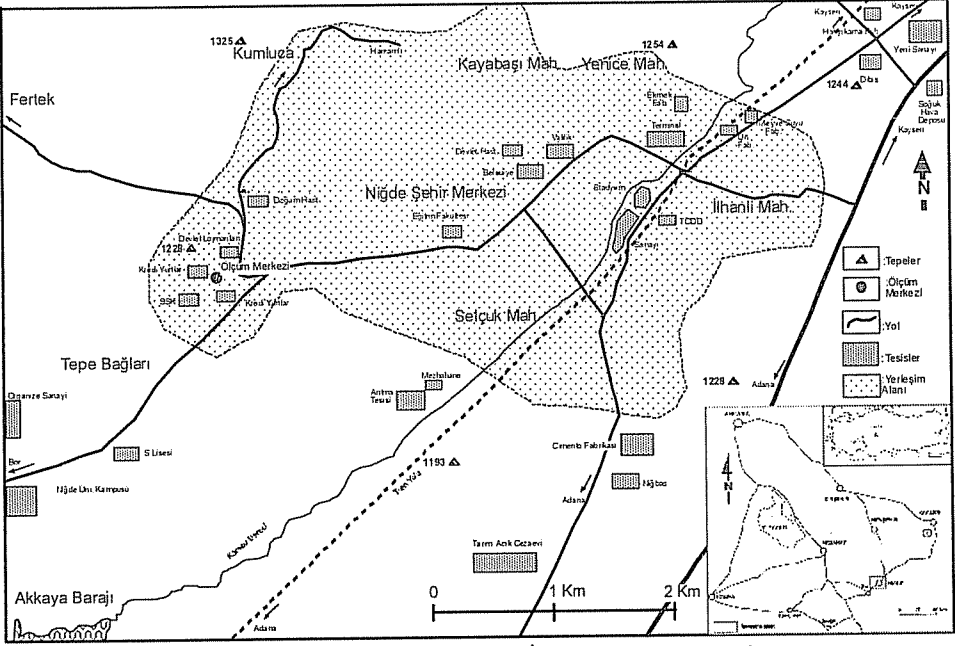
Temiz hava, %79 azot, % 20.9 oksijen ile daha az oranlarda argon, karbondioksit, su buharı, neon, helyum, kripton, hidrojen, azot-monoksit, karbon-monoksit, ksenon, ozon, amonyak ve azot-dioksit karışımından oluşmaktadır (2) Tüm canlıların yapısına zarar verecek kirleticiler, temiz havaya karışarak ekolojik dengeyi bozma eğilimindedirler. Son zamanlarda şehir merkezlerinde hava kirliliği kendini belirgin bir şekilde göstermektedir. Nüfusun artışı, endüstrinin gelişimi ve şehirleşme çalışmaları (3) gibi etkenler hava kirliliğinin (SO_2 ve asılı partikül madde) başlıca nedenlerindedir (4).

Hava kirliliğinin önemli unsurlarından biri olan kükürt (SO_2), SO_3 ve NO_x ile birlikte çeşitli yanma olayları sonucu havaya karışır. Bu karışım insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Havaya karışan zararlı gazlar bazı koşullarda yağışla birleşip asit yağmurlarını meydana getirmektedir (5). Bu yağmurlarda toprağın kimyasal yapısını bozmakta ve biyolojik koşulları değiştirmektedir. Kükürdün başlıca doğal kaynağı yanardağlar, bataklıklardan çıkan hidrojen sülfür gazı (H_2S) ve kayalardaki demir-sülfür (FeS) gibi kükürlü bileşiklerdir. Bu kükürlü bileşikler, havadaki oksijenle reaksiyona girerek kükürt-dioksit (SO_2) ve kükürt-trioksit (SO_3) şekline dönüşürler. Yeni ürünler su buharı ile temas edince de sülfirik-asit (H_2SO_4) şeklini alırlar. Havadaki kükürt genellikle sülfirik asit olarak yağmurla toprağa döner ve çevrime girer (6-8). Fosil yakıt kullanımı ve kontrolsüz madencilik de atmosferdeki H_2S miktarını çok artırmıştır. Dolayısıyla kükürt, hava kirliliğine neden olan başlıca maddelerden biri haline gelmiştir. Uzun vadede insan, hayvan ve bitki bünyesinde asit depolanmasına neden olan kükürde bağlı olumsuz koşulların zararları ölçülemeyecek kadar fazladır. Bu nedenle hava kirliliğinin belirlenmesinde kükürt önem kazanmıştır.

İnceleme alanı, İç Anadolu bölgesinde bulunan Niğde İl Merkezidir (Şekil 1). Bu çalışma orijinal bir çalışma olup, Niğde İl Merkezindeki hava kirliliği (SO_2 ve asılı partikül madde) boyutlarının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. 2001, 2002 ve 2003 yıllarına ait SO_2 ve asılı partikül madde değişim oranları iklim şartları dikkate alınarak belirlenmiştir. Ayrıca trafik akış yoğunluğu, yerleşim planı, topoğrafik durum, nüfus yoğunluğu gibi kriterlerde göz önüne alınmıştır (Şekil 1). Bu çalışma, inceleme alanının 2001, 2002 ve 2003 yıllarına ait hava kirliliğini belirlemek ve sonraki yıllar için hava kirliliğinin kontrolünü sağlamak için önemlidir.

2. METOD

Hava kirliliği ölçümlerinde, SO_2 ve asılı partikül madde oldukça önemlidir. Çalışmamız sırasında SO_2 analizi için yapılan ölçümlerde, asılı partikül madde oranını en alt seviyeye indirmek için hava önceden filtreden geçirilmektedir. Ancak bu filtreleme ile SO_2 ölçümünde değişik gaz ve buharın varlığı önleyici olmayabilir. Ölçümler, belirli zaman aralıklarında ve 24 saatlik ölçümleri kapsayacak şekilde yapılmaktadır. Asılı partikül madde ölçümlerinde ise partikül maddenin rutin olarak izlenmesi önem taşır. Ancak asılı partikül maddenin boyutu ve kimyasal bileşimini tayin etmek kolay değildir. Bu nedenle asılı partikül madde ölçümlerinde, örnek karakteristiği, kaynak tipi, hava koşulları, güvenilir sayısal ölçümler ve örnekleme önem kazanmıştır. Genel olarak hava kirliliği problemlerini çözmek için iyi bir envanter çalışmasına sahip olmadan hava kalitesini iyileştirmek mümkün görülmemektedir (9).



Şekil 1. İnceleme alanı ve Niğde İli şehir merkezi haritası.

Yapılan analiz, şehir yerleşiminin tamamını genel olarak yansıtabilecek şekilde, bir lokasyon için yapılmıştır. Yani şehir merkezinin değişik lokasyonlarını yansıtabilecek anomaliyi kapsamamaktadır. SO₂ analizinde asidimetrik analiz yöntemi kullanılmıştır. SO₂ ve asılı partikül madde parametre ölçümleri için, yarı otomatik özellikteki Burç marka (Bulab 201-8 PM-asılı partikül madde ve SO₂ örnekleyicisi, seri no:89063) ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ayrıca asılı partikül madde analizinde “filter soiling” yönteminden yararlanılmıştır. Bu analiz yöntemi SO₂ yöntemi ile kolaylıkla birleştirilebilmektedir. Ölçümlerde kullanılan, 8 kanallı Burç marka cihazın her bir kanalında filtre kağıdı ve dreschel şişesi bulunmaktadır. 8 gün boyunca otomatik olarak her gün, gün boyu (24 saatlik) bir kanaldan geçirilen hava için kirletici parametreler her bir kanalda tutulmaktadır. Böylece 8 gün sonunda, aynı anda 8 günlük 24 saatlik ölçümlere ait SO₂ ve asılı partikül madde parametreleri elde edilmiştir. Daha sonra ölçüm sonuçları, Uluslararası Sınır Değerleri (WHO, EU ve HKKY) (Tablo 1) ve uzun vadeli sınır (UVS-genel) değeri (Tablo 2) ile yorumlanmıştır.

3. NİĞDE MERKEZİNİN HAVA KİRLİLİĞİ

Niğde merkezindeki SO₂ miktarı, seyreltik H₂O₂ çözeltisi içine emilmesi sağlanmıştır. Emilen H₂O₂, kimyasal tepkimeye uğrayarak H₂SO₄ şekline dönüşmüştür. Çözelti içindeki SO₂ miktarı (asiditesi) standart alkali ile titrasyon sonucu belirlenmiştir. Belli periyotlarda gün boyunca bir kanaldan geçirilen havaya ait çözelti 8. günün sonunda çözelgelere işaretlenmiştir.

Tablo 1. Uluslararası sınır değerleri (10) (www.ibb.gov.tr/)

SO ₂ Uluslararası Sınır Değerleri				
Sınır Değeri	Günlük Ortalama	Aşılmaması İstenen Gün Sayısı	Sınır Değerin Aşıldığı Gün Sayısı	Yıllık Ortalama
Veren Kuruluş	Sınır Değer			Sınır Değer
	(mg/m ³)			(mg/m ³)
WHO (1)	125	-	-	50
EPA (2)	365	-	-	80
EU (3)	125	3	-	20
BENELUX (4)	400	-	-	-
HKKY (5)	400	-	-	150
Asılı Partiküler Madde Uluslararası Sınır Değerleri				
Sınır Değeri	Günlük Ortalama	Aşılmaması İstenen Gün Sayısı	Sınır Değerin Aşıldığı Gün Sayısı	Yıllık Ortalama
Veren Kuruluş	Sınır Değer			Sınır Değer
	(mg/m ³)			(mg/m ³)
WHO (1)	-	-	-	-
EPA (2)	150	-	10	50
EU (3)	50	35	93	40
BENELUX (4)	-	-	-	-
HKKY (5)	300	-	-	150
(1) : - Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO 1999a) (2) : - Amerikan Çevre Koruma Ajansı (National Ambient Air Quality Standarts) (3) : - Avrupa Birliği (Council Directive 1999/30/EC of 22/11/99) (4) : - Belçika, Hollanda, Lüksemburg Standartları (5) : - T.C. Hava Kalitesi Korunması Yönetmeliği Madde:6				

Asılı partikül madde miktarı ise Burç marka cihaz üzerine yerleştirilen filtre kağıdı yardımıyla tayin edilmiştir. Gün boyunca ve belli periyotlarla filtre içerisinden geçirilen hava içindeki asılı partikül, filtre kağıdı üzerinde toplanmıştır. Filtre kağıdı üzerinde PM lekesi şeklinde ki PM miktarı filtre kağıdının koyuluğuna göre reflektometre değeri olarak Ringelman indeksi içerisinde işaretlenmiştir. Bu reflektans değerinin indeks

içerisindeki karşılığı olan yüzey konsantrasyonları miktarı, asılı partikül madde miktarını yansıtmıştır.

Tablo 2. Türkiye’de hava kalitesi sınır değerleri (12)

Kükürt Dioksit (SO ₂) Kükürt Trioksit (SO ₃) Dahil	Birim	UVS Uzun Vade Sınır	KVS Kısa Vade Sınır
a) Genel	ug/m ³	150	400 (900)
b) Endüstri Bölgesi	ug/m ³	250	400 (900)
Karbon Monoksit (CO)	ug/m ³	10000	30000
Azot Dioksit (NO ₂)	ug/m ³	100	300
Azot Monoksit (NO)	ug/m ³	200	600
Klor (Cl ₂)	ug/m ³	100	300
Klorlu Hidrojen (HCl) ve Gaz Halde Anorganik			
Klorürler (Cl ^{**})	ug/m ³	100	300
Florlu Hidrojen (HF) ve Gaz Halde Anorganik Florürler (F ^{**})	ug/m ³	-	10 (30)
Ozon (O ₃) Fotokimyasal Oksitleyiciler	ug/m ³	-	240
Hidrokarbonlar (HC)	ug/m ³	-	140 (280)
Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	ug/m ³	-	40 (100)
Havada Asılı Partikül Maddeler			
(PM) (10 mikron ve daha küçük Partiküller)			
a) Genel	ug/m ³	150	300
b) Endüstri Bölgesi	ug/m ³	200	400
PM için kurşun (Pb) ve bileşikleri	ug/m ³	2	-
PM için Kadmiyum (Pb) ve bileşikleri	ug/m ³	0.04	-
Çöken Tozlar (10 mikrondan büyük partiküller dahil)	mg/m ² gün		

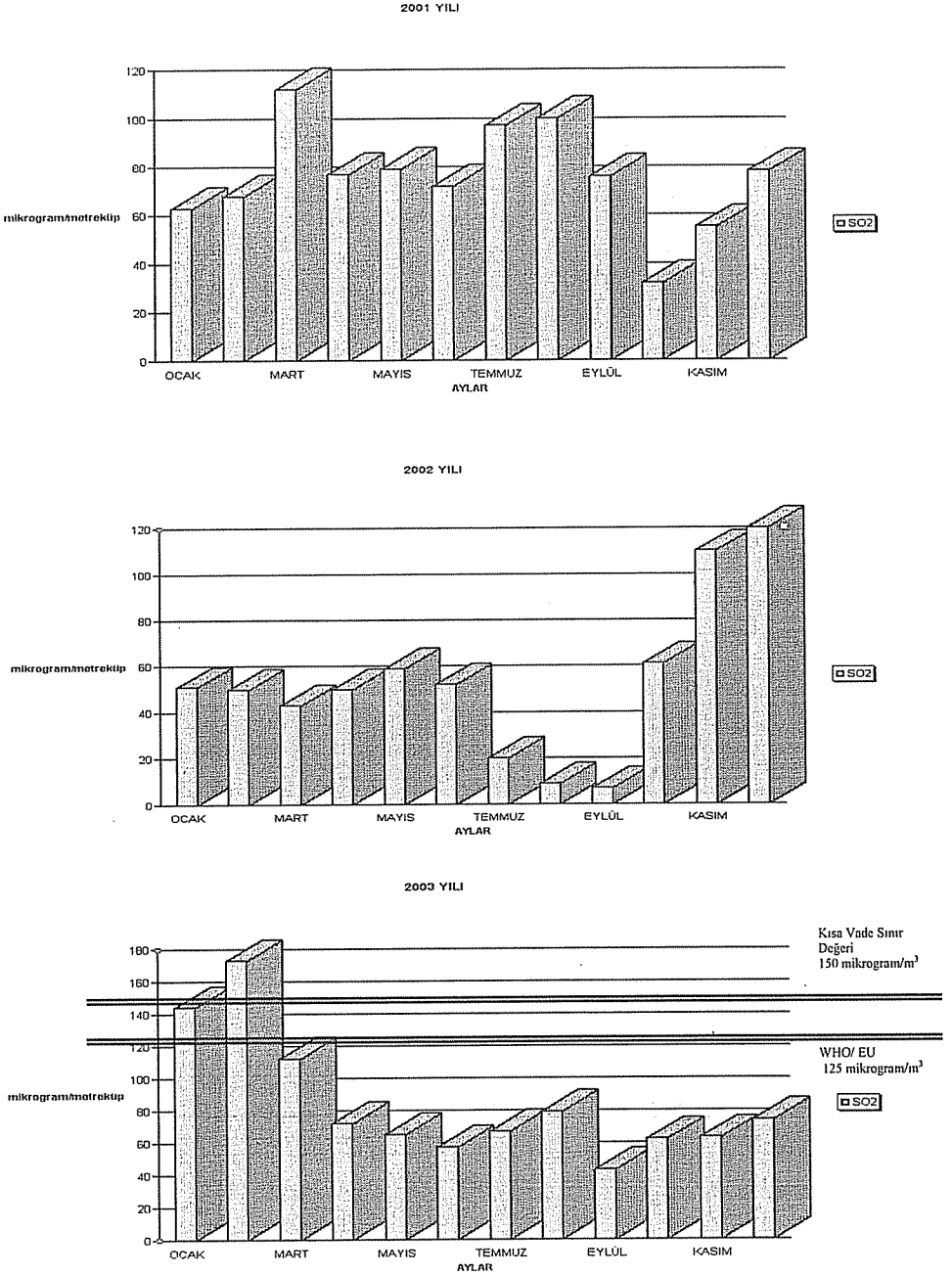
Niğde il merkezinde ölçüm yapılan istasyonda 2001, 2002 ve 2003 yıllarına ait SO₂ ve asılı partikül madde analizi yapılarak değişim değerleri bulunmuştur. Bu değerlere göre SO₂ konsantrasyonları incelendiğinde, meteorolojik anlamda hava kirliliğinin boyutlarının ifade edilmesinde Kısa Vade Sınır değer (KVS) 150 mikrogram/m³ olarak, Dünya Sağlık Teşkilatının (1, 11) ve Avrupa Birliğinin (EU) belirlediği günlük (125 mikrogram/m³) sınır değerleri dikkate alınmıştır. T.C. Hava Kalitesi Korunması

Yönetmeliğinin (HKKY) belirlediği günlük ortalama değer ise 400 mikrogram/m³ tür (Tablo 1). Asılı partikülün hava kirliliği boyutlarının ifade edilmesinde ise Avrupa Birliğinin (EU) 50 mikrogram/m³ ve T.C.Hava Kalitesi Korunması Yönetmeliğinin (HKKY) 300 mikrogram/m³ olarak günlük ortalama sınırı dikkate alınmıştır. 2001, 2002 ve 2003 yıllarına ait SO₂ ve asılı partikül madde konsantrasyon değerleri Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir.

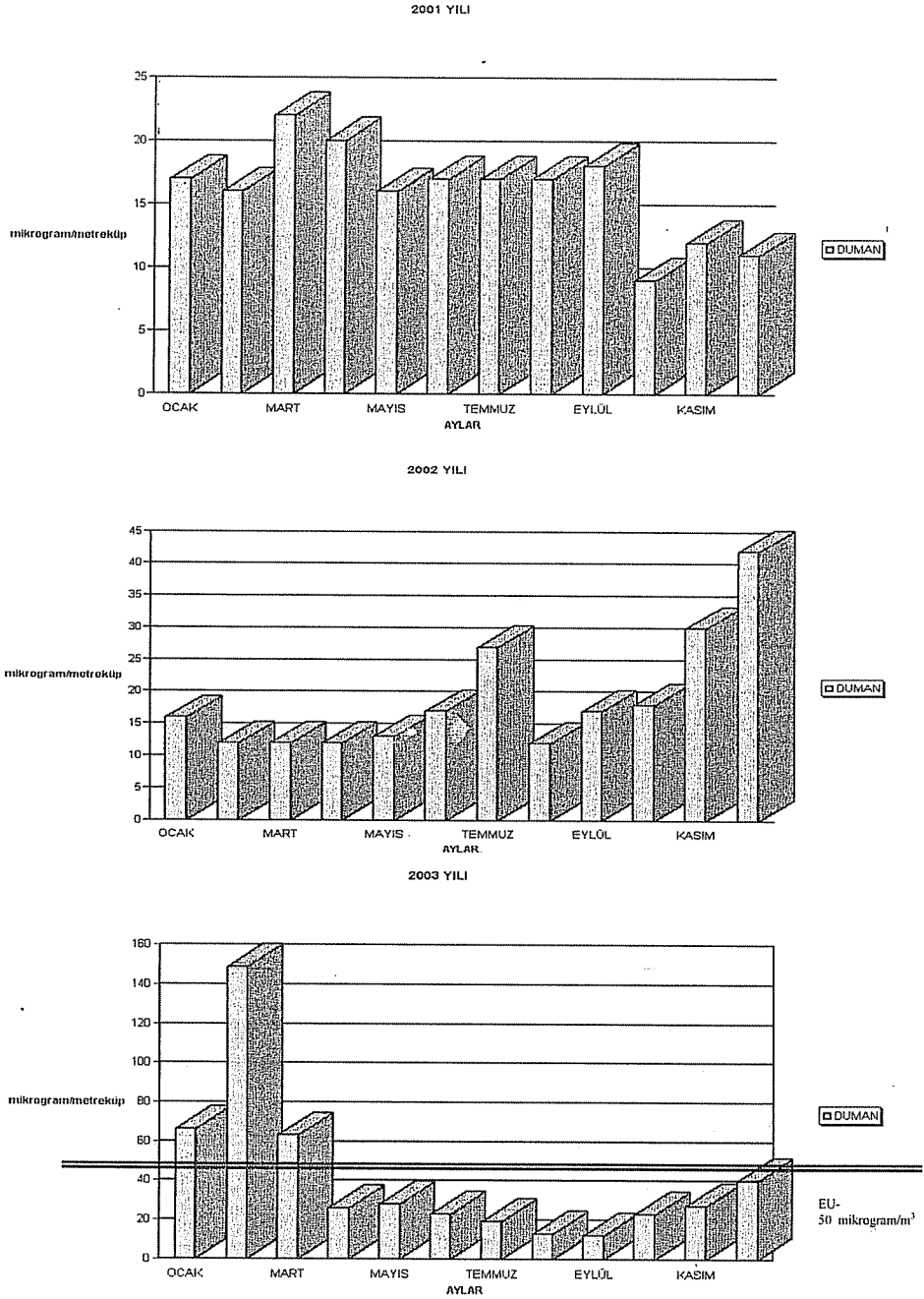
2001, 2002 ve 2003 yıllarına ait meteorolojik verilerde farklılıklar olmadığı için, bu çalışmada uzun vadede yıllık meteorolojik veriler kullanılmıştır. Niğde'nin uzun vadede yıllık meteorolojik verilerine göre ortalama sıcaklığın en fazla Aralık, Ocak ve Şubat aylarında düştüğü gözlenmiştir (Tablo 3). Bu aylarda sıcaklığın -0,5 ile 1,6 °C arasında olduğu anlaşılmıştır. Yine 20,8 ile 24,8 donlu gün sayısı olarak Aralık, Ocak ve Şubat aylarında en fazla donlu gün değeri alınmıştır. Bu aylar diğer aylara göre en soğuk aylar olarak belirlenmiştir. Diğer aylardan Kasım ve Mart aylarında sıcaklığın 6,2°C ile 4,6°C arasında olduğu, donlu gün sayısının 11 ile 16,6 olduğu, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Eylül, Ekim ve Aralık aylarında sıcaklığın 10°C'nin üstünde, aynı aylarda donlu gün sayısının 4 günden daha az olduğu gözlenmiştir. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında don gözlenmemiştir. 19,1°C ile 22,3°C arasındaki sıcaklıklara sahip Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları yılın en sıcak aylarıdır. Ortalama yağmur gün sayısına bakıldığında Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında 10 ile 12 yağmurlu gün gözlenmektedir. Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında kar yağışı gözlenmemiştir. Ocak ayında karla örtülü gün sayısı 11,5 gün olup, en fazla değere sahiptir. Aralık ve Şubat aylarında yaklaşık olarak 6 ile 8 gün karla örtülü gün olup, bu oran Kasım, Mart ve Nisan ayında 0,3 ile 3,2 arasında değişmektedir. Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında karla örtülü gün gözlenmemiştir. Niğde ilinin Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları yılın en sıcak, Aralık, Ocak ve Şubat ayları en soğuk ayları olarak gösterilebilir. Niğde ilinin 5 yıllık süreçte ortalama aylık sıcaklık 10,9°C ortalama yağışlı gün sayısı 95,4 gün, ortalama kar yağışlı gün sayısı 18,1 gün, ortalama karla örtülü gün sayısı 29,8 gün ve ortalama donlu gün sayısı da 99,9 gün olarak verilebilir.

Asılı partikül madde konsantrasyonları EU'nun günlük ortalama sınır değerine göre 2001 ve 2002 yılı için aşılmamış ancak 2002 yılı Aralık ayında 42 mikrogram/m³lük değer ile bu sınıra ulaşılmıştır. 2003 yılı için Aralık ayında EU'nun sınırına yaklaşılmış, Ocak, Şubat ve Mart ayında bu sınır aşılmıştır. Şubat ayında sınır değer yaklaşık 3 kat aşılmıştır. (Şekil 3). Bununla birlikte her bir ayın SO₂ konsantrasyonlarının aritmetik ortalamaları alındığında (Tablo 4), 2001 yılında Mart ve Ağustos ayında, 2002 yılında Kasım ve Aralık ayında, 2003 yılında ise Mart ayında EU'sını olan 125 mikrogram/m³ sınıra yaklaşılmıştır. Ayrıca 2003 yılının Ocak ayında KVS sınırına yaklaşılmış ve Şubat ayında, 150 mikrogram/m³ olan KVS sınır değeri aşılmıştır (Şekil 2).

NİĞDE MERKEZİ SO₂ VE PATİKÜLER MADDE (PM) ANOMALİSİ



Şekil 2. Niğde merkezinde ölçülmüş SO₂ konsantrasyonlarının aylara ve yıllara göre değişimi.



Şekil 3. Niğde merkezinde ölçülmüş asılı partikül madde (duman) konsantrasyonlarının aylara ve yıllara göre değişimi.

Tablo 3. Niğde İli'nin uzun vadede 5 yıllık ortalama yıllık meteorolojik verileri (13,14).

NİĞDE 37°58'-34" 45' H:1211	Aylık Ortalama Sıcaklık	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Ortalama Karlı Yağışlı Gün Sayısı	Karla Örtülü Günler	Donlu Günler
OCAK	-0,5	11,4	5	11,5	24,8
ŞUBAT	1	10,9	5,4	7,6	20,8
MART	4,6	11,8	3	3,2	16,6
NİSAN	10,4	11,3	0,4	0,3	3,6
MAYIS	15	11,9	0	0	0,1
HAZİRAN	19,1	6,2	0	0	0
TEMMUZ	22,3	1,7	0	0	0
AĞUSTOS	22	1,3	0	0	0
EYLÜL	17,5	2,8	0	0	0,1
EKİM	11,9	6,6	0	0	2,1
KASIM	6,2	7,8	1	1,3	11
ARALIK	1,6	11,3	3,2	5,9	20,9
YILLIK	10,9	95,4	18,1	29,8	99,9

Tablo 4. Niğde Merkezindeki Aylık Hava Kirlenici Parametrelerin 3 Yıllık Değişim Yüzdesi (14)

AYLAR	2001 ölçüm yapılan gün sayısı	2001 aritmetik ortalama mikrogram/m ³		2001-2002 değişim %'si		2002 ölçüm yapılan gün sayısı	2002 aritmetik ortalama mikrogram/m ³		2002-2003 değişim %'si		ölçüm yapılan gün sayısı	2003 aritmetik ortalama mikrogram/m ³	
		SO ₂	PM	SO ₂	PM		SO ₂	PM	SO ₂	PM		SO ₂	PM
OCAK	31	63	17	19(az)	6(az)	31	51	16	182(art)	313(art)	31	144	66
ŞUBAT	28	68	16	26(az)	25(az)	28	50	12	246(art)	1142(art)	22	173	149
MART	31	112	22	62(az)	45(az)	31	43	12	160(art)	425(art)	31	112	63
NİSAN	30	77	20	35(az)	40(az)	-	50	12	44(art)	117(art)	30	72	26
MAYIS	31	79	16	25(az)	18(az)	23	59	13	10(art)	115(art)	31	65	28
HAZİRAN	30	72	17	28(az)	0	30	52	17	10(art)	35(art)	30	57	23
TEMMUZ	31	97	17	79(az)	58(art)	17	20	27	235(art)	30(az)	31	67	19
AĞSTS	31	100	17	91(az)	29(az)	31	9	12	778(art)	8(art)	31	79	13
EYLÜL	25	76	18	91(az)	6(az)	30	7	17	514(art)	29(az)	30	43	12
EKİM	31	32	9	91(art)	100(art)	31	61	18	2(art)	28(art)	31	62	23
KASIM	30	55	12	100(art)	150(art)	30	110	30	43(az)	10(az)	21	63	27
ARALIK	31	78	11	53(az)	281(art)	31	120	42	38(az)	5(az)	31	74	40

art:artan az: azalan

2001 ve 2002 yılı karşılaştırıldığında genel olarak SO₂ yüzde değerinin azaldığı (Ekim, Kasım ve Aralık ayı hariç), ancak asılı partikül madde oranının ise Temmuz, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında arttığı izlenmiştir (Tablo 4). 2001 ve 2002 yılları arasında SO₂ nin azalma yönündeki en fazla değişim yüzdesi %91 olarak Ağustos ve Eylül ayında gerçekleşmiştir. Artış yönündeki en fazla değişim yüzdesi ise %100 olarak Kasım ayında gerçekleşmiştir. 2001 ve 2002 yılları arasındaki asılı partikül maddenin azalma yönündeki en fazla değişim yüzdesi %45 olarak Mart ayında, artış yönündeki değişim yüzdesi ise %281 olarak Aralık ayında gerçekleşmiştir.

2002 ve 2003 yılları arasındaki SO₂ ve asılı partikül madde yüzde oranlarına bakıldığında SO₂ ve asılı partikül madde de oldukça fazla artış gözlenmektedir. 2002 ve 2003 yılları arasındaki SO₂ nin azalma yönündeki en fazla değişimi %43 olarak Kasım ayında, artış yönündeki en fazla değişimi %778 olarak Ağustos ayında gerçekleşmiştir (Tablo 4). 2002 ve 2003 yılları arasında bazı aylar arasında yüzde değişim değerlerinin yüksek gözükmesi, hava kirliliğinin yüksek oranlarda olduğu anlamına gelmemelidir. Bu değişim anomalisinin yüksek olmasını, 2002 yılına ait ölçülmüş SO₂ ve asılı partikül madde değerlerinin çok düşük olması ile ilişkilendirebiliriz. Bununla beraber 2003 yılında, sadece Şubat ayında 150 mikrogram/m³lük sınır görülmüştür.

2003 yılında genel olarak SO₂ ve asılı partikül madde oranı bir önceki yıla göre artış göstermektedir. Bu oranların artış sebebi, endüstriyel sektörlerin artışı; yaklaşık olarak 30 fabrika ve küçük işletmeler olarak verilebilir. Bunlar, 1 adet çimento fabrikası, organize sanayi içerisindeki 9 adet tekstil (iplik-konfeksiyon-halı) fabrikası, 2 adet kurulu makina sanayisi, 1 adet makina yedek parça imalatı, 7 adet gıda (un-yem-meşrubat) üretim tesisi, 4 adet yapı fabrikası (cam-bina-yapı malzemesi), 4 adet mobilya fabrikası, 1 adet Bor şeker fabrikası, 1 adet yem fabrikası ile diğer küçük ölçekli fabrika ve işletmeler şeklinde sıralanabilir. Ayrıca 1 adet enerji santrali, motorlu taşıt oranındaki artış, binalarda kalitesiz yakıtların kullanılması, ucuz ve kalitesiz katı yakıtların şehire girişi (16), kış şartlarının ağır geçmesi, ehliyetsiz kişilerin kaloriferçilik yapması gibi sebeplerde hava kirliliğine sebep olabilir.

4. HAVA KİRLİLİĞİNİN SAĞLIK RİSK GRUPLARI VE SAĞLIĞA ETKİLERİ

Bölgesel ölçekte tüm önemli hava kirletici kaynaklar (sanayi, evsel ısınma ve trafik) önemli derecede ön plana çıkmıştır. Hava kirleticilerin etkisiyle havadaki kükürt ve PM oranının ciddi sağlık problemleri oluşturabileceği açıktır. Belli başlı tehlikeli hava kirleticilerin ABD'de deki emisyon miktarları, emisyonların kaynaklara göre dağılımı Tablo 5'de görülmektedir: Bu kapsamda, emisyon miktarları dikkate alınarak standartlara uygun olarak bölgesel anlamda çalışmalar yapılması uygun olacaktır.

Hava kirliliğinin sağlık etkisi öksürük ve bronşitten, kalp hastalığı ve akciğer kanserine kadar değişmektedir. Kirliliğin olumsuz etkileri sağlıklı kişilerde bile gözlenmekle birlikte, bazı duyarlı gruplar (Tablo 6) daha kolay etkilenmekte ve insan sağlığını etkileyen daha ciddi sorunlar (Tablo 7) ortaya çıkmaktadır. Çevresel hava kirliliğinin toplum sağlığı ile ilişkisi değerlendirilirken yukarıda sıralanan doğrudan sağlık etkilerinin yanı sıra içme ve sulama suyu kaynaklarının, bitki örtüsünün zarar görmesi ve mikro klima değişiklikleri nedeniyle dolaylı etkilerini de göz önünde bulundurmak gereklidir (15).

Tablo 5. hava kirleticilerin ABD'de deki emisyon miktarları ve toksik maddeler (2).

Kaynak	Emisyon Kg/yıl	Toksik Madde
Hareketli Kaynaklar: Taşıt Araçları	1,389,111	Asetaldehit, Benzen ,3-Butadien, Formaldehit, Toluen, Ksilen
Tüketim ve Ticari Ürünlerde Solvent Kullanımı	414,096	Metanol, Metil kloroform, Toluen, Ksilen
Açık Havada Yanma: Orman ve Doğal Yaşam	207,663	Asetaldehit, Akrolien, Benzen, 1,3-Bütadien, Formaldehit, Toluen, Ksilen
Glikol Dehidratörler (Yağ ve Gaz Üretimi)	206,065	Benzen, Toluen, Ksilen
Hareketli Kaynaklar: Yol Araçları Dışında Kalanlar	145,866	Asetaldehit, Benzen, 1,3-Bütadien, Formaldehit
Açık Havada Yanma: Tanımlananlar	134,149	Asetaldehit, Akrolien, Benzen, Formaldehit
Evsel Kazanlar: Odun ve Ahşap Artıkları	98,646	Asetaldehit, Benzen, POM Combustion
Kuru Temizleme: Perkloroetilen	95,700	PerkloroEtilen
Organik Kimyasallar Üretimi	91,419	Benzen, Etilen glikol, Hidrojen klorür, Metanol, Metil klorür, Toluen
Kağıt Üretimi	88,579	Asetaldehit, Benzen, Karbon tetraklorür, Formaldehit, Hidroklorik asit, Metanol, Metilen klorür
Halojenli Solvent Temizleme (Degreasing)	61,374	Metil kloroform, Metilen klorür, PerkloroEtilen, TrikloroEtilen
Petrol Rafinasyonu	27,115	Benzen, Hidroklorik asit, Toluen, Ksilen
Evsel Atık Yakma	24,777	Formaldehit, Hidrojen klorür, Mangan, Cıva, Kurşun
Taşıt Araçları(Boyama)	23,081	Metil kloroform, Toluen, Ksilen
Benzin Dağıtımı	21,512	Benzen, Glikol ethers, Naphthalene, Toluen
Sınai Kazanlar: Kömür Yakma	21,404	Hidrojen fluoride, Mangan, Metilen klorür, Selenyum
Plastik Ürünler ve Reçine Üretimi	20,830	Metanol, Metilen klorür, Stiren, Vinil asetat
Esnek Poliüretan Köpük Üretimi	19,550	Metilen klorür

5. SONUÇLAR

2001, 2002 ve 2003 yılları arasında 2003 yılı SO₂ ve asılı partikül madde açısından önemli artış göstermiştir. 2003 yılı Ağustos ayı % 778 (yaklaşık 8.7 kat) artış değişimi ile en fazla SO₂'nin görüldüğü ay olmuştur. Ancak bunun nedeni 2002 yılı SO₂ değerinin çok düşük çıkmasıdır. 2003 yılı Ağustos ayında görülen SO₂ değeri aynı yıla ait diğer aylardan çok farklı değildir. 2003 yılı Şubat ayında da % 1142'lik asılı partikül madde (yaklaşık 12.4 kat) artışı maksimum değişimi yansıtmıştır.

WHO ve EU'nun belirlediği uzun vadeli 125 mikrogram/metre³lük SO₂ sınırının 2003 yılının Ocak ve Şubat ayında aşıldığı görülmüştür. Diğer yıllarda bu sınır geçilmemiştir. Aynı yıl Ocak, Şubat ve Mart ayında

Tablo 6. Hava Kirliliği ve Risk Grupları (17).

Bebekler ve gelişme çağındaki çocuklar
Gebe ve emzikli kadınlar
Yaşlılar
Kronik solunum ve dolaşım sistemi hastalığı olanlar
Endüstriyel işletmelerde çalışanlar
Sigara kullananlar
Düşük sosyo-ekonomik grup içinde yer alanlar

Tablo 7. Genel olarak havadaki kirleticilerin sağlığa etkileri (17).

Solunum fonksiyonlarında bozulma
Solunum sistemi hastalıklarında artış
Kronik solunum sistemi hastalığı olan kişilerin hastalıklarının alevlenmesinde artış
Kronik kalp hastalığı olan kişilerin hastalıklarının alevlenmesinde artış
Kanser oranlarında artış
Erken ölüm oranlarında artış
Sinir bozuklukları ve psikolojik bozukluklarda artış
Kan zehirlenmelerinde artış (özellikle hamilelerde)

SO₂ değerinin yüksek çıkmasının sebebi yıllık meteorolojik verilere göre en soğuk olan bu aylarda kirletici parametrelerin fazlaca artış göstermesi düşünülmüştür.

WHO ve EU'nun belirlediği 50 mikrogram/metre³lük sınır sadece 2003 yılında geçilmiştir. Aynı yıl Şubat ayında geçilen değer yaklaşık 3 kat fazla çıkarak yüksek anomali vermiştir. 2001, 2002, 2003 yıllarında HKKY' nin belirlediği SO₂ ve asılı partikül madde için günlük ortalama sınır değer aşılmamıştır. Ancak hava kirliliği konusunda hedef ve WHO ve EU sınırları olmalıdır. İnceleme alanında ortalama aylık sıcaklık 10.9⁰C ortalama yağışlı gün sayısı 95.4 gün, ortalama kar yağışlı gün sayısı 18.1 gün, ortalama karla örtülü gün sayısı 29.8 gün ve ortalama donlu gün sayısı da 99.9 gün olarak verilebilir.

Hava kirlitçilerin etkisiyle oluşan havadaki kükürt ve PM oranının ciddi sağlık problemleri oluşturabileceği ve bu hastalıkların öksürük ve bronşitten, kalp hastalığı ve akciğer kanserine kadar değişebileceği, bu nedenle hava kirliliği problemlerini çözmek için iyi bir envanter çalışmasına sahip olmadan hava kalitesini iyileştirmenin mümkün olmayacağı görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

1. World Health Organization, *Principles and methods for assessing allergic hypersensitization associated with Exposure to Chemicals 1999 A.D.; Environmental Health Criteria - EHC 212* (Geneva, Switzerland).
2. Atamer,B., "Havadaki Uçucu Organiklerin Örneklenmesi ve Analizi", Ankara, 2000.
3. Yalçın,M.G. ve Ulaşlı,A., "Niğde Merkezinde Hava Kirliliğinin İncelenmesi" (1998-2000), *Mühendislik Bilimleri Dergisi, Sayı: 2 Cilt: 4, sayfa: 11-19, Niğde, 2000.*
4. DİE, Devlet İstatistik Enstitüsü Başkanlığı, *Haber Bülteni, Ankara, 1999.*
5. DMİ, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, *Hava Kirliliği ve Asit Yağmurlarının İzlenmesi, Ankara, 1998.*
6. ÇKÖK, Çevre Kirliliğini Önleme ve Kontrol Genel Müdürlüğü, *Kava Kirliliği Kontrolü, Ankara, 1999.*
7. Borat,O., "Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği", *Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı SEGEM yayını, Ankara, 1983.*
8. Budak,F. ve Atlı,A., "Adana İlindeki Endüstriyel Sektörlerin Kirliticilik Oranlarının Tahmini", *ÇÜ Müh.Mim.Fak.Dergisi, cilt 17, sayı 1-2, s 203-214, Adana, 2002.*
9. Elbir,T., Müezzinoğlu,A., Bayram,A., Seyfioğlu,R., Demircioğlu,H., "Ege Bölgesi Hava Kirlitici Emisyon Envanteri", *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 3 Sayı: 2 Sh. 21-27 Mayıs 2001.*
10. www.ibb.gov.tr/ibbtr/102/10206/1020635/fi/2003/havaolcum.htm
11. World Health Organization, *Principles for the assessment of risks to human health from exposure to chemicals; Environmental Health Criteria (EHC) 210* (Geneva, Switzerland), 1999 b.
12. *Türk Çevre Mevzuatı, Türk Çevre VakfıYayını, Haziran 1992*
13. Altın,B.N., "Klimatik Özellikler", *Niğde İl Yıllığı, 1997.*
14. NÇİM, *Hava Kirliliği ve Meteoroloji Ölçüm Sonuçları, Niğde İl Çevre Müdürlüğü, Niğde, 2003.*
15. Müezzinoğlu,A., "Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları" (2. baskı), ISBN, 6981-36-9, Yay. No: 0908.87.dk.0006.042, *Dokuz Eylül Yayınları, İzmir, 2000.*
16. Koç,T., ve Tağlı,Ş., "1998 Yılı Edirne Kentinde Hava Kalitesi", *Türkiye Coğrafya Kurumu, 28. Coğrafya Meslek Haftası, 10-12 Haziran 1998, s. 115-132, Edirne, 2000.*
17. www.ttb.org.tr/yatağan/3.html

KIZIL (YAHYALI/KAYSERİ) DEMİR CEVHERLEŞMESİNİN JEOKİMYASAL İNCELEMESİ

Mustafa AKYILDIZ ve Sibel ERGÜL

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

ÖZET : İnceleme alanındaki cevherleşmeler Orta Kambriyen yaşlı, tabanı konglomera ile başlayan ankeritik kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve killi kireçtaşları ile Orta-Üst Kambriyen yaşlı kireçtaşı birimi içerisinde yer almaktadır. Cevherleşmenin ana mineralleri siderit, ankerit ve hematitlerdir, bunlara eşlik eden gang mineralleri ise kalsit, kuvars ve baritlerdir. Ayrışma süreçlerine bağlı olarak, hematitler limonit ve götit gibi ikincil cevher bileşenlerine dönüşmüşlerdir. Kızıl demir cevherleşmesinden cevher ve yan kayaç örneklerinden ana oksit ve iz element analizleri yapılmıştır. Elde edilen verilere göre cevher örneklerinde ana oksit bileşenleri çokluk sırasına göre Fe_2O_3 , SiO_2 , CaO , MgO , MnO , Al_2O_3 'dur. Düşük oranda ölçülen Cr_2O_3 , Co ve Ni konsantrasyonları, yatağın bazik magmatik veya volkanik bir kökenle ilişkili olmadığını göstermektedir. Ba değerleri 125-63468 ppm arasında bulunmaktadır. Bu durum ise cevher oluşumunda hidrotermal çözeltilerin oldukça fazla etkili olduğunu göstermektedir. Yan kayaç ve cevher örneklerinin NTE değerlerinin birbirleriyle uyumsuz oluşu, yan kayaç ve cevherin benzer kökenli olmadığını düşündürmektedir. Sonuç olarak, Eu'da gözlenen pozitif anomali ve buna karşılık Ce'de gözlenen negatif anomali cevherleşmenin hidrotermal kökenli olduğuna işaret etmektedir.

THE GEOCHEMISTRY INVESTIGATION OF THE KIZIL (YAHYALI/KAYSERİ) IRON MINERALIZATIONS

ABSTRACT : The mineralization in the study area is situated in the dolomitic, ancretic and clayey limestones of Middle -Upper Cambrian age. The main ore minerals are siderite, ankerite and hematite whereas gang minerals are calcite, quartz and barites. Due to the alteration processes, hematites were transformed into gothite and limonites as secondary mineralization components. The rare and main oxide element analyses were performed from the host rock and main mineralization. The main oxides in descendent order were determined as Fe_2O_3 , SiO_2 , CaO , MgO , MnO , Al_2O_3 . Low concentrations of CrO_3 , CO and Ni refers no relation with basic magma or volcanic origin of ore deposit. The Ba values ranging between 125-63468 ppm suggest that hydrothermal processes were effective during ore mineralization. The inconvenience of REE values from the host rock and mineralization indicate that their genesis are different. Finally, positive and negative observed anomalies from Eu and Ce support the hydrothermal origin of the ore mineralization.

* Bu çalışma Çukurova Üniversitesi BAPKOM tarafından MİM2002BAP19 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

1. GİRİŞ

Demir yerkabuğunda bolluk sırasına göre en yaygın dördüncü element olup, sanayinin temel hammaddesini oluşturmaktadır. Türkiye’de Sivas-Malatya havzası ve Kayseri-Kahramanmaraş-Adana illeri arasında kalan havza olmak üzere başlıca iki büyük demir havzası bulunmaktadır. Üretilen demir bölgeye yakın Demir çelik fabrikalarının hammadde ihtiyacını karşılamaktadır.

İnceleme alanı Türkiye’nin işletilebilir özellikteki ikinci büyük demir bölgesini oluşturmaktadır (Şekil 1). Bölgede yürütülen çalışmalar özellikle Türkiye Demir Çelik (TDÇİ) sahalarında rezerve yönelik yapılmıştır. İnceleme alanın ve yakın çevresinde ilk jeolojik çalışmalar Blumental (1) ile başlamış Demirtaşlı (2), Özgül (3), Metin vd. (4), Tekeli (5) ve Ayhan (6) tarafından incelenmiştir. Cevherleşmeye yönelik çalışmalar ise Lucius (7) ile başlamış Henden ve Önder (8), ile devam etmiş Küpeli (9,10) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda Attepe demir cevherleşmesinin Üç ayrı tipte yataklandığını Bunların; Sedimanter oluşumlu pirit ve hematit, Hidrotermal oluşumlu hematit, siderit ve karstik demir cevherleşmesi olarak saptamıştır. Bunlardan farklı olarak Ünü ve Stendal (11,12) jeokimyasal incelemelere göre sedimanter oluşumu savunmuşlardır.

Bölgedeki cevherleşmeler Orta Kambriyen yaşlı, tabanı konglomera ile başlayan ankeritik kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve killi kireçtaşları ile Orta-Üst Kambriyen yaştaki alacalı renkli yumrulu kireçtaşı birimi içerisinde yer almaktadır. Siderit-ankerit ve hematit gibi birincil cevherleşmeler Paleozoyik yaşlı tüm birimler içerisinde görülebilen tamamen tektonik kontrollü damar, mercek ve düzensiz sınırlı kütleler şeklindedir. Ekonomik cevherleşmeler ise karbonatlı kayaçların kırıklarında veya bunların tektonik dokanaklarında oluşmuştur.

Bu araştırmanın ile Elmadağ ve Karaçat Tepe dolaylarında özel sektör tarafından işletilen Kızıl demir ocaklarının bulunduğu yaklaşık 20 milyon ton rezerv olduğu tahmin edilen bölgedeki demir cevherinin jeokimyasal özellikleri incelenmiştir.

Kızıl demir cevherleşmesinin jeokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla 8 adet cevher, 5 adet yan kayaç örneğinin kimyasal analizleri Kanada Acme Analiz Laboratuar’ında gerçekleştirilmiştir. Ana oksit ve iz element analizleri ICP-ES’de nadir toprak element analizleri ise ICP-MS’de yapılmıştır.

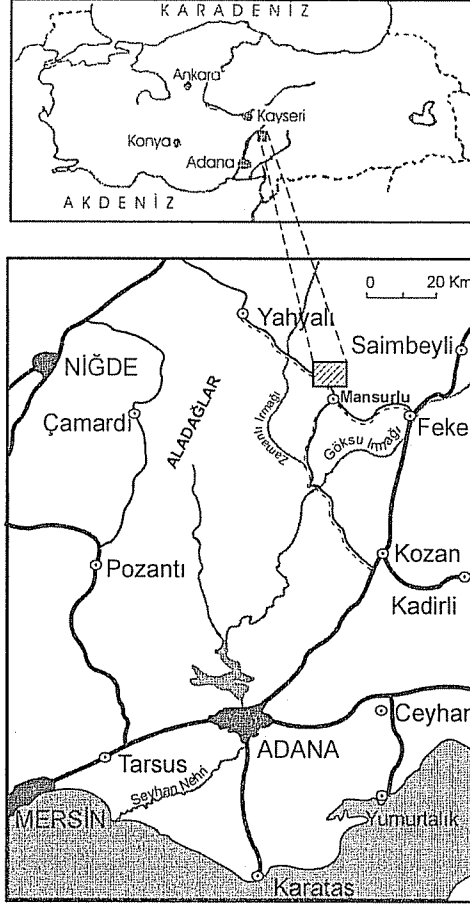
2. JEOLOJİ

İnceleme alanı Geyikdağ birliğine ait İnfrakambriyen yaşlı Sicimindağı Formasyonu, Alt- Orta Kambriyen yaşlı Karaçat tepe Formasyonu, Üst Kambriyen-Ordovisiyen yaşlı Kartalkaya Formasyonu, Bunların üzerine açısız uyumsuzlukla gelen Jura- Alt Kretase yaşlı Karakızoluğu Formasyonu, Bozkır Birliğine ait Maestrihtiyen’de bölgeye yerleşen Delialıuşağı Ofiyoliti ile Alt Miyosen yaşlı konglomera-marn aralanmasından oluşan Mesozoyik birimlerinden oluşmaktadır (5).

2.1. Sicimindağı Formasyonu

İnfrakambriyen yaşlı Sicimindağı Formasyonu, Attepe ve Kandilcikkere olmak üzere iki üyeye ayrılmaktadır (9). Attepe üyesi, rekristalize kireçtaşı bant ve merceklerini içeren bitümlü şist, fillit ve şeyllerden oluşmaktadır. Kandilcikkere üyesi, yer yer rekristalize kireçtaşı ve dolomit merceklerini içeren metakumtaşı, metakuvarsit,

fillit ve şistlerle temsil edilmektedir. Birimin içerisinde hakim litolojiyi metakumtaşlarıyla birlikte metakuvarsitler oluşturmaktadır. Sicimindağı Formasyonun yaşı Küpeli tarafından İfrakambriyen yaşı olarak belirtilmiştir (10).



Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası

2.2. Karaçat Tepe Formasyonu

Küpel tarafından Alt-Orta Cambriyen yaşı Karaçat Tepe Formasyonu Menteşdere ve Uyuzpınarı olmak üzere iki üyeye ayrılmıştır (9). Menteşdere Üyesi genel olarak, kırmızımsı kahve renkli yer yer ankeritleşmiş dolomitlerden oluşan üye, bazen kireçtaşı mercek seviyelerini de kapsamaktadır. Menteşdere üyesi altta Sicimindağı Formasyonuna ait Kandilcikdere üyesi üzerine tedrici geçişli olarak gelirken, Uyuzpınarı üyesine ait dolomitli kireçtaşları Menteşdere üyesi üzerinde tedrici geçişli olarak bulunmaktadır. Yer yer birbirlerine yanal yönde de tedrici geçişler gösteren bu iki üye, bazen birbirlerinin yerini alabilmektedirler (10).

Uyuzpınarı Üyesi açık veya koyu gri renkli, yer yer alg izleri taşıyan kireçtaşılarıyla temsil edilmektedir. Bunun yanısıra, üye içerisinde dolomitli kireçtaşı ve ankeritik kesimler ile kalkıştırmec ve seviyelerine de rastlanmaktadır. Karaçat Tepe Formasyonuna ait Menteshdere üyesi üzerine tedrici geçişli olarak gelen Uyuzpınarı üyesi, Kartalkaya Formasyonuna ait Elmadağı üyesi tarafından da uyumlu olarak örtülmektedir. Küpeli'ye göre Karaçat Tepe Formasyonunun yaşı Alt-Orta Kambriyen olarak kabul edilmiştir(10).

2.3. Kartalkaya Formasyonu

Küpeli tarafından kalkıştırmec-yumrulu kireçtaşı, kireçtaşı ve şistlerle temsil edilen Elmadağı ve Alt kesimlerinde yumrulu kireçtaşı-kalkıştırmec; üst kesimlerinde ise metakumtaşı-metakuvarsit mercceklerini kapsayan şist ve fillitlerden oluşan Eğrisöğüttere olmak üzere iki üyeye ayrılmıştır (9). Elmadağı ve Eğrisöğüttere üyelerinden oluşan Kartalkaya Formasyonu içerisinde fosil izine rastlanmamıştır. Bundan dolayı Kartalkaya Formasyonunun yaşı lito ve kronostratigrafik olarak denestirilebildiği Üst Kambriyen-Ordovisiyen yaşlı Armutludere Formasyonu Ayhan (6) ile aynı kabul edilmiştir (10).

2.4. Karakızoluğu Formasyonu

Karakızoluğu Formasyonu, birbirleriyle sık sık yanal ve düşey yönlü fasiyes değişimleri yapan metakonglomera, fillit, şist, kalkıştırmec ve rekristalize kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Açık veya koyu gri renkli, masif yapıllı, bazen çok kalın tabakalı olan metakonglomeralar, genellikle inceleme alanında yüzeylemiş olan daha yaşlı birimlere ait çakıl ve blokları kapsamaktadır.

2.5. Delialıuşağı Ofiyoliti

Toroslar'ın Aladağlar bölgesinde Maestrihtiyen'de kıta kenarına yerleşmiş olup, tabanda ofiyolitli melanj, üzerinde metamorfik dilim ve en üstede peridotit napı olmak üzere üçlü bir ofiyolit dizisi oluştururlar (13). Metamorfik birim çört bantlı pelajik şeyler, metakuvarsitler, amfibolit ve metagabrolar ile metadiyorit gibi metamorfik kayaçlardan oluşmaktadır. Harzburjit, dünit ve piroksenitler ile serpantinlerden oluşmakta olan peridotit napı metamorfik dilim üzerinde tektonik dokanakla bulunmaktadır. Peridotit napı içerisinde harzburjitler en yaygın kayaçları oluşturmakta, bunları Piroksenitler takip etmektedir. Dünitler ise az oranda bulunmaktadır. Peridotit napı içerisinde tektonik dokanaklı pelajik kireçtaşı blokları yer almaktadır.

2.6. Zebil Formasyonu

Üstünde bulunduğu birimlerin çakıl ve bloklarını içeren, milimetreden 30-40 cm büyüklüğe kadar değişik boyut, yaş ve litolojideki kayaç parça ve bloklarının oluşturduğu sedimanter kökenli kayaç birimlerinden oluşan bir karmaşıktır. İçerisinde bulunan demirli bileşenler nedeniyle kırmızımsı bir renk hakimdir. İnceleme alanı içerisinde kireçtaşı, şeyl, metakumtaşı, kalkıştırmec blok parçaları, karbonatlı ve bazen silisli çimentodan oluşmaktadır. Bölgede çalışan daha önceki araştırmacılara göre birim Alt Miyosen yaşlı olarak kabul edilmektedir.

3. KIZIL DEMİR CEVHERLEŞMESİ

Attepe'den sonra yörenin ikinci büyük demir yatağını oluşturan Kızıl demir cevherleşmesi Karaçatıtepe Formasyonuna ait karbonatlar ile Kartalkaya Formasyonuna ait şist ve fillitlerin tektonik dokanağında, Karaçatı Tepe'nin kuzeybatısında yer almaktadır. Cevherler breşik zonların içerisine çoğunlukla ornatım, kısmende dolgu biçiminde yerleşmiş ve genellikle düzensiz sınırlara sahip kütle ve damarları oluşturmuşlardır.

Birincil cevherler ile bunlardan türeyen ikincil cevherler, Kızıl fayı boyunca 35-400 m uzunluğunda, ortalama 100 m genişliğinde KD-GB uzanımlı cevherli bir zon şeklinde ortaya çıkmışlardır. Cevherin tamamen karbonat kayalar içerisinde kalan kuzey kesimi, ornatımlarla ilgili olarak son derece düzensiz girintili çıkıntılı bir sınıra sahiptir. Buna karşılık, Kızıl fayı ile sınırlanan güney kesiminde ise, sınır daha düzenlidir (10). Kızıl Demir yatağında birincil cevher yerleşiminden sonra karstlaşma süreçleri son derece etkili olmuştur. Hematitli kısımlar, çatlak ve kırıkları boyunca limonite veya götite dönüşmüşlerdir. Bazı yankayaç kütlelerinin içerisinde görülen birincil cevher mineralleri siderit, ankerit ve hematitlerle; bunlara eşlik eden gang mineralleri ise kalsit, kuvars ve baritlerden ibarettir.

Bölgedeki cevherleşmenin Üst Kretase (Maestrihtiyen) yerleşim yaşına sahip ofiyolitik kayalarda bulunması, Miyosen yaşlı konglomeralar içerisindeki Lütisiyen (Orta Eosen) yaşlı karbonat çakıllarında cevherleşme izine rastlanmaması, cevherleşmenin Paleosen-Alt Eosen zaman sürecinde oluştuğunu göstermektedir (10).

4. JEOKİMYA

Kızıl yatağı Demir cevherinin jeolojik özelliklerini belirlemek amacıyla 8 adet cevher (MA-6, MA-7, MA-8, MA-9, MA-10, MA-15, MA-12, MA-20) ve 5 adet yan kayaç örneğinden (MA-11, MA-16, MA-17, MA-18, MA-19) major, iz ve nadir toprak element yapılmıştır. Kızıl cevherleşmesine ait demir cevherlerinden yapılan ana element analizleri Tablo 1'de verilmiştir. Cevher örneklerinde ana oksit bileşenleri çokluk sırasına göre Fe₂O₃, SiO₂, CaO, MgO, MnO, Al₂O₃'dur.

Tablo 1. Kızıl Cevherleşmesine ve Yankayaca Ait Ana Oksit Element Analiz Değerleri.
Element (%)

Element (%) Örnek No	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃
MA-6	2.32	0.04	58.3	2.70	0.29	0.04	0.02	<.01	0.01	0.96	<.001
MA-7	7.99	<.03	71.8	0.18	6.51	<.01	0.03	<.01	0.01	0.94	<.001
MA-8	2.37	0.19	58.2	0.24	17.92	<.01	0.13	0.01	0.04	0.99	<.001
MA-9	7.97	0.04	77.1	2.31	0.52	<.01	0.04	0.01	0.01	1.09	<.001
MA-10	0.81	0.04	69.3	0.38	12.91	<.01	0.03	<.01	<.01	0.87	<.001
MA-15	1.45	<.03	58.8	2.46	0.42	0.02	<.02	<.01	0.01	0.89	<.001
MA-12	2.33	0.05	58.3	2.71	0.29	0.04	0.02	<.01	0.01	0.96	<.001
MA-20	7.78	<.03	75.9	2.48	0.65	<.01	0.05	<.01	0.03	1.22	<.001
MA-11	0.55	0.04	23.4	0.42	41.08	<.01	0.04	<.01	<.01	0.68	<.001
MA-16	5.26	0.09	1.04	18.5	29.87	<.01	0.05	<.01	0.03	0.06	<.001
MA-17	0.7	0.06	0.98	0.24	54.95	0.01	0.04	<.01	<.01	0.05	0.001
MA-18	58.59	0.93	0.96	0.34	20.99	0.01	0.61	0.22	0.04	0.03	0.002
MA-19	33.36	8.93	4.2	5.12	22.25	1.52	1.53	0.41	0.13	0.1	0.005

Cevherleşme içerisinde SiO_2 değerleri 0,81 ile 7,99 arasında değişmektedir. Hidrotermal metazomatik kökenli Quenza ve Jerissa (Kuzey Afrika) yatağında 2-7, Erzberg (Avusturya) yatağında 3.89, Bilbao (İspanya) yatağında 4.72 volkano-sedimanter kökenli Vares-Smreka (Yugoslavya) yataklarında 8.36 iken sedimanter ve erken diyajenetik yataklardan olan Alquife ve Las Piletas (İspanya) yatağında 4,43 olarak bulunmaktadır(10). % SiO_2 değerlerine göre Kızıl cevherleşmesinin hidrotermal metasomatik kökenli cevherleşmelere benzediği görülmektedir. Toplam Fe_2O_3 içerikleri ise 58,27 ile 77,14 arasında değişmektedir.

Kızıl yatağı cevher örneklerinde Al_2O_3 değerleri yaklaşık % 0,03 ile 0.19 arasında değişmektedir. Bilbao (İspanya), Erzberg (Avusturya) gibi diğer yataklara göre çok daha düşük oranda Al_2O_3 içermektedir. CaO içerikleri 0,29-17,92 arasında değişmektedir.

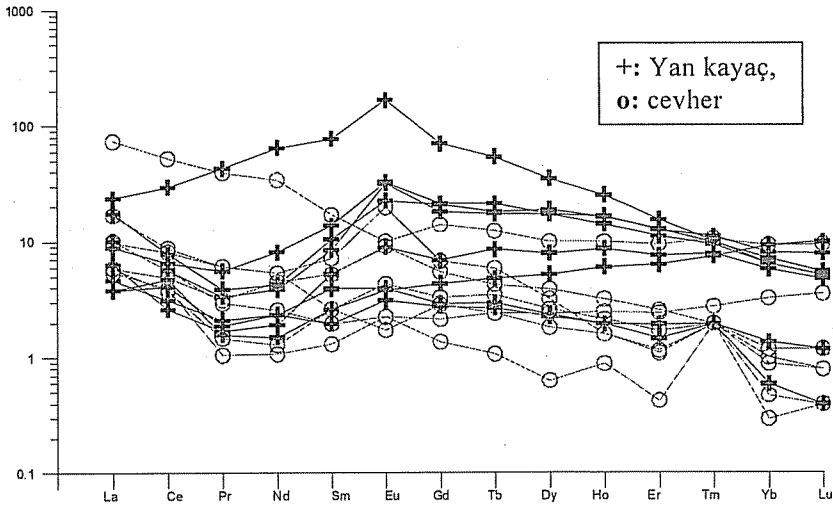
Yataktaki MgO konsantrasyonları 0,18-2,71 (ortalama:1,68) arasında değişmektedir. MgO içerikleri Bilbao (1,25) cevher örneklerindeki değerlere yakın çıkmış fakat bunlardan daha yüksektir. K_2O değerleri 0,02-0,13 arasında değişmektedir. K_2O değerlerinin düşük olması yörede yer alan demir yataklarında etkili olan yüzeysel ayrışma ve özellikle endokaristik süreçler sonucunda ortaya çıkan bir K yıkanmasına işaret etmektedir. MnO konsantrasyonları 1,22-0,87 arasında değişmektedir.

Kızıl cevherleşmesine ait demir cevherlerinden yapılan iz element analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Ba değerleri 63468 ile 125 ppm arasında değişirken ortalama 15226 ppm değer sunmaktadır. Bu durumda cevher oluşumunda hidrotermal çözeltilerin oldukça fazla etkili olduğunu göstermektedir. Demir yataklarında Zn konsantrasyonunun yüksek oluşu Fe kaynağının kayalardan bozunma olduğuna veya yatağın Zn içeriğinin artmasına hidrotermal akışkanların neden olduğuna işaret etmektedir. Bunun yanı sıra Pb ve As değerleri de bu sonuçları desteklemektedir. Kızıl yatağı cevher örneklerinde düşük oranda ölçülen Cr_2O_3 , Co ve Ni konsantrasyonları, yatağın bazik magmatik veya volkanik bir kökenle ilişkili olmadığını göstermektedir. Aynı şekilde iz elementlerden V'un yüksek içeriği üst kıtasal kabuk için Condie tarafından önerilen (86 ppm) değerden çok daha düşük(6 ppm) hatta yok denecek kadar azdır (14). Cevher yataklarında V'un yüksek içeriği, yatağın oluşumunda volkanik bir katkının delili kabul edilmektedir. Özellikle magmatik kristallenmeyle oluşan demir ve tıtan yatakları vanadyum için en önemli zenginleşme ortamıdır. Bunun dışında yüzeysel koşullarda vanadyumun, V+5 iyonu şeklinde hareketliliğinin yüksek olması ve indirgen koşullarda kırıntılı sedimanlar içinde uranyum ve fosfatlarla birlikte vanadatlar şeklinde çökelme özelliği nedeniyle sedimanter demir yataklarında da önemli miktarlarda gelişme gösterdiği bilinmektedir (16). V içeriklerine göre Kızıl demir yatağının kökeninin volkanik bir aktivite ile ilintili olmadığı düşünülmektedir.

Elementler mineralojik ve petrolojik süreçlerle ayrımlaştıklarından Nadir Toprak Elementlerine (NTE) başvurulması petrojenik problemlerde önemlidir. Ancak metamorfizma ve alterasyonun NTE bollukları üzerine etkisinin olduğu da bilinmektedir. Hanson'a göre statik metamorfizma veya sadece sınırlı hidrotermal alterasyona uğramış olanlar orijinal kayacın NTE desen ve bolluğunu verir (17). Bununla birlikte, hidrotermal süreçlerin NTE desenlerini değiştirdiği ve hafif NTE'lerin tercihen Cl'ca zengin sıvılarda hareketli olduğu, buna karşın F ve CO_2 'li akışkanlarda ağır NTE'lerin zenginleştiği Taylor ve Fryer, tarafından açıklanmıştır (18). Nadir toprak

elementleri modelleri pozitif Eu anomalileri negatif Ce anomalileri ve nispeten tüketilmiş hafif nadir toprak elementleri ile belirlenmektedir. Bu modeller Güncel derin deniz ve hidrotermal sedimentlerle benzerlik göstermektedir. Eu anomalisinin büyüklüğü sırası ile yaşlıdan genç demir oluşumlarına doğru azalmaktadır. Bu durum Orta protorozoikten daha genç demir oluşumlarında gözlenmektedir. Bu ise hidrotermal getirimde dereceli olarak azalma olduğunu göstermektedir (19).

Cevher örneklerine ait nadir toprak elementleri değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Yan kayaç ve cevher örneklerinin NTE değerlerinin birbirleriyle uyumsuz oluşu, yan kayaç ve cevherin benzer kökenli olmadığını düşündürmektedir (Şekil 2). Ayrıca Eu’da gözlenen pozitif anomali ve buna karşılık Ce’de gözlenen negatif anomali yatağın hidrotermal kökenli olduğuna işaret etmektedir. Cevher örneklerinde hafif NTE’ler 69,8 ppm ağır NTE’ler ise 685,5 ppm civarında değişmekte olup toplam NTE 1375,3 ppm olarak saptanmıştır. Ortalama NTE’leri ise 171,9 ppm civarındadır. Yan kayaç toplam NTE içeriği 491,3 ppm olup ortalaması 98,2 ppm’dir. Buda cevherin oluşumunda etken olan çözeltilerin NTE’lerce zengin olduğunu göstermektedir. Buna göre yan kayaç ve cevher örneklerinin NTE içeriklerinin uyumsuz oluşu benzer kökenli olmadıklarını düşündürmektedir.



Şekil 2. Cevher ve yan kayaç örneklerinin kondritlere göre normalleştirilmiş REE diyagramları.

5. KÖKEN

Çalışma alanı içerisinde yüzeyleyen alloktan konumlu ofiyolitler içerisindeki diyabaz ve dolerit daykları toleyitik karakterli olup, okyanusal bir havzada ofiyolitik dizinin gelişimi sırasında sokulum yapmışlar ve dolayısıyla cevherden daha yaşlıdır (13). Bölgenin 80 km kuzey kesiminde yer alan Erciyes volkanizması, geç Miyosen’den Kuvaterner’e kadar etkisini sürdürmüş olup, cevherleşmeden daha genç oluşumlardır (20, 9). Botke’ye göre siderit, hidrotermal safhanın orta ısı evresinde oluşmuş, Pb-Zn,

Cu, Ag yataklarında oldukça yaygın bir gang minerali olmasına rağmen, cevherli çözeltilerin soğuması sonucu bu metallerin giderek azalması veya gelen çözeltilerin bu metaller bakımından fakir olması halinde siderit hakim duruma geçerek önemli demir yataklarını oluşturabilmektedir (21). Bu bilgilerin ışığı altında Attepe yöresi cevherlerinin oluşumunda komşu bölgelerdeki plütonik faaliyetlerin eşdeğeri olarak düşünülen derinlerdeki granitik bir sokulumun özellikle ısı kaynağı şeklinde (dolaylı yönden), çok zayıf bir ihtimalde hidroterm kaynağı şeklinde (doğrudan) etkili olabileceği kabul edilmektedir (10). Henden ve Önder, tarafından da bölgede domsal yapıların varlığına işaret edilerek, derinde gömülü bir plütonun olabileceği belirtilmektedir (8).

Buna göre Attepe (Mansurlu-Feke) yöresi demir yataklarının oluşum sürecinde bölgenin derinliklerinde etkili olan granitik bir sokulumunda tesiriyle, lokal olarak yükseldiği tahmin edilen jeotermik gradyana bağlı olarak ısınmış, sıg ve derin dolaşımli yer altı suları ve gözenek suları ile muhtemelen magmatik suları bünyesinde bulunduran çözeltilerinin bölgede bir kısmı yüzeyleyen İfrakambriyen yaşlı sedimanter kökenli pirit ve hematit oluşukları ile reaksiyona girmesi sonucunda, Fe ve diğer kationlarca zenginleşmesi ile oluşmuşlardır (10). Jeokimyasal analizler sonucu elde edilen iz element içeriklerinin, gerçek plütonik hidrotermal çözeltilerle ilişkili olarak gelişen yataklara göre daha düşük olması da bu görüşü desteklemektedir. Yukarıda açıklanan mekanizma ile ortaya çıkan hidrotermal çözeltiler, $FeHCO_3$ ve klorit kompleksleri şeklinde çözeltiliye aldıkları demirleri, aşağıdan yukarıya doğru azalan hidrostatik basınç, belirli litostatik, kısmi gaz ve osmotik basınçlar, çözeltilerin yoğunluk farkları ve soğuma gibi etkenlerin kontrolünde tektonik hatlar boyunca yukarılara doğru taşıdıkları kabul edilmektedir (22). Bu taşınma sırasında; ısı ve basıncı düşmesi, metal konsantrasyonunun artması, yüzeye yakın kesimlerde çözeltilerin soğuk sular ile karışması ve en önemlisi de karbonat kayalarla reaksiyona girmesi gibi sebeplerle demirlerin çökeltilmesi sonucunda tektonik kontrollü hidrotermal ve hidrotermal-metasomatik karakterli birincil cevherler oluşmuştur.

Mansurlu yöresindeki "Erzberg" tipi siderit cevherleri ile birlikte gelişen hidrotermal alterasyon ürünü ankeritler, cevherleşme sonrasında etkili olan karstik faaliyetlerle hemen hemen tamamen ikincil nitelikli sulu demiroksit modifikasyonlarına dönüşerek, hidrotermal-metasomatik yatakların en önemli alt bölümlerinden bir diğeri olan "Bilbao" tipi ikincil cevherleri oluşturmaktadır. Bu yönüyle değerlendirildiğinde bölgede yer alan önemli demir yatak ve zuhurlarında, hem "Erzberg" tipi ayrışmamış siderit ve ankeritler, hemde bunların süperjen alterasyon ürünü "Bilbao" tipi karstik cevher oluşumları iç içe görülmektedir. Bu sebeple yörede yer alan birçok demir yatak ve zuhurlarında makro seviyede siderit oluşumları yok denecek kadar azdır. Attepe yöresinde yer alan demir yataklarındaki birincil nitelikli siderit, ankerit ve hematit oluşumunun Paleosen-Alt Eosen olarak kabul edilmesi sebebiyle, bu cevherlerin endokarstik süreçlerle ikincil cevherlere dönüşmeye başladığı dönemin, Orta Eosen (Lütesiyen) olduğu kabul edilmektedir. Bu nedenle Aladağlardaki Pb-Zn yataklarında izlenen karstlaşma olayları ile Attepe yöresindeki karstlaşma olaylarının başlangıcı arasında bir paralellik söz konusudur (10).

Kızıl cevherleşmesi ve bölgedeki diğeri yataklanmalar içerisinde bol miktarda cevher çakıllarının varlığı, limonite dönüşmüş kesimlerde çok sayıda boşluğun

bulunması ve bu boşlukların göitlerle sıvanması, göitlerin sarkit ve dikit benzeri şekillere sahip olması, karstlaşmanın en belirgin kanıtları arasındadır.

Bunlardan farklı olarak Ünlü ve Stendal, jeokimyasal incelemelerine göre birincil cevherin Kambriyen yaşlı kayaçlar içerisinde sedimanter özellikte oluştuğunu cevherin bu günkü konumunun tektonik kontrollü bulunduğunu, kısmen sedimanter kısımda tektonik hatlara bağlı oluşan siderit, ankerit kütleleri şeklinde görülen cevherin karstlaşma ve yüzeysel ayrışma sonucunda ikincil minerallere dönüştüğünü öne sürmüştür (11).

Attepe demir cevherleşmesindeki siderit, kuvars ve baritlerden yapılan jeotermometrik ölçüm çalışmaları sonucunda dört ayrı evre belirlenmiştir. Bu dört sıvı kapanım boyutlarının genellikle 2-18 mikron arasında yer aldığını, I. ve II. tip sıvı kapanım içeren kuvarslar ile I. tip sıvı kapanımları içeren sideritler benzer homojenleşme sıcaklık aralıkları sunmaktadır. Sıvı kapanım ölçümleri sonuçlarına göre bölgede üç ayrı oluşum süreci belirlenmiştir. Erken dönemde homojenleşme sıcaklıkları, 300-350°C arasında iken, geç dönemdeki homojenleşme sıcaklıkları ise 180-27 °C arasında yer almaktadır. Son geç dönemde homojenleşme sıcaklıkları 170-250°C arasında bulunurken homojenleşme sıcaklıklarında asidik ve indirgen ortam koşullarında yüksek tuzluluğa sahip olan NaCl+KCl+H₂O çözelti sisteminde gerçekleşmiştir. Bu oluşum koşulları hidrotermal evrenin mezotermal ve hipotermal evrelerine karşılık gelmektedir (23).

Bu çalışma ile elde edilen jeokimyasal verilere göre Ba değerleri 63468 ile 125 ppm arasında değişirken ortalama 15226 ppm değer sunmaktadır. Bu durumda cevher oluşumunda hidrotermal çözeltilerin oldukça fazla etkili olduğunu göstermektedir.

Demir yataklarında Zn konsantrasyonunun yüksek oluşu Fe kaynağının kayaçlardan bozunma olduğuna veya yatağın Zn içeriğinin artmasına hidrotermal akışkanların neden olduğuna işaret etmektedir. Bunun yanı sıra Pb ve As değerleri de bu sonuçları desteklemektedir. Ayrıca Kızıl cevherleşmesi ve bölgedeki diğer yataklanmalar içerisinde bol miktarda cevher çakıllarının varlığı, limonite dönüşmüş kesimlerde çok sayıda boşluğun bulunması ve bu boşlukların göitlerle sıvanması, göitlerin sarkit ve dikit benzeri şekillere sahip olması, karstlaşmanın en belirgin kanıtları arasındadır.

Gerek bölgedeki diğer yataklarda çalışan araştırmacılara göre ve gerekse bu çalışmada elde edilen verilere göre birincil cevherleşmenin hidrotermal özellikte olduğunu endokarstik süreçler sonucunda birincil cevherlerin önemli bir bölümü toprağımsı limonit, kovuklu, böbreğimsi götit ve hematitlere dönüşmüş olduğunu söylenebilir.

6. SONUÇLAR

Bugünkü konumları ile Kızıl Demir cevherleşmesindeki demir oluşumları, birincil mineralleşme siderit, pirit, hematit, ankerit şeklinde olup, özellikle tektonik ve karstlaşma olayları sonucunda tenör ve rezervce zenginleşmiştir.

Kızıl yöresindeki cevherler tamamen tektonik kontrollü damar, mercek ve düzensiz sınırlı kütlelerden oluşur. Bu durum tektonik olayların ve karstlaşmasının sonucunda gerçekleşmiştir.

Kızıl yatağı cevher örneklerinde düşük oranda ölçülen Cr₂O₃, Co ve Ni konsantrasyonları, yatağın bazik magmatik veya volkanik bir kökenle ilişkili olmadığını göstermektedir. Cevher örnekleri içerisindeki Ba değerleri 63468 ile 125 ppm arasında

değişmesi cevher oluşumunda hidrotermal çözeltilerin oldukça fazla etkili olduğunu göstermektedir. Yine Demir cevherleşmesindeki Zn konsantrasyonunun yüksek oluşu Fe kaynağının kayalardan bozunma olduğuna veya yatağın Zn içeriğinin artmasına hidrotermal akışkanların neden olduğuna işaret etmektedir. Bunun yanı sıra Pb ve As değerleri de bu sonuçları desteklemektedir.

Yan kayaç (98,2ppm) ve cevher (171,9ppm)örneklerinin NTE değerlerinin birbirleriyle uyumsuz oluşu, yan kayaç ve cevherin benzer kökenli olmadığını düşündürmektedir. Ayrıca Eu'da gözlenen pozitif anomali ve buna karşılık Ce'de gözlenen negatif anomali yatağın hidrotermal kökenli olduğuna işaret etmektedir.

Plütonik hidrotermal çözeltilerle, diğer çözeltilerin veya çözelti karışımlarının oluşturduğu cevherleşmeleri birbirinden ayırt etmek son derece güçtür. Bu konuda ayrıca izotop çalışmalarının da yapılması gerekmektedir.

7. KAYNAKLAR

1. Blumenthall, M. "Niğde ve Adana Vilayetleri Dahilindeki Torakların Jeolojisine Umumi Bir Bakış", MTA Seri B No G S 48, 1941.
2. Demirtaşlı, E., "Pınarbaşı-Sarız-Mağara İlçeleri Arasındaki Sahanın Litostratigrafi Birimleri ve Petrol İmkânları", MTA Rapor No 4389, 1967.
3. Özgül, N., "Taraşların Bazı Temel Jeolojik Özellikleri", Türkiye Jeol. Kur. Bülteni, 19, 1, 65-78, 1976.
4. Metin, S., Papak, İ., Keskin, H., Özsoy, Polat, N., Altun, İ., İnanç, A., Hazinedar, H., Karabalık, N.N. ve Konuk, O., "Tuфанbeyli-Sarız-Göksun ve Saimbeyli arasının Jeolojisi (Doğu Toroslar)", MTA Ens. Rap. Rap. No: 7129, 123 s, 1982.
5. Tekeli, O., "Toroslarda Aladağların Yapısal Evrimi", Türkiye Jeol. Kur. Bülteni, 23, 11-14, 1980.
6. Ayhan, A., "1:100.000 Ölçekli Açın-sama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi", Koza-J 21 Paftası; MTA Gen. Müd., Yayını S. 12, 1988.
7. Lucius, M., "Antitoros silsilesinde Zamantı suyu ile Göksu Arasında Faraşa Demeir Maden Zuhurunda yapılan Jeolojik Taharriyat Hakkında Rapor", MTA dr. No 421. 1972.
8. Henden, I. ve Önder, E., "Attepe (Mansurlu) Demir Madeninini Jeolojisi", Türkiye Jeol. Kur. Bült., 23, 1, 153-163, 1980.
9. Küpeli, Ş., "Attepe (Mansurlu-Feke) Yöresinin Demir Yatakları", Selçuk Üniv. Fen Bil. Ens., Yüksek Lisans Tezi, Konya, 111 S, 1986.
10. Küpeli, Ş., "Attepe, "Demir Yataklarının Jeolojisi ve Kökeni", Selçuk Üniv. Fen Bil. Ens., Yüksek Lisans Tezi, Konya, 227 S, 1991.
11. Ünlü, T. ve Stendall, H., "Divriği Bölgesi Demir Yataklarının Element Korelasyonu ve Jeokimyası (Orta Anadolu-Türkiye)", TMMOB Jeoloji Müh.Odası Derg., 28, 5-19, 1986.
12. Ünlü, T. ve Stendall, H., "Divriği Bölgesi Demir Cevheri Yataklarının Nadir Toprak Element (Ree) Jeokimyası; Orta Anadolu", Türkiye Jeoloji Müh. Bül., Cilt 32, Sayı 1-2, 21-37, Ankara, 1989.
13. Tekeli, O. ve Erler, A., "Aladağ Ofiyolit dizisindeki diyabaz Dayklarının Kökeni", TJK Bülteni, 23, 1, 15-20, 1980.

14. Condie, K.C., "Chemical Composition and Evolution of the Upper Continental Crust: Contrasting Results from Surface Samples and Shales", *Chem. Geol.*, 104, Pp.1-37, 1993.
15. Fernandez, H. and Moro, M.C., "Origin and depositional Environment of Ordovician Stratiform Iron Mineralization From Zamora (NW Iberian Peninsula), *Mineralium Deposita*", 33PP 606-619, 1998 (Önal, A vd diğ.2002).
16. Önal, A., Şaşmaz, A., Önal, A., "Pınarbaşı (Çelikhani-Adıyaman) Apatitli manyetit Cevherinin Mineralojisi Jeokimyası", *Yerbilimleri (Geosound) Sayı 40/41*, S 207-227, 2002.
17. Hanson, G.N., "Rare Earth Elements Petrogenic Studies of Igneous Systems", *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 8, Pp. 371-406, 1980.
18. Taylor, R.P. and Fryer, B.J., "Rare Earth Element Geochemistry as an Aid to Interpreting Hydrothermal ore Deposits", In A.M.Evans, *Metallization Associated with Acid Magmati*, WileyChichester, pp 357-365), 1983 (Önal, A ve diğ.2002).
19. Kula, C.M., "Understanding Mineral Deposites", P.O. Box 17, 3300, Ah Dordrecht, The Netherlands, 660-697, 2000.
20. Baş, H., "Erciyes Dağı Volkanitlerinin Özellikleri", *Selçuk Üniv. Müh-Mim. Fak Derg.*, 1, 1, 29-45, 1986.
21. Botke, H., *Lagerstättenkunde Des Eisens*; Glückauf Verl. Essen, 195 S, 1981.
22. Barnes, H.L., "Solubilities of Ore Minerals; Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposites", *John Willey and Sons*, New York, 404-406, 1979.
23. Çolakoğlu, A.R. ve Kuru, Sezer, G., "Attepe Demir Yatağında Jeotermometrik Ölçüm Çalışmaları", *MTA Dergisi*, 125, 1-11, 2002.

KARAKILIÇ KÖYÜ (KARAIŞALI-ADANA) KİREÇTAŞI MERMERLERİNİN TEKNOMEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ercüment BİLGER

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

Mesut ANIL

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

ÖZET : *Bu çalışmada Karakılıç Köyü (Karaisalı-Adana) kireçtaşı mermerlerinin teknomekanik özellikleri incelenmiştir.*

İnkaya Maden ve Petrol Ürünleri San. Tic. Ltd. Şti'ne ait mermer ocağın'dan alınan numunelerin Ç.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği ve Mermer İnceleme Laboratuvarlarında fiziksel ve mekanik özellikleri saptanmıştır. Mermer numunelerinin birim hacim ağırlığı $2,562 \text{ gr/cm}^3$, özgül ağırlığı $2,608$, porozitesi % $1,76$, basınç dayanımı 512 kg/cm^2 , darbe dayanımı $10,5 \text{ kg.cm/cm}^3$, sürtünme ile aşınma kaybı $0,226 \text{ cm/50cm}^2$, çekme dayanımı $71,5 \text{ kg/cm}^2$, eğilme dayanımı: $72,34 \text{ kg/cm}^2$, nokta yük dayanımı $69,3 \text{ kg/cm}^2$ bulunmuştur. Bu sonuçlar İnkaya Mad. ve Pet. Ürün. San. Tic. Ltd. tarafından çalıştırılan mermer ocağında üretilen plakaların her türlü koşulda kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Kireçtaşı Mermerleri, Teknomekanik Özellikler, Karaisalı, Adana.*

DETERMINATION OF TECHNOMECHANICAL PROPERTIES OF KARAKILIÇ VILLAGE (KARAIŞALI-ADANA) LIMESTONE MARBLES

ABSTRACT : *In this study, technomechanic properties of Karakılıç Village (Karaisalı-Adana) limestone marbles were investigated.*

Physical and mechanical properties of marbles were determined at the Rock Mechanic and Marble Examine Laboratories of Mining Engineering Department with samples which were taken from Marble Quarry of İnkaya Mining and Petroleum Product Industry Co. Bulk density of marble samples $2,562 \text{ gr/cm}^3$, density $2,608$, porosity % $1,76$, compressive strength 512 kg/cm^2 , impact resistance $10,5 \text{ kg.cm/cm}^3$, friction loss $0,226 \text{ cm/50 cm}^2$, tensile strength $71,5 \text{ kg/cm}^2$, bending strength $72,36 \text{ kg/cm}^2$, point load index $69,3 \text{ kg/cm}^2$ were determined. These results show that plates, which are produced in the Marble Quarry worked by İnkaya Mining and Petroleum Product Industry Co., can be used in every situation.

Key Words: *Limestone Marbles, Technomechanic Properties, Karaisalı, Adana.*

1. GİRİŞ

Binlerce yıl önce insanlar tarafından kullanılmaya başlayan mermer, önceleri sadece yapı taşı olarak kullanılırken, uygarlığın ilerlemesine paralel olarak süsleme ve sanatsal üretim amacı ile de kullanılmış ve güncel yaşamdaki önemini her geçen gün artırarak sürdürmüş ve halen de sürdürmeye devam etmektedir [1].

Petrografik anlamda mermer; kalker ve dolomitik kalkerlerin ısı ve basınç altında başkalaşıma uğrayarak yeniden kristalleşmesiyle oluşan metamorfik kayaç olarak tanımlanmaktadır.

Endüstriyel anlamda ise mermer oldukça geniş bir anlama sahiptir. Kesilip cilalanarak parlatılabilen, dayanıklı ve göze hoş görünen ve blok verebilen (magmatik, metamorfik, sedimanter kayaçlar) mermer olarak tanımlanmakta ve değerlendirilmektedir. Örnek olarak iyi cila kabul eden kalkerler, tektonik breşler ve pudingler, traverten ve oniks mermerlerinden başka granit, diyabaz, lösitli siyenit ve serpantinler gibi magmatik kayaçlar da, endüstriyel anlamda, ticari bakımdan mermer sınıfındadır. Bununla beraber mermerlerin değerlendirilmesinde jeolojik, mineralojik, petrografik, yapısal ve mekanik unsurlar ile teknolojik özellikler etkilidir.

Karbonatların metamorfizmaya uğramasıyla oluşan hakiki mermerler esas olarak kalsit kristallerinden oluştuklarından kimyasal bileşimlerinde, büyük oranda kalsiyum karbonat, daha düşük oranlarda magnezyum karbonat ve silisyum dioksit ile pigment olarak da değişik metal oksitleri bulunmaktadır. Saf oldukları zaman yarı saydam ve beyaz renklidirler.

Mermer olabilecek, yani mermer şeklinde kullanılabilir bir kayaç kütlelerinin sahada aranan en önemli özelliği blok verebilmesidir. Çünkü ancak blok verebilen ve bloklar halinde üretilen taşlar geniş yüzeyli kesilebilmektedir. Ne kadar yüksek vasıfta ve ne cinsten olursa olsun, blok veremeyen taşın mermer olarak yararlanılamaz [4].

Yataklanma durumları ve jeolojik yapıları göz önünde bulundurularak açılan mermer ocaklarından, düzgün geometrik şekillerde bloklar alınır. Bu bloklar fabrika ve teknik donanımlara sahip tesislerde kesilerek plaka haline getirilir. Silme ve cilalama işlemleri sonucu, pürüzsüz bir yüzeye sahip olan mermer plakaları, istenilen ölçülerde kenar ve köşeleri kesilerek, hazır hale getirilir [1].

Mermerlerde aranan önemli özellikler; renk, desen, doku, sertlik, parlatma, birim hacim ağırlık, su emme kapasitesi, özgül ağırlık, cilaya karşı duyarlılık ve blok elde edilebilirlik oranıdır [5].

Bu çalışmada Adana ili, Karaisalı ilçesi Karakılıç köyü civarında bulunan ve İnkaya Maden ve Petrol Ürünleri San. Tic. Ltd. Şti'ne ait mermer ocağından elde edilen mermer numunelerinin teknomekanik özellikleri araştırılmıştır (Şekil 1).

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Bölgenin Genel Jeolojisi

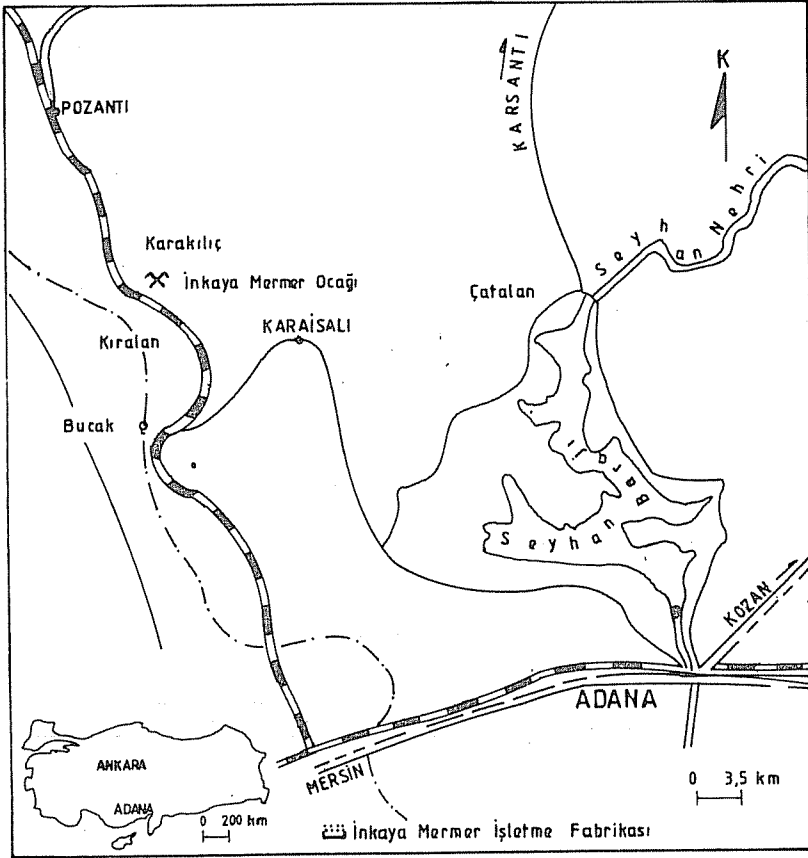
İnceleme yapılan Karaisalı-Karakılıç Köyü civarında üç farklı formasyondan söz etmek mümkündür (Şekil 2). Bu formasyonlar;

1. Karaisalı kireçtaşı,
2. Demirkazık kireçtaşı,
3. Gildirli formasyonu'dur.

2.1.1. Karaisalı Kireçtaşı

Karaisalı kireçtaşı, tabanda değişik formasyonlar üzerine gelmektedir. Kesek tepede Demirkazık kireçtaşı üzerine uyumsuz olarak gelen birim, Karakılıç köyü dolayında Gildirli formasyonu üzerinde uyumludur. Kırılan-Yerköprü arasında ise Kaplankaya formasyonu ile geçişlidir. Karaisalı kireçtaşı, üzerine gelen Güvenç formasyonu ile olan dokanağı da genellikle geçişlidir. Karaisalı batısında ise iki birimin dokanağı faylıdır. Birimin kalınlığı değişken olup, 0-500 m arasındadır.

Karaisalı kireçtaşı; açık gri, kirlili beyaz, gri-bej, pembe renkli, tabanda çört yumruları içerip, bol algae, mercan, bentonik foraminifera, gastropoda ve lamellibrans ile ekinid fosilleri kapsamaktadır. Çoğu som, yer yer orta-kalın katmanlı olan birim, bölgede çoğunlukla dik şevler oluşturmaktadır [3]. Lagap [3] ince kesitler üzerinde yaptığı incelemelerde birimin Alt Miyosen yaşında olduğunu kesitlerde yer alan fosillere göre belirlemiştir.



Şekil 1. İnkaya Madenciliğe ait Mermer Ocağı Yerbulduru Haritası [3]

2.1.2. Demirkazık Kireçtaşı

Alt dokanağı faylı olan Demirkazık kireçtaşının üzerine paleotopoğrafik çukurları doldurur konumda uyumsuz olarak Gildirli formasyonu çökelmiştir. Gildirli formasyonunun çökelmediği topoğrafik yüksekliklerde ise Karaisalı kireçtaşı uyumsuz olarak bulunmaktadır.

Demirkazık kireçtaşı; tabanda koyu gri, siyah renkli som görünümlü, ince dokulu kalsit damarcıklı, sert, eklemli dolomit, dolomitik kireçtaşı yapılışıdır. Bunun üzerine gri, açık gri, beyaz renkli, orta-kalın katmanlı, çört yumrulu, çatlak ve kırıklı, görüntür fosilsiz, yer yer çok kıt mikrofosili, mikritik yapılışı kireçtaşları gelmektedir. Birimin tavanında belirgin pembe renkli, bol çatlaklı, mikritik kıt mikrofosil içeren bir seviye bulunmaktadır [11]. Demirkazık kireçtaşı Üst Triyas-Kretase yaşında çökelmiş olduğu düşünülmektedir.

Demirkazık kireçtaşının üst düzeylerini oluşturan pembe renkli, pelajik foraminiferalı, mikritik karbonatlar sakin fakat oldukça derin deniz ortamında durulmuştur. Alt düzeyler ise koyu gri-siyah renkli dolomit ve dolomitik kireçtaşı ile açık gri renkli orta-kalın katmanlı kireçtaşları mikritik yapılışları ile sığ denizel platform karbonatları niteliğindedir [3].

2.1.3. Gildirli Formasyonu

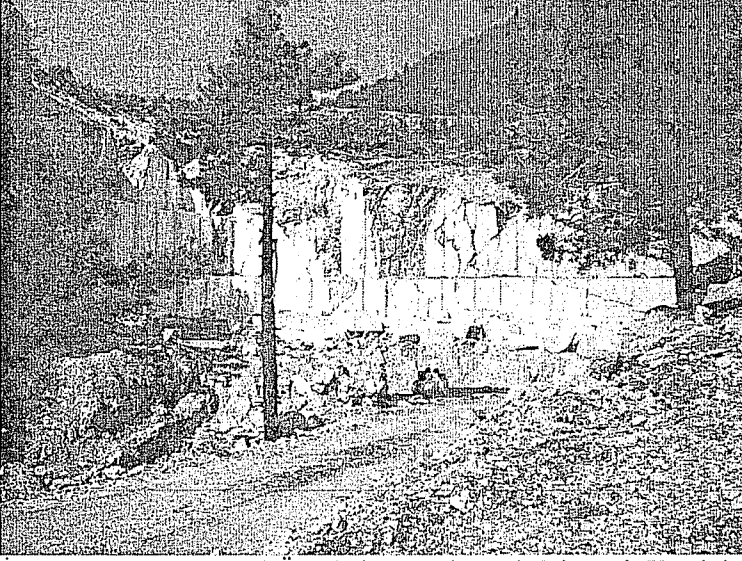
Bir taban konglamerası niteliğinde olan Gildirli formasyonu Yerköprü Mevkiinde Yerköprü ve Yellikaya formasyonları, daha kuzeyde ise Demirkazık kireçtaşı üzerinde uyumsuz olarak bulunmaktadır. Gildirli formasyonu üzerinde uyumlu olarak kuzeydoğuda Kaplankaya formasyonu, diğer yerlerde ise Karaisalı kireçtaşı gelmektedir. Çalışma alanı dahilindeki Çamlıtepe Sirtında ölçülen kalınlığı 120 m olan Gildirli formasyonunun bölgedeki kalınlığı 0-350 m arasındadır [3].

Gildirli formasyonu; tabanda gri, boz renkli konglomera, üste doğru pembe-kırmızı renkli kumtaşı, siltaşı-çamurtaşı ardalanımından ibarettir.

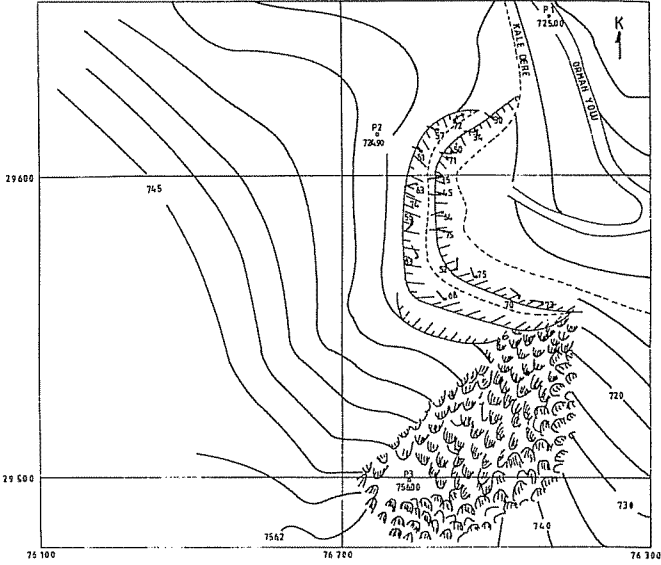
2.2. Mermer Ocağının Genel Özellikleri ve Rezerv Durumu

İnkaya Maden ve Petrol Ürünleri San. Tic. Ltd. Şti'ne ait mermer ocağı için sahayla ilgili üretimden önce proje kapsamında yapılan etütler sonucunda, kesilip parlama özelliğine sahip mermer rezervinin varlığı saptanmıştır (Resim 1). Yapılan jeolojik etütlerde, saha içerisinde 650 000 m³ görünür rezerv olduğu tespit edilmiştir. Ocakta mermer üretimi esnasında en az % 40 civarında bir üretim kaybı olacağından, 378 000 m³ işletilebilir görünür rezerv olduğu saptanmıştır.

İnkaya Madencilige ait mermer ocağında, mermer üretim yöntemi olarak klasik açık işletme metodu uygulanmaktadır (Resim 2). Ocaktaki çatlak, eklem ve süreksizliklerin durumu blok alınmasına engel bir durum yaratmamaktadır (Şekil 3). Üretim telle kesme yöntemi uygulanarak yapılmaktadır. İnkaya Madencilige ait mermer ocağında üretim sırasında önemli ölçüde bir hafriyat işi oluşmadığı görülmektedir. Mermer üretimi sırasında patlayıcı madde kullanılmamaktadır. Bu nedenle patlatmadan dolayı oluşabilecek çevresel etkiler bulunmamaktadır.



Resim 1. İnkaya Maden ve Petrol Ürünleri San. Tic. Ltd. Şti'ne ait Karakılıç-Karaisalı Yakınlarındaki Mermer Ocağından Bir Görünüm



AÇIKLAMALAR



Düzensiz Karstik Yükselti



Kuru Dere



Elden Doğultu ve Eğimi

Şekil 3. Eklemelerin Doğrultu ve Eğimini Gösteren Harita (İnkaya Maden ve Petrol Ürünleri San. Tic. Ltd. Şti'den revize edilmiştir)



Resim 2. İnkaya Maden ve Petrol Ürünleri San. Tic. Ltd. Şti'ne ait Karakılıç-Karaisalı Yakınlarındaki Mermer Ocağında Bir Üretim Çalışması

Alınan bloklar uygun makine ve teçhizat kullanılarak işlenmek üzere kamyonlara yüklenmekte ve mermer işleme ünitesine götürülmektedir. Fabrikada dört ayaklı iki adet mermer işleme makinesi bulunmaktadır ve bu makineler ile mermer bloğunun kesilmesi sağlanmaktadır (Resim 3).

3. PETROGRAFİK KİMYASAL VE TEKNOMEKANİK ÖZELLİKLER

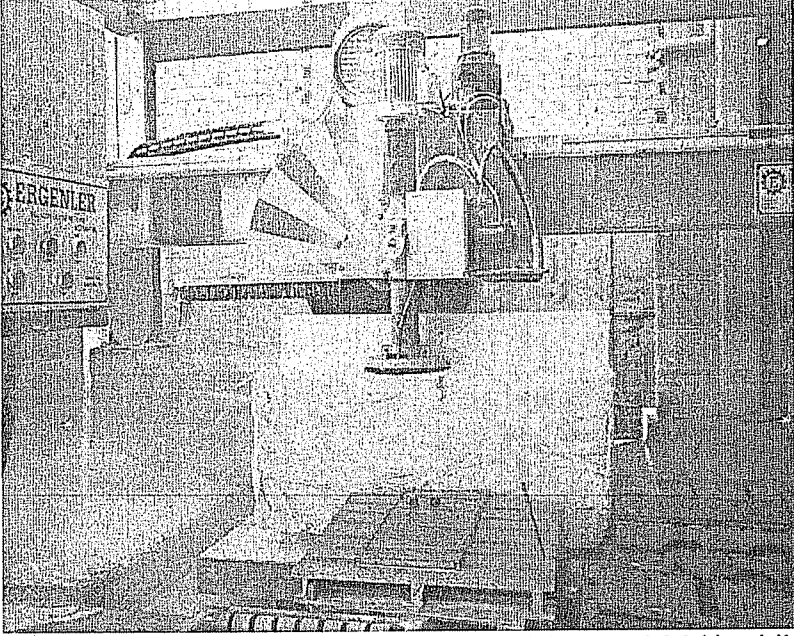
3.1. Petrografik Analiz

İnkaya madencilğe ait Karakılıç Köyü mermerleri üzerinde petrografik inceleme yaparak mermerin petrografik özelliklerini belirlemek amacıyla ince kesitler alınmıştır. Yapılan laboratuvar çalışmaları sonucunda bu bölgeye ait mermerlerin içinde Globotruncana sp'ye rastlanmıştır. Bu da bize buraya ait mermerlerin Üst Kretase yaşlı olduğunu göstermektedir.

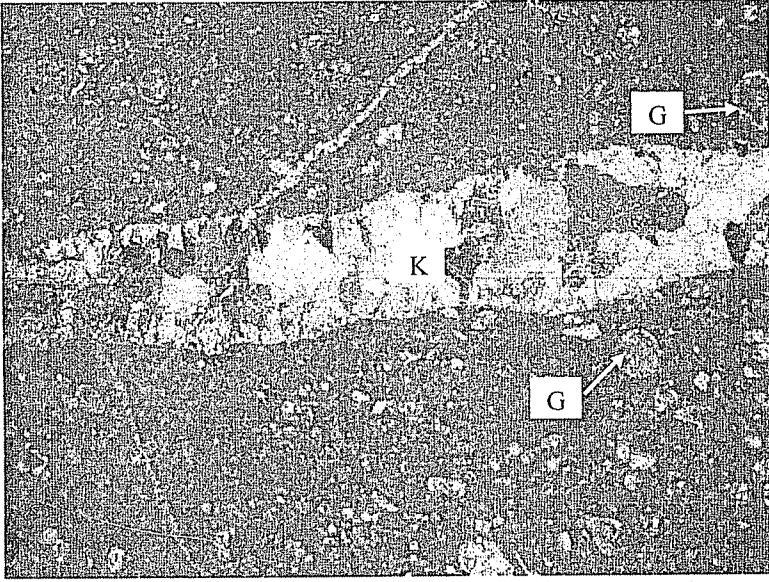
İnce kesitler duvarlar halinde iri kalsit kristalleri içermektedir (Resim 4). Birim pelojik kireçtaşı olarak isimlendirilebilmektedir.

Mermer numunesini Üst Kratese yaşlı, planktik forameniferli kalsit damarcıklı mikritik kireçtaşı olarak kabul edebiliriz.

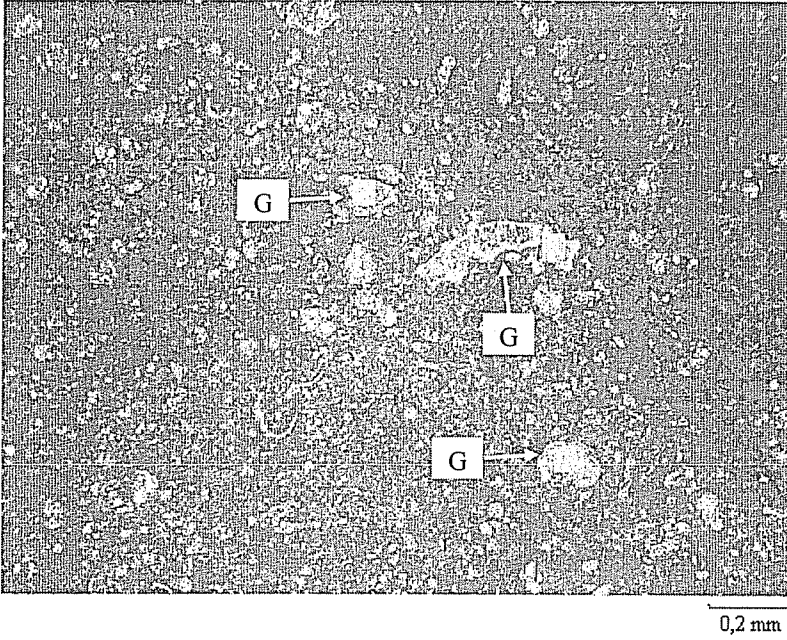
Yukarıdaki açıklamalara ek olarak, yapılan petrografik inceleme sonucunda % 10-20 arasında fosile rastlanmıştır (Resim 5).



Resim 3. İnkaya Mermer Fabrikasındaki ST (Diskli Blok Kesme) Makinesi ile Kesim Çalışması



Resim 4. Karakılıç Köyü Kireçtaşı Mermer Örneğinin İnce Kesit Görünümü (K: Kalsit, G: Globotruncana sp.)



Resim 5. Karakılıç Köyü Kireçtaşı Mermeri İçerisinde Gözlenen Fosiller
(G: Globotruncana sp.)

3.2. Kimyasal Analiz

Numuneler 60 mikron boyutuna öğütüldükten sonra çözülmüş ve numunedeki Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 , $CaCO_3$ ve $MgCO_3$ miktarları belirlenmiştir.

Kimyasal analiz mermeri oluşturan malzemenin anlaşılmasında büyük önem taşımaktadır. Laboratuvar çalışmaları sonucunda İnkaya Madencilige ait Karakılıç Köyü civarındaki mermer ocağına ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. İnkaya Mermer Ocağı (Karakılıç Köyü) Mermerlerinin Kimyasal Analiz Değerleri

Kimyasal Bileşik	Miktar (%)
Fe_2O_3	0,07
Al_2O_3	0,01
SiO_2	0,92
$CaCO_3$	98,18
$MgCO_3$	0,80

3.3. Teknomekanik Özellikler

Bu çalışma, Karakılıç Köyü Kireçtaşı Mermerlerinin teknomekanik özelliklerinin belirlenerek TSE standartlarına uygunluğunun araştırılması temeline dayandığı için yapılacak laboratuvar çalışmaları “TS 699 Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney

Metotları'na uygun olarak yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda aşağıda verilen veriler elde edilmiştir.

1. Mermerlerin Fiziksel Özellikleri İle İlgili Yapılan Deneylerin Sonuçları

Su Emme Oranı (%)	1,38
Özgül Ağırlık/Özgül Kütle	2,608
Birim Hacim Ağırlık (gr/cm^3).....	2,562
Porozite (%).....	1,76
Doluluk Oranı (%).....	98,24

2. Mermerlerin Mekanik Özellikleri

Basınç Mukavemeti (kg/cm^2).....	512,02
Darbe Mukavemeti ($kg\ cm/cm^3$).....	10,5
Eğilme Mukavemeti (kg/cm^2).....	72,36
Sürtünme İle Aşınma Kaybı ($cm/50cm^2$).....	0,226
Sodyum Sülfat Don Kaybı (%).....	0,81
Nokta Yük Dayanımı (kg/cm^2).....	6,93
Çekme Dayanımı (kg/cm^2).....	7,15

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan inceleme, araştırma ve deneyler sonucunda İnkaya Mermer Ocağı (Karakılıç Köyü) mermerlerinin Türk Standartları Enstitüsü'nün belirlediği ve günümüz koşullarında geçerli olarak kabul edilen değerleri sağladığı görülmüştür.

Karakılıç Köyü mermerlerinin yeterli uzunlukta blok verebilme özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bloklar içerisindeki süreksizlikler bu bloklardan levha almayı engelleyecek kadar büyük ve uzunlukta değildir.

Karakılıç Köyü mermerlerinin deneyler sonucu su emme oranının % 1,38 olduğu görülmüştür. İncelenen mermerin kireçtaşı mermeri olduğu göz önüne alınırsa bu değer iyi olduğu söylenebilir.

Karakılıç Köyü Mermerleri'nin özgül ağırlığının $2,608\ g/cm^3$ ve birim hacim ağırlığının $2,562\ g/cm^3$ olduğu yapılan laboratuvar çalışmalarıyla belirlenmiş bu değer TS 1910 (Kaplama Olarak Kullanılan Doğal Taşlar)'a göre öngörülen en az $2,55\ g/cm^3$ olması istendiğinden alt sınıra yakın fakat istenilen değerde olduğu saptanmıştır.

Karakılıç Köyü Mermerleri'nin porozitesinin % 1,76 olduğu görülmüştür. Bu değere bakarak malzemenin içerisindeki boşluğun üretimi engellemeyeceği düşünülmektedir. Doluluk oranının % 98'in üstünde olduğu hesaplanmıştır.

Karakılıç Mermerleri'nin ortalama basınç mukavemetinin $512,02\ kg/cm^2$ olduğu deneyler bulunmuş ve TS 2513'e göre $350\ kg/cm^2$ 'den büyük olması istendiğinden malzemenin basınç mukavemetinin iyi olduğu açıkça görülebilir.

Karakılıç Köyü Mermerleri'nin ortalama darbe mukavemeti $10,5\ kg/cm^2$ 'dir. Bu değer TS 10449'da döşeme kaplaması, merdiven basamağı vb yer döşemesinde kullanılacak mermerlerde $6\ kg/cm^2$ ve duvar kaplamasında kullanılacak mermerlerde $4\ kg/cm^2$ 'den büyük olması istenmektedir. Bu duruma bakarak malzemenin darbe mukavemeti iyidir.

Karakılıç Köyü Mermerleri'nin eğilme mukavemeti $72,36 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuştur. TS 2513'e göre bu değer 30 kg/cm^2 'den büyük olması istenmektedir.

Sürtünme ile Aşınma Kaybı (Böhme) deneyi sonucu olarak İnkaya Mermer Ocağı, Karakılıç Köyü Mermerleri'nin $0,226 \text{ cm}/50 \text{ cm}^2$ olduğu bulunmuştur. Bu da bize çalışmış olduğumuz mermerin sürtünme ile aşınma kaybının, hakiki mermer olmaması yani kireçtaşı mermeri olması nedeniyle istenilen değerler içerisinde olduğunu göstermiştir.

Sodyum Sülfat Don Kaybı deneyi sonucu Karakılıç Köyü Mermerleri'nin % 0,81 olduğu saptanmıştır. TS 10449'da bu değer $\% 1$ 'den küçük olması istenir.

Karakılıç Köyü Mermerleri'nin çekme mukavemeti $71,5 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuştur.

Yapılan kimyasal analiz sonucu CaCO_3 oranının $\% 98$ in üzerinde çıkmıştır. $\% 95$ 'den fazla olduğu için standartlara uymaktadır.

Petrografik inceleme için alınan ince kesitler ile malzemede kalsit damarcıklarına rastlanmıştır. Ayrıca mermerin üst kratese yaşlı, $\%10-20$ fosil taşıyan mikritik kireçtaşı olduğu saptanmıştır.

Bölgede yapılan araştırmaların derinleştirilmesi sonucu bu bölgede daha bir çok yerde işletmeye açılacak mermer ocağı olabileceği düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. DPT, "VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik ÖİK Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri ÇG Raporu Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri Cilt-3 Mermer", 1996.
2. İlker,S., "Adana Kuzeybatısının Jeolojisi ve Petrol Olanakları", TPAŞ Raporu Arşiv No: 973, s.65, Ankara, 1975, Yayınlanmamış.
3. Lagap,H., "Kıralan-Karakılıç-Karaisalı (NW Adana) Alanının Litostratigrafik Kronostratigrafik İncelemesi", Yüksek Lisans Tezi, s.29-53, Adana, 1985.
4. Önem,Y., "Sanayi Madenleri", s.330-354, Ankara, 2000.
5. Temur,S., "Endüstriyel Hammaddeler", s.231-241, Konya,1998.
6. T.S. 699, "Doğal Yapı Taşlarının Muayene ve Deney Metotları", Ankara, 1978.
7. T.S. 699, "Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Metotları", Ankara, 1987.
8. T.S. 1910, "Kaplama Olarak Kullanılan Doğal Yapı Taşları", Ankara, 1977.
9. T.S. 2513, "Doğal Yapı Taşları", Ankara, 1977.
10. T.S. 10449, "Mermer-Kalsiyum Karbonat Esaslı-Yapı ve Kaplama Taşı Olarak Kullanılan", Ankara, 1992.
11. Yetiş,C., "New Observations on the age of the Ecemiş Fault", International Symposium on The Geology of The Taurus Belt., s.159-164, 1983.



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 ifadeli olmalıdır. Başlık, büyük harflerle ve sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Makale 1 satır aralıkla yazılmalıdır. Alt başlıklarla ilk paragraf ve paragraflar arasında 1 aralık bırakılmalıdır. Yazar ad ve soyadları unvan belirtilmeden, başlığın 1 cm altına sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Yazar sayısı birden çok ise, hepsi alt alta yazılmalıdır. Yazar adresi (Üniversite, Fakülte, Bölüm, Şehir) makale başlığının altına yazılmalıdır.

Makaleler çizelge, şekil ve fotoğraflarla en fazla 15 sayfa olmalıdır. Ancak kısaltılması mümkün olmayan makalelerin yayınlanmasında yayın kurulu yetkilidir. Şekil ve grafikler çini mürekkep ile aydıngezer 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 yayınlansın 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

Sandal Dağı (Mersin) Güney-Doğusunun Stratigrafisi ve Karaisalı Kireçtaşının Sedimanter Petrografik Özellikleri <i>Stratigraphy of the Southern-Eastern Part of the Sandal Mountain (Mersin) Area and Sedimentary Petrographic Properties of the Karaisalı Limestone</i> Cengiz YETİŞ, İsmail DİNÇER.....	245
Niğde Merkezi SO ₂ ve Patiküler Madde (PM) Anomalisi <i>Anomaly of SO₂ and Particular Substance in Downtown Niğde</i> Mustafa Gürhan YALÇIN, Semiha İLHAN, Mustafa AKYILDIZ, Serkan İÇERLER.....	267
Kızıl (Yahyalı/Kayseri) Demir Cevherleşmesinin Jeokimyasal İncelemesi <i>The Geochemistry Investigation of the Kızıl (Yahyalı/Kayseri) Iron Mineralizations</i> Mustafa AKYILDIZ, Sibel ERGÜL.....	281
Karakılıç Köyü (Karaisalı-Adana) Kireçtaşı Mermerlerinin Teknomekanik Özelliklerinin Belirlenmesi <i>Determination of Technomechanical Properties of Karakılıç Village (Karaisalı-Adana) Limestone Marbles</i> Ercüment BİLGER, Mesut ANIL.....	293

Prefabrik Yapı Elemanı Üretiminde Kullanılan Çelik Kalıpların Titreşim Etkisinde Deneysel Olarak İncelenmesi <i>Experimental Investigation of Steel Moulds Used in the Production of Precast Concrete Units under Vibration</i> Gültekin AKTAŞ, Tarkan BARAN, A.Kamil TANRIKULU.....	105
Prefabrik Yapı Elemanı Üretiminde Kullanılan Çelik Kalıpların Titreşim Etkisinde Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi <i>Theoretical and Experimental Investigation of Steel Moulds used in the Production of Precast Concrete Units under Vibration</i> Gültekin AKTAŞ, Tarkan BARAN, A.Kamil TANRIKULU.....	117
Nehir Akımlarının Deterministik ve Stokastik Özelliklerinin İncelenmesi <i>Investigation of Deterministic and Stochastic Properties of Stream Flows</i> Murat ÇOBANER, Mahmut ÇETİN, Recep YURTAL.....	129
Lif Takviyeli Uçucu Küllü Betonların İşlenebilirlik Özellikleri <i>Workability Properties of Fiber Reinforced Fly Ash Concrete</i> Cengiz Duran ATIŞ, Okan KARAHAN.....	139
Islak ve Kuru Kür Edilmiş Granüle Yüksek Fırın Cürufu İçeren Betonların Basınç Dayanımı <i>Wet and Dry Cured Compressive Strength of Concrete Containing Ground Granulated Blast-Furnace Slag</i> Cengiz Duran ATIŞ, Cahit BİLİM.....	151
Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi <i>Investigation of the Mechanical Properties of High Strength Concrete</i> Şahin Tolga GÜVEL, İsmail Hakkı ÇAĞATAY.....	165
Diyarbakır Rezidüel Kilinin Köken-Mineral Yapı-Mühendislik Davranışı İlişkilerinin İrdelenmesi <i>Evaluation of Origin-Mineralogy-Engineering Behaviour of Residual Clay in Diyarbakır Province</i> Taha TAŞKIRAN, Cafer KAYADELEN.....	177
1998 Afet Yönetmeliğine Göre Yapı Düzensizlikleri ve Çözüm Önerilerinin Mimari Açısından İncelenmesi <i>Irregularities of Structures According to the New Turkish Earthquake Code 1998 and Investigations of Architectural Solutions</i> Senem (BOZKURT) AKTÜRK, S.Seren (AKAVCI) GÜVEN.....	187
Kağıt Endüstrisinden Kaynaklanan Gerçek Atıksuların Mezofilik Anaerobik Arıtımı <i>Anaerobic Mesophilic Treatment of Real Wastewater Generated from Papermill Industry</i> Emine Özge PİRGÜN, Mesut BAŞIBÜYÜK.....	203
Montaj Hatlarının Değişen Koşullar Altında Yeniden Dengelenmesi <i>Assembly Line Rebalancing under Varying Conditions</i> Ebru YILMAZ, Rızzan EROL.....	213
Otomotiv Sektöründe Kurumsal Karne Uygulamasına Dayalı Performans Yönetim Sistemi Kurulumu ve Değerlendirilmesi <i>Building up and Evaluation of a Performance Management System Based on Balanced Scorecard for Automotive Sector</i> İsmail DÜNDAR, Oya H. YÜREGİR.....	229