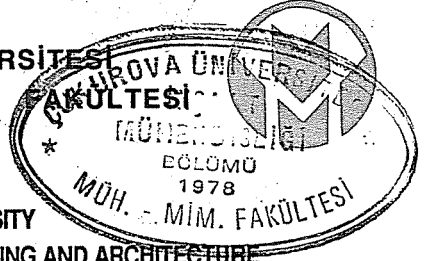


ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK
DERGİSİ



ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT	SAYI	ARALIK	1989
VOL 4	NO 1	DECEMBER	

İÇİNDEKİLER
(CONTENTS)

Belenköy (Feke-Adana) barit yatakları ve köken sorunları Barite deposits of Belenköy (Feke-Adana) and genetical problems	Serdar ÖZÜŞ, Servet YAMAN	5
Gezende Barajı dolayının (Mut) Jeoloji incelemesi Geological investigation of surrounding of Gezende Dam (Mut)	Sedat TÜRKMEN, Cavit DEMİRKOL	17
Döşemelerin çözümünde pratik ve sayısal metodlar Practical and numerical methods in solution of plates	Erhan KIRAL, Muhittin YENGÜNER	39
Helisel çubukların statik davranışının rijitlik matrisi metodu ile incelenmesi Determination of statical behaviour of helical bars by the stiffness matrix method.	Vebil HAKTANIR, Erhan KIRAL	57
Konsolidasyon katsayısının yarı analitik tayini Semi-analytical determination of the coefficient of consolidation	M.Arslan TEKİNSOY, Tefaruk HAKTANIR	75
Çevre sıcaklığının zamansal değişiminin eşitliklerle hesaplanması Analytical determination of ambient temperature's temporal variation	R.Tuğrul OĞULATA, Tuncay YILMAZ	85
Biyelin krank-biyel mekanizması üzerindeki dinamik etkileri Daynamic effects on the slider-crank mechanism	İ.Deniz AKÇALI, Hüseyin MUTLU, Onur GÜVEN	97
Pozitif iletimli sabit debili paletli pompaların tasarım ilkeleri ve performans araştırması Design principles of positive displacement fixed delivery vane pumps and the investigation of their performance	Erdem KOÇ, Ertuğrul ÜNVER	109

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ

Sahibi : Prof. Dr. Tuncay YILMAZ
Ç.Ü.Müh.Mim.Fak.Dekanı

Editör : Prof. Dr. Erhan KIRAL

Yard. Editör : Y. Doç. Dr. Fikret İŞLER

Yayın Kurulu : Prof. Dr. Erhan KIRAL
Doç. Dr. M.Salih KIRKGÖZ
Doç. Dr. Servet YAMAN
Y. Doç. Dr. Fikret İŞLER
Y. Doç. Dr. Beşir ŞAHİN

Yazışma Adresi :
Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Dergi ve Yayın Kurulu Başkanlığı

P.K. 198 Balcalı/ADANA

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ BASIMEVİ
ADANA



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ

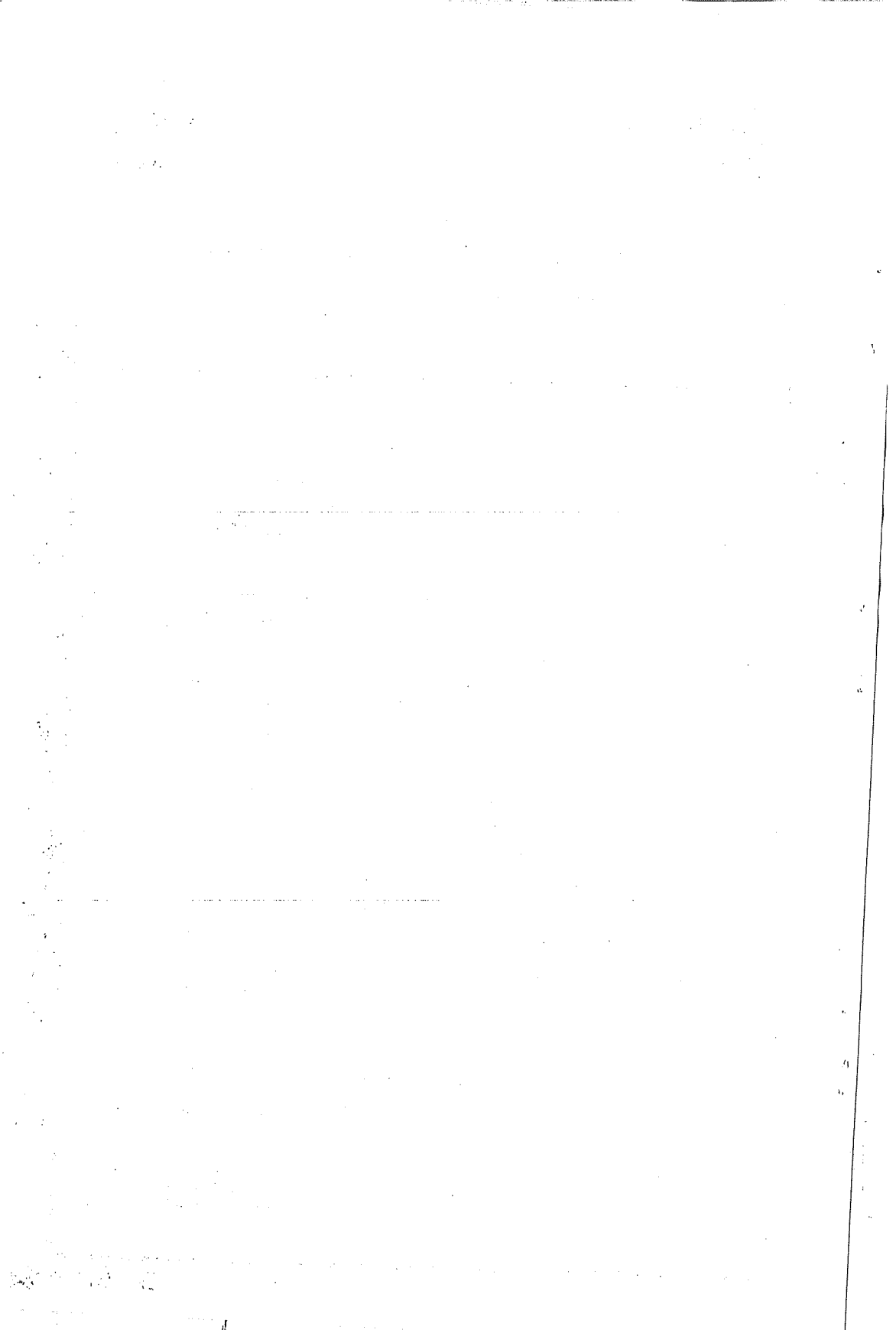


ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT	SAYI	ARALIK	1989
VOL 4	NO 1	DECEMBER	

İÇİNDEKİLER
(CONTENTS)

Belenköy (Feke-Adana) barit yatakları ve köken sorunları Barite deposits of Belenköy (Feke-Adana) and genetical problems Serdar ÖZÜŞ, Servet YAMAN	5
Gezende Barajı dolayının (Mut) Jeoloji incelemesi Geological investigation of surrounding of Gezende Dam (Mut) Sedat TÜRKMEN, Cavit DEMİRKOL	17
Döşemelerin çözümünde pratik ve sayısal metodlar Practical and numerical methods in solution of plates Erhan KIRAL, Muhittin YENGÜNER	39
Helisel çubukların statik davranışının rijitlik matrisi metodu ile incelenmesi Determination of statical behaviour of helical bars by the stiffness matrix method. Vebil HAKTANIR, Erhan KIRAL	57
Konsolidasyon katsayısının yarı analitik tayini Semi-analytical determination of the coefficient of consolidationM.Arslan TEKİNSOY, Tefaruk HAKTANIR	75
Çevre sıcaklığının zamansal değişiminin eşitliklerle hesaplanması Analytical determination of ambient temperature's temporal variation R.Tuğrul OĞULATA, Tuncay YILMAZ	85
Biyelin krank-biyel mekanizması üzerindeki dinamik etkileri Daynamic effects on the slider-crank mechanism I.Deniz AKÇALI, Hüseyin MUTLU, Onur GÜVEN	97
Pozitif iletimli sabit debili paletli pompaların tasarım ilkeleri ve performans araştırması Design principles of positive displacement fixed delivery vane pumps and the investigation of their performance Erdem KOÇ, Ertuğrul ÜNVER	109



BELENKÖY (FEKE-ADANA) BARİT YATAKLARI VE KÖKEN SORUNLARI

Serdar ÖZÜŞ^X
Servet YAMAN^X

ÖZET

Belenköy barit yatakları Feke (Adana) S.W'da Üst Kambriyen yaşlı Değirmentaş kireçtaşları ile Alt Kambriyen yaşlı Emirgazi formasyonuna ait kireçtaşları arasında dokanak zonlarında yer alır. Parajenez kalsit, pirit, galenite, hematit, barit ve kuvars'tan oluşur. Barit birbirini takip eden üç aşamadan oluşmuştur. Barit içerisindeki sıvı kapanımlar, bunların hidrotermal kökenli olamayacağını vurgular. Emirgazi formasyonunda saptanan yüksek Baryum anomalisi bu formasyonun Baryum'ca zengin olduğunu ve mineralleşmenin yanıl hareketle gelen ve kırık sistemlerinde yerleşen sıvılarla oluştuğunu göstermektedir. Mineralleşmenin alt yaş sınırı Ordovisiyen-Kambriyen olarak kabul edilebilir.

BARITE DEPOSITS OF BELENKÖY (FEKE-ADANA) AND GENETICAL PROBLEMS

ABSTRACT

Belenköy barite deposits, situated at S.W of Feke (ADANA), are located between Middle Cambrian aged Değirmentaş limestones and Lower Cambrian aged limestones belonging to Emirgazi formation. Paragenesis are composed of calcite, pyrite, galena hematite, barite and quartz. Data obtained from inclusion fluids from barite show that the mineralisation could not be hydrothermal origin. High barium anomaly values from Emirgazi Formation reveal the pre-concentration of this element and the mineralisation could be formed as lateral remobilizations through the fractured contact zones. The probable low age limits can be considered as Ordovician-Cambrian.

1. GİRİŞ

İncelenen barit mineralleşmeleri Doğu Toros'lar bölgesinde Belenköy (Feke-ADANA)'ün yaklaşık 2 km G.B'da yer alır (Şekil.1).

Ekonomik öneme haiz barit cevherleri, Geyidağ birliğine ait Kambriyen yaşlı Emirgazi formasyonu ile Değirmentaş formasyonları içerisinde yer alır. Bu cevherleşmenin incelenmesi ve Doğu Toroslar-da gözlenen diğer barit cevherleriyle karşılaştırılması, bu çalışmanın amacını oluşturur.

Bölgede önceki çalışmalar genelde jeoloji amaçlı olup, metalojenik gözlemler oldukça azdır. Birçok araştırmacı (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) bölgede yaptıkları jeoloji araştırmalarında Doğu Torosları oluşturan Paleozoik formasyonlarını çeşitli yönleriyle incelemiştir. Jeolojik araştırmaların yanısıra bölgesel anlamda Pb-Zn cevherleşmeleride (9, 10, 11, 12) değişik araştırmacılara konu olmuştur. İncelenen Fe-Zn-Pb cevherleri bu araştırmacılara göre muhtemelen hidrotermal kökenlidir. Daha önce (13) inceleme bölgesine yakın bir yerde F-Ba üzerine yapılan bir araştırmada (Akkaya) alternatif olarak sedimanter-epijenetik bir model ileri sürülmüştür.

İnceleme alanına ait 1/10.000 ölçekli harita alımı ile cevher parajenezi ve süksasyonu inceleyerek jeolojik konum saptanmıştır. Cevherleşmenin köken sorunlarına jeokimyasal veriler ve sıvı kapanım gözlemleriyle yorum getirilmiştir.

2. GENEL JEOLOJİ

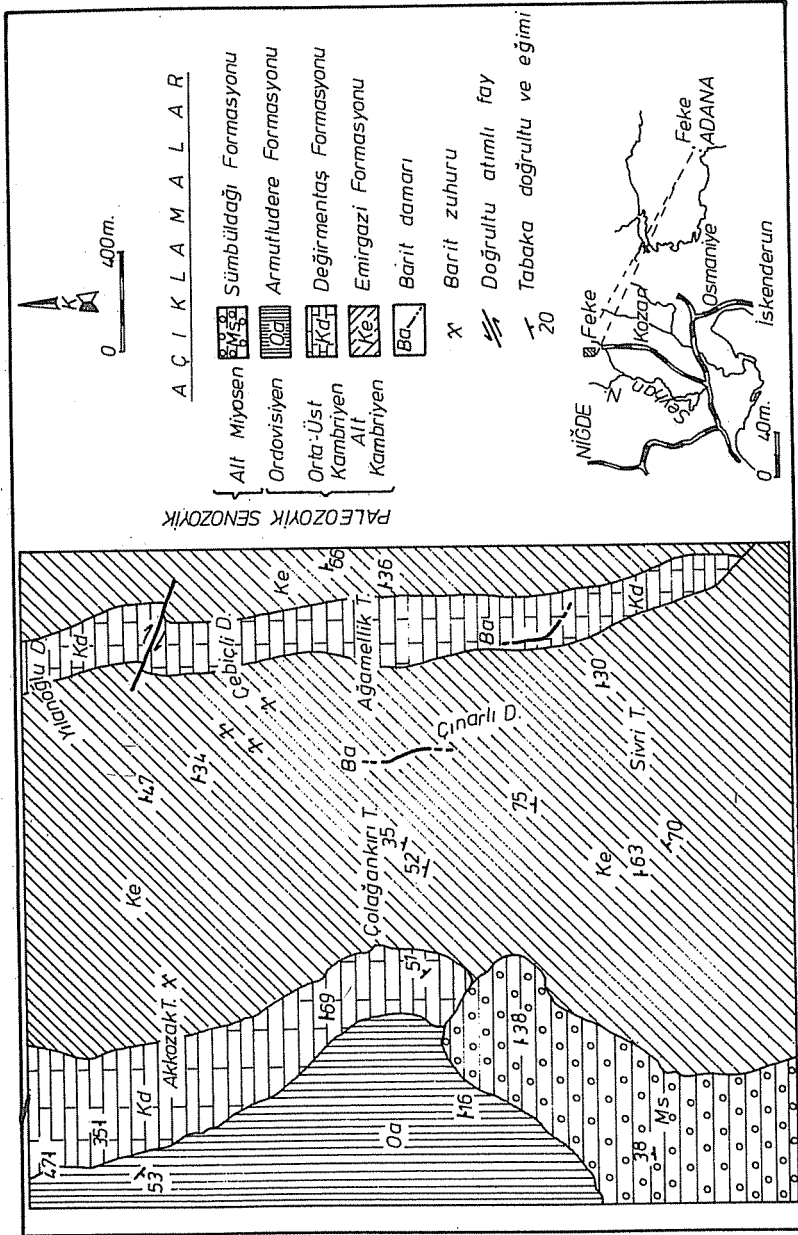
Bölgede Üst Paleozoyik ve Üst Senozoyik sistemlerine ait otokton karakterli litostratigrafik birimler bulunur. Bu birimlere ait inceleme ve adlandırılmalar birçok araştırmacı tarafından yapılmıştır (3, 4, 5, 6). İnceleme alanında ayırdanmış olan Emirgazi, Değirmentaş ve Armutludere formasyonları Paleozoik birimler, Sümbüldağ formasyonu ise Senozoyik birimler olarak saptanmıştır.

2.1. Paleozoyik

2.1.1. Emirgazi Formasyonu (Ke)

Bu formasyon bölgede en yaşlı birim olup Geyikdağı Birliği'nin en yaşlı seviyelerini oluşturur. Birim, çamurtaşı, kumtaşı, kuvarsit, kireçtaşı-dolomit'lerden oluşur. Bu birimler düşey ve yanal değişimlerle birbirlerine geçerler.

Belenköy barit yatakları ve köken sorunları



Sekil 1: Çalışma alanına ait jeoloji haritası

Çamurtaşları, silttası, kiltası ve yer yer şeyl seviyelerinden oluşmuştur. Bariz şistozite gösterirler. Yeşil-gri silttaları ince katmanlı, laminalı olup, kuvars ve feldispat'ca zengin düzeyler içerir. Mikroskopta bu birime ait örneklerde kireçtaşı ve metamorfik kayaç parçaları yaklaşık 0,01 mm boyutunda ve yer yer opak mineraller ile birlikte gözlenmiştir. Matriks genelde krolit-serisit'ler oluşmuştur. Kilttaşları laminalı kırmızı-kahverengi bir yapıda çok ince opak mineral ve kuvars düzeyleri içerir. Kumtaşları, subarkozik karakterde gri-yeşil renkli ince-orta katmanlı, yer yer çapraz tabakalanmalı ve bol çatlaklıdır. Mikroskopta % 70-75 kuvars % 15-20 feldispat ve mika parçacıkları kloritli-serisitli-karbonatlı bir matriks içerisinde gözlenmiştir. Kuvarsitler kalın-orta katmanlı, bol çatlaklı, açık pembe renklidir. İçerisinde % 90-95 kuvars az miktarda hematit ve kil mineralleri içerir. Çimento ince silis'ten oluşmuştur. Dolomitik kireçtaşları düzensiz mercek yapılı, gri-siyah renkli, orta-kalın katmanlı, kalsit damarlı ve sparit cementoludur.

Emirgazi formasyonuna ait birim çatlakları boyunca spekularit'ler yerleşmiştir. Formasyonun kuvars'ca zengin olması bu tanelerin muhtemelen granitik veya gnaysik bir kaynaktan geldiklerini göstermektedir. Formasyonda fosile rastlanmamıştır. Formasyon yaşı litolojik karakterlerin denestirilmesi ve stratigrafik konumuna göre Alt Kambriyen olarak saptanmıştır.

2.1.2. Değirmentası Kireçtaşı (Kd)

Değirmentası kireçtaşları Emirgazi formasyonu üzerine tabanda koyu renkli dolomitlerle uyumlu olarak gelir. Yukarı doğru açık-gri, orta-kalın katmanlı mikrosparitik, bol kalsit damarlı kireçtaşlarına geçer. Şistik yumrulu orta katmanlı kireçtaşı seviyeleri bu birim üst kısmını oluşturur. Alt ve üst formasyonlarla uyumlu dokanak oluşturan birime önceki araştırmacılar tarafından Orta-Üst Kambriyen yaşı verilmiştir.

2.1.3. Armutludere Formasyonu (0a)

Alt dokanağında Değirmentas kireçtaşları ile uyumlu olan Armutludere formasyonu şeyl birimlerinden oluşur. Açık kahverenkli ince tabakalı, laminalı, yer yer şistik yapılı olan birim çalışma alanı içerisinde en geniş yüzlekleri verir. Mikroskopta kayacın

% 50-60 kloritli serisitli bir matrix içerisinde % 30-40 kuvars-feldispat taneleri ve % 2'ye ulaşan opak mineraller gözlenmiştir. Formasyonun yaşı önceki araştırmacılar tarafından (5, 6, 7) Ordovisiyen olarak saptanmıştır.

Paleozoik'i temsil eden her üç formasyon içerisinde şeyl, çamurtaşı ve nodüler kireçtaşlarında gözlenen şistik dokular epizonal bölgesel metamorfizma'nın izleri olarak kabul edilebilir. Doğu Toroslar'da KB-GD yönünde gelişmiş sıkışma tektoniği bölgeyi etkilemiş ve KD-GB yönlü düşey faylar ile D-B yönlü doğrultu atımlı faylar ile ters ve asimetrik kıvrımlar oluşmasına neden olmuştur.

2.2. Senozoyik (Ms)

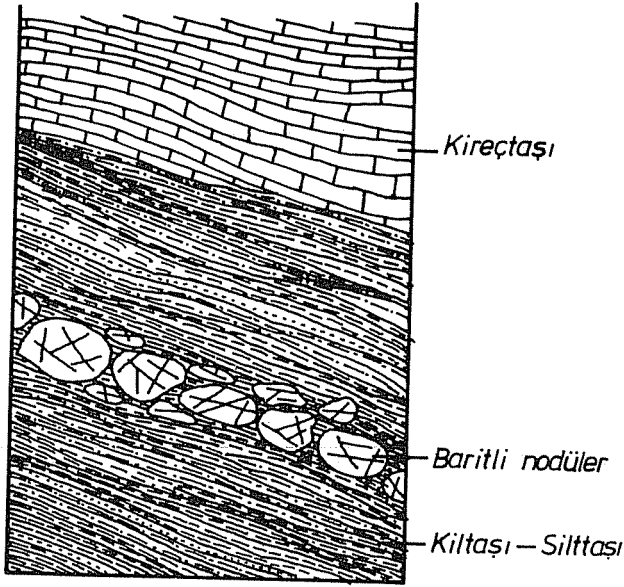
Bölgede Tersiyer birimler Paleozoik temeli açısal uyumsuzlukla örter. Sümbüldağ formasyonu konglomera ve kumtaşı birimlerinden oluşur. Elemanlar belirgin bir derecelenme ve boyut göstermezler. Tabandan tavana doğru daha düzenli dizilim ve derecelenme gösteren kalkarenitlere geçer. Birimin yaşı önceki araştırmacılar tarafından Alt Miosen olarak tespit edilmiştir (7, 8).

3. BARİT CEVHERLEŞMESİ

Barit cevherleşmesi Belenköy (Feke-ADANA)'nın 2 km GB'da yer alır. Alt Kambriyen yaşlı Emirgazi Formasyonu içerisinde çamurtaşı-kireçtaşı ve çamurtaşı-kuvarsit dokanaklarında damarlar veya merclekler şeklinde görülürler. Benzer oluşuklar Değirmentaş Kireçtaşları içerisinde küçük boyutlu düşey kırık hatları boyunca gözlenir. Barit damarları tipik epijenetik karakterde olup kalınlığı 0,1-7 m arasında değişen düzensiz yapılar gösterirler. Genelde N-S yönünde gelişen damarlar yüzeyde 50-60 m ulaşan uzunlukta takip edilebilirler.

Akkozaktepe civarında iyi yuvarlanmış irili ufaklı barit nodüllerine Emirgazi Formasyonu çamurtaşları içerisinde rastlanılmıştır (Şekil.2). Nodüllerin taşınma izleri barizdir. % 90-95 kalsit ve % 2-5 civarında barit kristallerinden oluşan bir kabuk barit yumrularını çevreler. Bu nodüller muhtemelen sedimantasyon ile aynı süreçte oluşmuşlardır.

Parajöz, barit, kuvars, hematit, galen, pirit, limonit ve kalsit içerir. Barit üzerindeki çalışmalar baritin ekonomik saflıkta ve değişik dokusal özelliklerde olduğunu göstermiştir (Şekil 2-3).

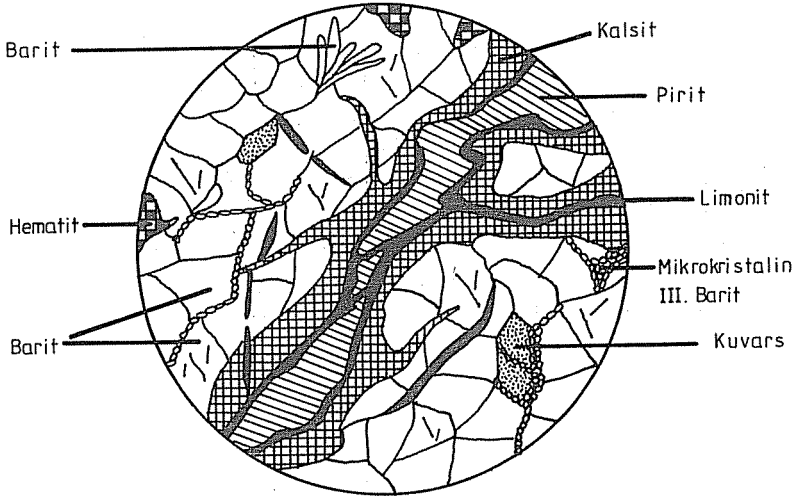
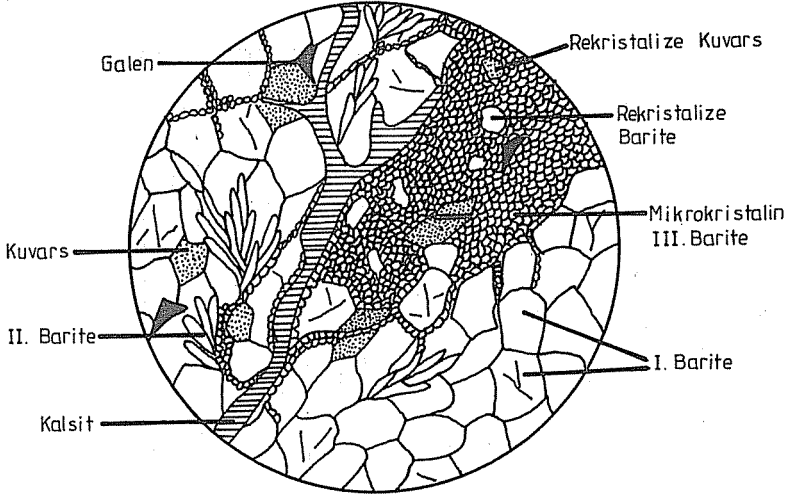


Şekil 2: Akkozaktepe barit zuhuru

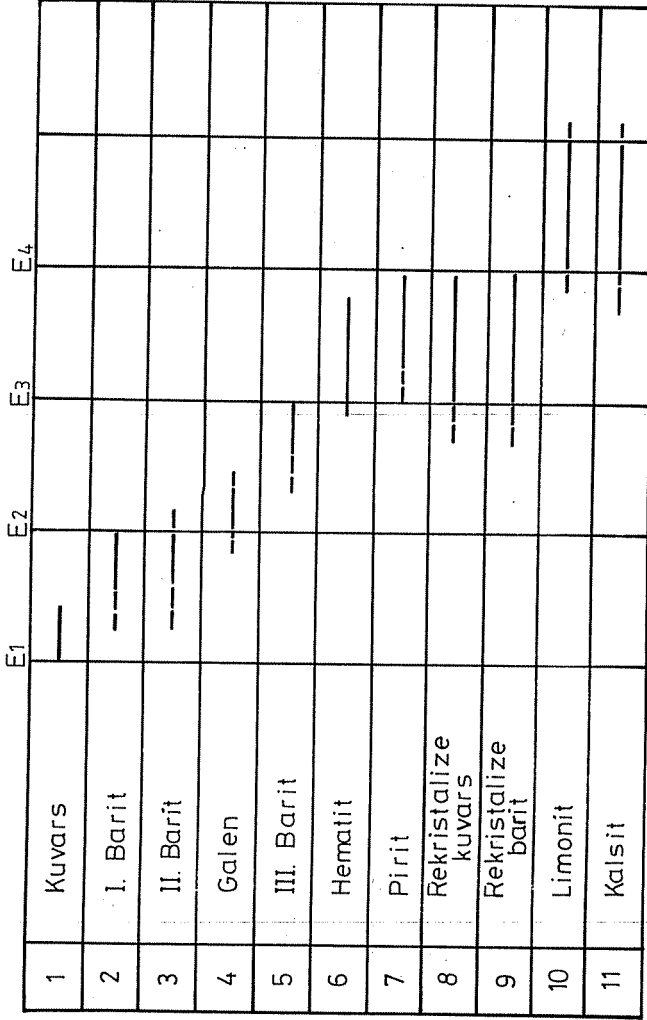
İlk iki barit oluşumu birbirinden renk farklılıklarıyla ayrılırlar. Üçüncü barit oluşumu ince kristalli olup bazı kuvars ve diğer barit kristallerini keser. Bu gözlemlere göre barit oluşumları sırasında deformasyonların etkili olduğu söylenebilir. İnce kristalli matriks-teki tri barit ve kuvars kristallerinin diyajenez ve remobilizasyon süreçlerinde geliştikleri tahmin edilmektedir.

Barite eşlik eden kuvars değişik şekillerde ve düzensiz dağılımlarıyla dikkati çeker. (Şekil.3). Mikrokristalen özşekilli kuvars kristalleri barit içerisinde remobilize tip olarak gözlenmiştir.

Hematit, metalik parlaklığı belirgin spekülarit pulcukları şeklinde parajenezde barite eşlik eder. Emirgazi Formasyonunun tüm seviyelerinde kırık sistemlerinde dolgular şeklinde yer alır. Galen yan özşekilli veya dissemine kristaller şeklinde yer yer % 3-5 varan (Çınarlıtepe meyki) miktarda barit içerisinde görülür. Pirit, barit kırıklarını dolduran milimetrik damarcıklar oluşturur. Yer yer limonite dönüşmüşlerdir.



Şekil 3: Barit ince kesitlerinde izlenen parajenez ve süksesyon



Sekil 4 : Belenköy barit yataklarında gözlenen parajenez ve süksesyon

Kalsit, kayaç-damar dokanaklarında oldukça kalın zonlar oluşturur. İkincil karakterli olup, tartif çatlak dolgularında belirgindir.

4. JEOKİMYASAL İNCELEMELER

Çalışma alanı içerisinde veya yakınlarında magmatik kayalara rastlanılmamıştır. Bu nedenle baryum'un kaynağı önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Tuvenan cevher analizlerinde Barit % 88-94, SiO₂; % 1,2-1, Diğerleri (Fe₂O₃ + FeS + PbS ± CaCO₃); % 3,6-7 değerleri bulunmuştur. Yan kayaçlardaki baryum anomalisi ise 1232 ppm olarak tespit edilmiştir (14). Bu değer Emirgazi Formasyonunun baryumca hedef bölge oluşturduğunu gösterir.

Köken kayıtlarını en iyi muhafaza eden sıvı kapanımlar barit içerisinde incelendiğinde bunların tek fazlı ve düşük NaCl içerdikleri görülmüştür. Hidrotermal kökenli minerallerde sıvı kapanımlar genelde (CO₂ + H₂O) karışımını yansıtan iki fazlı (sıvı + gaz) bir bileşim içerir (15). Barit kristalleri üzerindeki incelemeler ve birincil kapanımların tespiti geometrik kristallere göre yapılmıştır (16). Birincil kapanımlar 20 µ'dan küçük ve homojen dağılımlıdır. Gaz fazın bulunmaması mineral oluşturucu sıvıların düşük sıcaklıkta olduklarını ve mineralleşme ortamının duraylı ve dengeli fiziko-kimyasal koşullar içerisinde olduğunu yanştır.

5. BARİT'İN KÖKENİ VE TARTIŞMA

Belenköy barit cevherleşmesi damar şeklinde dokanak ve kırık zonlarında yerleşmiştir. Bölgede etkin olan tektonizma Paleozoik yaşlı tüm birimleri etkilemiştir. Bu kırık sistemleri muhtemelen barit yerleşimi için en uygun yerleri oluşturmuşlardır.

Paleozoik yaşlı formasyonlar aynı zamanda bölgesel metamorfizma izleri taşımaktadır. Kırılma tektoniği metamorfizmanın hemen ardından gelişmiştir. Baryum remobilizasyonu muhtemelen bölgesel metamorfizma sırasında feldispat'ca zengin kırıntılılarda başlamıştır. Nitekim birden fazla gözlenen barit ve kuvars gelişimi tipik bir remobilizasyon ürünü olarak kabul edilebilir. Aynı ve benzer gözlemler Aydap ve Yuları Pb-Zn-Ba yatakları (17, 18) belirtilmiştir.

Baryum diyajenezi sırasında bakterilerin BaSO₄ indirgedikleri ve baryumun Ba⁺⁺ şeklinde çözeltiye geçtiği belirtilmiştir (19).

Çözeltiliye geçen Ba⁺⁺ miktarı 5500 ppm kadar ulaşmaktadır. Bu durum da baritin birincil süreç içerisinde sedimantasyon ile eş oluşumlu olarak çökelindiği diyajenez-metamorfizma sırasında hareketlendiği söylenebilir.

Belenköy barit cevherleşmesinin hidrotermal kökenli olabileceği savını bu bulgular ışığında söylemek zordur. Mineralojik, petrografik, jeokimyasal ve sıvı kapanım verileri zaten Ba'ca zengin olan Emirgazi formasyonunun diyajenez sırasında bünyesindeki Ba'mu tabakalar boyunca veya uygun kırık sistemlerine doğru hareketlendirdiği söylenebilir.

6. SONUÇLAR

Belenköy barit yatakları Emirgazi ve Değirmentaş formasyonları içerisinde epijenik damarlar veya synsedimenter karakterli mineralleşmiş gövdelerdir. Barit damarları yüzeyden derine doğru daralmaktadır. Bölgede Paleozoyik yaşlı birimler bölgesel metamorfizmadan etkilenmişlerdir. Bu etki muhtemelen barit rekristalleşmesine ve göçüne neden olmuştur. Baritteki tek fazlı sıvı kapanımlar homojen dağılımlı ve düşük sıcaklık ürünleridir.

Emirgazi formasyonunu yüksek Ba anomalisi göz önüne alındığında, barit içeriğinin bu formasyon içerisinde sedimantasyonla birlikte var olduğu söylenebilir. Diyajenez ve metamorfizma sonucu muhtemelen baryum birincil konumunu kaybederek uygun kırık ve boşluklara doğru hareketlenmişlerdir. Mineralleşmenin alt yaş sınırı Kambriyen-Ordovisiyen'dir.

KAYNAKLAR

- [1]. Blumenthal, M.N., 1941, Niğde ve Adana vilayetleri dahilindeki Torosların jeolojisine umumi bir bakış: M.T.A. Seri B, No 6, 48 s.
- [2]. Abdüsselamoğlu, Ş., 1958, Yukarı Seyhan Bölgesinde Doğu Torosların jeolojik etüdü: M.T.A. Enst. Derleme Rap., 2668, Yayınlanmamış.
- [3]. Demirtaşlı, E., 1967, Pınarbaşı-Sarız-Mağra ilçeleri arasındaki sahanın litostatigrafi birimleri ve petrol imkanları: M.T.A. Enst. Derleme Rap., 4389, Yayınlanmamış.

- [4]. Üzgül,N., Metin,S., Göger,E., Bingöl,L. ve Baydar,O., 1973, Tufanbeyli dolayının Kambriyen ve Tersiyer Kayaları: Türkiye Jeoloji Kurumu Bült., 16-1, 65-78.
- [5]. Üzgül,N., 1976, Torosların bazı temel jeoloji özellikleri: T.J.K.Bült., 19-1, 65-78.
- [6]. İplikçi,E., Ayhan,A., 1978, Adana iline bağlı Kozan-Feke-Saimbeyli civarının jeolojik etüdü: M.T.A.Enst.Derleme Rap., 7673, Yayınlanmamış.
- [7]. Metin,S., Demirtaşlı,E. ve Ayhan,A., 1983, Autochthons paratochthons and ophiolites of the eastern Taurus and Amanos mountains: International symposium on the geology of the Taurus Belt, field guide book, pp. 7-12.
- [8]. Tutkun,S.Z., 1984, Saimbeyli (Adana) yöresinin stratigrafisi: Cumhuriyet Univ. Müh.Fak.Dergisi, Seri A-Yerbilimleri, 1-1, 31-40.
- [9]. Dağlıoğlu,C., 1987, Doğu Toroslar Otokton Geyikdağı Birliğinde Alt Kambriyen Detrititlerinde Kromit Bulgusu: T.J.K. 1987 Bildiri Özleri, s.24.
- [10]. Dağlıoğlu,C., Üztürk,E., 1978, Adana Saimbeyli-Beypınarı ve civarı fosfatlı oolitik demir zuhurları jeoloji raporu: M.T.A. Enst.Derleme Rap., 1964, Yayınlanmamış.
- [11]. Henden,I., Ünder,E., 1980, Attepe (Mangurlu) demir madeninin jeolojisi: Türkiye Jeol.Kur.Bült., 23-2, 153-164.
- [12]. Temur,S., 1978, Horzum (Kozan-Adana) yöresi piritli Zn-Pb yataklarının kökensel incelenmesi: T.J.Kurultayı, 1987 Bildiri Özleri, s.28.
- [13]. Üzüş,A.S., Yaman,S., 1986, Akkaya (Feke-Adana) Fluorit-Barit mineralleşmesi ve köken sorunları: Türkiye Jeol.Kurultayı Bült., 29-2, 35-42.
- [14]. Onlü,T., Stendal,H., 1986, Divriği bölgesi demir yataklarının element korelasyonu ve jeokimyası (Orta Anadolu, Türkiye): Jeoloji Mühendisliği Derg., 28, 5-19.

- [15]. Roedder, E., 1979, Fluid inclusions as samples of ore fluids: Barnes, H.L. Ed., geochemistry of hydrothermal ore deposits: John Wiley and Sons Inc. New York, 798 p.
- [16]. Deicha, G., 1955, Les lacunes des cristaux et leurs inclusions fluides: Masson et Cie, 126 p., Paris.
- [17]. Ayhan, A., 1981, Aydap ve Yuları (Gazipaşa-Antalya) Pb-Zn yataklarının kökeni ve remabilizasyon sorunu: M.T.A.Enst. Derg., 95/96, 101-112.
- [18]. Ayhan, A., 1982, Burhan Mahallesi-Yuları Köyü arasında bulunan galenitli barit yatakları (Gazipaşa-Antalya): Türkiye Jeol.Kur.Bült., 25-2, 105-117.
- [19]. Puckelt, H., 1967, Zur Geochemie des Baryums im exogenen Zyklus, Springer, 205 p., Heidelberg.

GEZENDE BARAJI DOLAYININ (MUT) JEOLOJİ İNCELENMESİ

Sedat TÜRKMEN(X)
Cavit DEMİRKOL(XX)

ÖZET

Bu çalışma İçel ili, Mut ilçesinin 30 km. güneybatısında Gülnar ve Ermenek ilçeleri arasında bulunan Gezende barajı çevresinin jeoloji incelemesini kapsar.

İnceleme sonucunda farklı litolojik dizilim ve yapısal konum sunan Mesozoyik ve Senozoyik birimler ayırt edilmiştir. Mesozoyik; otokton ve allokton birimlerden ibarettir. Temelde otokton konumlu olan Triyas ve Jura yaşlı formasyonlar yer alır. Bu formasyonlar üzerine yerleşim yaşı Üst Kretase olan allokton konumlu Ermenek karmaşığı tektonik olarak yerleşmiştir. Senozoyik birimler ise Mesozoyik birimler üzerine uyumsuz olarak çökelmiştir. Eosen; konglomera ve kireçtaşı, Oligosen; kiltası, kumtaşı, çakıltası ve Miyosen ise marn ve resifal kireçtaşı ile temsil edilir.

GEOLOGICAL INVESTIGATION OF SURROUNDING OF GEZENDE DAM

ABSTRACT

This study consists of geological investigations of Gezende Dam and its surrounding which is situated

(X) DSI 6. Bölge Müdürlüğü, Planlama Şube Md.lüğü, ADANA
(XX) Ç.Ü. Müh-Mim. Fak., Jeoloji Müh. Böl., ADANA

between Gülnar and Ermenek towns and a distance of 30 km. to Mut town of İçel province.

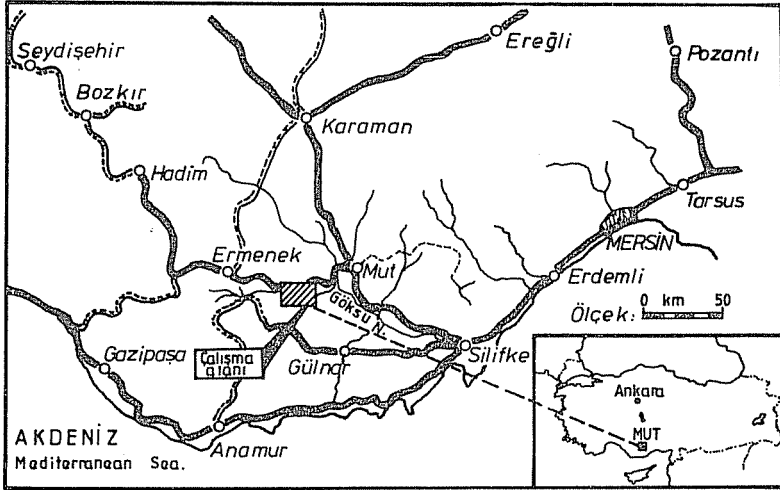
As a result of geological investigations, different lithostratigraphic sequences and structural conditions of Mesozoic and Senozoic units have been distinguished in the area. Mesozoic; consist of autochthonous units which are Triassic and Jurassic aged and allochthonous unit which is Upper Cretaceous aged, Senozoic units are formed on Mesozoic units discordantly and Eosen as Gezende formation, Oligocen as Yenimahalle formation, Miocene as Köselimli and Mut formations.

1.GİRİŞ:

İnceleme alanı Mut'un (İçel) 30 km. güneybatısında ve 1/25000 ölçekli Silifke O30 c4, d3 ve d4 topografya paftaları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Bu yöre Orta Toros sıradağlarına özgü sarp ve engebeli olup Akdeniz iklim koşullarının hakim olması nedeniyle yer yer sık bitki örtüsüne sahip yer yer de çıplak bir görünüm sunmaktadır.

Bölgenin morfolojisi oldukça engebeli bir topografya sunar. Morfoloji, yapısal jeoloji ve litolojiye bağlı olarak gelişmiştir. Ermenek çayının Miyosen'den itibaren yatağını derinleştirmesi ve epirojenik yükselimler sonucu, bugünkü derin vadi ve yüksek sırtlar oluşmuştur.

Bölgede yapılan jeoloji çalışmaları sonucunda otokton konumlu Triyas ve Jura yaşlı ve allokton konumlu Ermenek karmaşığı ile bu birimler üzerine uyumsuz çökelti çökelen Senozoyik birimlerden oluşma farklı özellikteki çökel kayalar ayırtlanmıştır. Mesozoyik; ince tabakalı



Sek.1- Yerbulduru haritası.

dolomitik kireçtaşı ve şeylden oluşma Kızılkuzluk formasyonu; kumtaşı-şeyl'den ibaret Akdökük formasyonu; kumtaşı, çamurtaşı ve dolomitik kireçtaşından ibaret Yerköprü formasyonu ile ofiyolitik özellikteki Ermenek karmaşığı ile temsil edilir. Ermenek karmaşığı Triyas-Kretase yaşlı çökel kayaların büyük captaki bloklarıyla ofiyolitik hamurdan oluşmuştur. Ofiyolit; serpantinleşmiş peridotit, diyabaz, split, bazik denizaltı volkanitleri ve tüflerden meydana gelmiştir. Ofiyolitik hamur içerisinde yer alan bloklar ise kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşından ibaret büyük çökel kütlelerdir. Ermenek karmaşığı bölgeye tektonik olarak gelmiş ve bugünkü konumunu kazanmıştır. Karmaşığın yerleşim yaşı en geç Üst Kretase (Mestrihtiyen) dir[1]. Senozoyik birimler ise Mesozoyik temel üzerine diskordan olarak çökelmişlerdir. Eosende; Gezende formasyonu, Oligosende; Yenimahalle formasyonu ve Alt-Orta

Miyosende de Köselerli ve Mut formasyonu ayırtlanmıştır.

Bu çalışma neticesinde; inceleme alanının ayrıntılı jeoloji haritası (Şekil 2), genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (Şekil 3), jeoloji enine kesitleri (Şekil 4) ve birimlerden ölçülen stratigrafik kesitleri (Şekil 5.6) hazırlanmıştır.

2.STRATİGRAFI

Inceleme alanında Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı formasyonlar yüzeylemektedir. Mesozoyik temeli; otokton konumlu olan Triyas yaşlı seyl-dolomitik kireçtaşı, kumtaşı-seyl ve Jura yaşlı konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ve dolomitik kireçtaşı birimleri oluşturur. Bu birimler üzerinde allokton konumlu olan Ermenek karmaşığı yer alır. Ermenek karmaşığı, Triyas-Kretase zaman aralığını kapsayan çökel kayaların blokları ile bu blokları içerisinde bulunduran ofiyolitik hamurdan oluşmuştur.

Senozoyik birimler ise Mesozoyik temel birimleri uyumsuz olarak örtmektedir. Bu birimler; konglomera ve kireçtaşından oluşan orta Eosen (Lütesiyen) yaşlı Gezende formasyonu, killi kireçtaşı, kiltası, kumtaşı, çakıltası ve kömür düzeylerinin düzensiz ardalanmasının izlediği Alt Oligosen yaşlı Yenimahalle formasyonu, Alt-Orta Miyosende marn ile temsil olunan Köselerli formasyonu ve resifal kireçtaşından oluşan Mut formasyonudur (Şekil 3).

2.1.MESOZOYİK

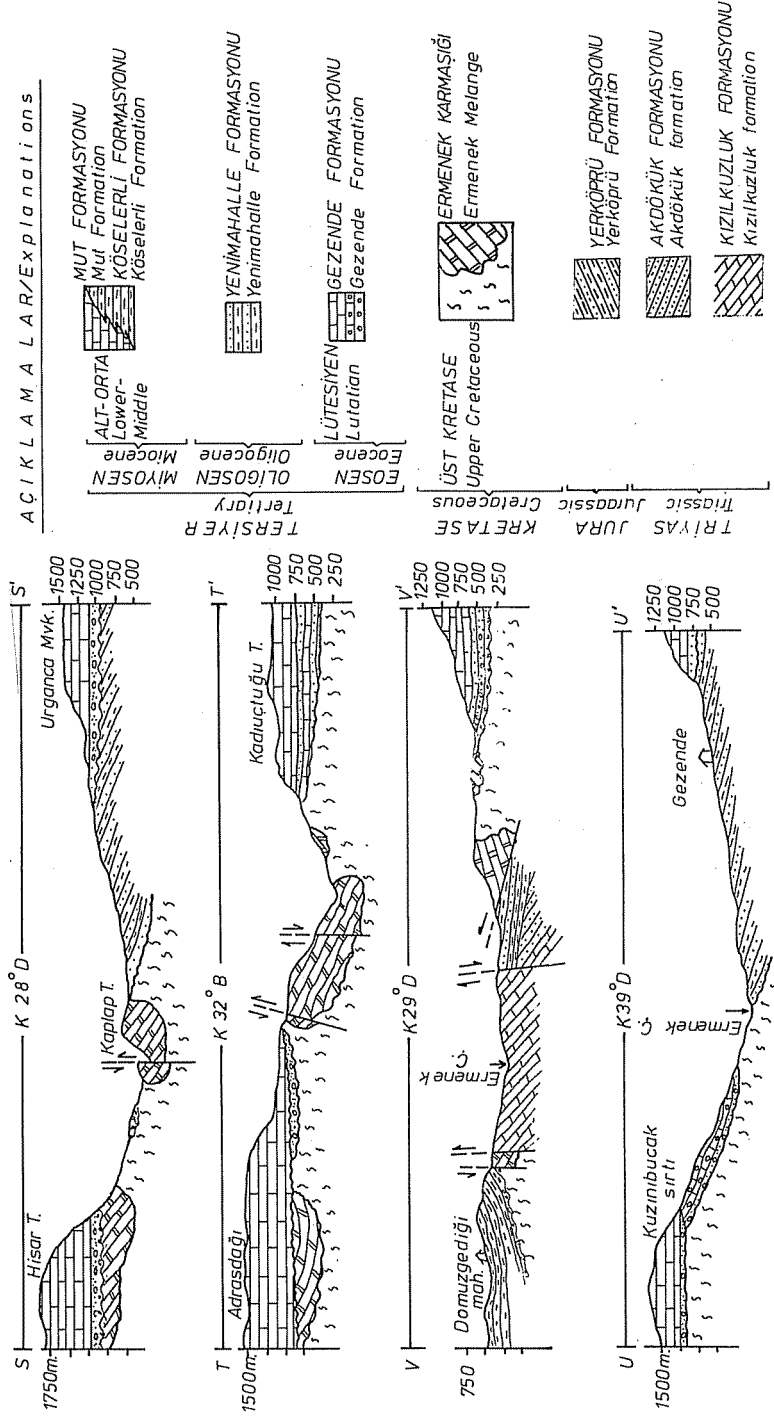
2.1.1. Kızılkuzluk Formasyonu (R k)

Ermenek çayının aşındırması sonucunda yüzeyleyen

ÜST SİSTEM UPPER SYSTEM	SERİ SERIES	FORMASYON FORMATION	KALINLIK THICKNESS	SİMGE SYMBOL	LİTOLOJİ LITHOLOGY	FOSİL FOSSILS					
S E N O Z O Y İ K (S E N O Z O I C)	T E R S İ Y E R (T E R T I A R Y)	MİYOSEN (MIOCENE) ALT - ORTA (LOWER - MIDDLE) KÖSELERLİ - MUT	100 - 600 m. 250-750 m.	Tm Tk	Alüvyon						
					KİREÇTAŞI: Krem be- yaz renkli, resifal Limestone, reefal.	Miogypsina polymorpha Rutten Borellismelo, Fichtel - Molli					
					GEÇİŞ						
					MARN: Yeşil, gri renk li bol fosilli Marl, Green and gray coloured	Globigerinoides bis phericus, Praeorbulina transitoria, Aurila soummamensis					
					DİSKORDANS						
					KİLTAŞI, KUMTAŞI, ÇAKILTAŞI: Claystone, Sandstone, Conglomerate						
					Kömür: Coal						
					KİLLİ KİREÇTAŞI Limestone With clay						
					KONKORDANS						
					KİREÇTAŞI KONGLOMERA Limestone Konglomerate	Quinguelaculina Sp Alveolina Sp, Rataliidae					
M E S O Z O Y İ K (M E S O Z O I C)	KRETASE (CRETACEOUS) ÜST KRETASE (CRETACEOUS)	ERMENEK KARIYAŞIĞI	100 - 1000 m.	Ke	OFİYOLİT - KİREÇTAŞI BLOKLARI (Ophiolites - Limestone blocks)						
					DİSKORDANS						
					TETKONİK						
					KONGLOMERA KUMTAŞI DOLOMİTİK KİREÇTAŞI Konglomerate sandstone dolomitic limestone						
					DİSKORDANS						
					KUMTAŞI - ŞEYL Sandstone						
					KONKORDANS						
					DOLOMİTİK KİREÇTAŞI Dolomitic limestone MARN Marl KUMTAŞI Sandstone ŞEYL						
					M E S O Z O Y İ K (M E S O Z O I C)	T R İ Y A S (T R I A S S I C)	KIZILKUZLUK	50-150 m. 100 - 650 m.	Jy Ra Rk		
										JURA	
ÜST KRETASE (CRETACEOUS)											
ERMENEK KARIYAŞIĞI											

Şek. 3 - Genelleştirilmiş stratigrafi kesiti.

ACIKLAMALAR/Explanations



Şek. 4 - Jeoloji enine kesitleri.

Kızılıkuzluk formasyonu tabanda ince, yer yer de laminalı, gri-yeşil renkli marn ve ince tabakalı gri-siyah renkli dolomitik kireçtaşı ile başlamakta ve ince, orta, kalın tabakalı dolomitik kireçtaşı ve yer yer de kumtaşı ile ardalanmalı olarak devam etmektedir. Tabanı gözlenememiştir. Tavanda ise Akdökük formasyonu ile uyumludur. Önceki çalışmalarda [1] Mut-Silifke ve Ermenek civarında tanımlanan Kızılıkuzluk formasyonu ile stratigrafik ve litolojik benzerliği göz önüne alınarak bu çalışmada da aynı adlama uygun görülmüştür. Fosil saptanamamış olup stratigrafik konumundan dolayı Triyas yaşında olduğu kabul edilmiştir. Birim en iyi Ermenek çayı vadisinde Vaysal mahallesi güneyinde ve Gezende barajı eski santral yerinde yüzeylenmektedir.

2.1.2.Akdökük Formasyonu (T a)

Yine Ermenek çayı vadisinde, aşınma sonucunda yüzeyleyen Akdökük formasyonu gri-yeşil renkli kumtaşı ve şeyl ardalanmasından ibarettir. İlk kez bu çalışmada adlandırılmıştır. Tabanda Kızılıkuzluk formasyonu ile uyumlu, tavanda ise Yerköprü formasyonu ile uyumsuzdur. Fosil saptanamamış olup Kızılıkuzluk formasyonu ile uyumlu olması ve stratigrafik konumu göz önüne alınarak Triyas yaşında olduğu kabul edilmiştir.

Birim; en iyi Ermenek çayı vadisinde Akdökük mevkiğinde ve Gezende barajı kuvvet tüneli III nolu ulaşım tüneli civarında gözlenmektedir. Esas litolojisi kumtaşı olan birim içerisinde yer yer ince bantlar halinde şeyl düzeyleri mevcuttur. Kumtaşı; gri-siyah renkli, sert, iyi çimentolu, şeyl ise gri-yeşil ve sarı renkli olup gevşek yapılıdır.

2.1.3.Yerköprü Formasyonu (Jy)

Ermenek çayı vadisinde yüzeyleyen Yerköprü formasyonu; en iyi Yerköprü civarında gözlenmesinden dolayı ilk kez bu çalışmada Yerköprü formasyonu olarak adlandırılmıştır. Kırmızı-bordo renkli konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ve gri-bej renkli orta-kalın tabakalı dolomitik kireçtaşıdan ibaret olan birim tabanda Akdökük formasyonu üzerine uyumsuz olarak çökelmiştir. Tavanda ise Ermenek karmaşığına ait kireçtaşları ile tektonik dokanaklıdır.

Tabanda yeralan konglomeralar polijenik çakıllı olup kırmızı-bordo renkli çimento ile tutturulmuş sert ve sağlamdır. Çamurtaşı düzeyleri sert kırılğan ve bordo renklidir. Orta kalın tabakalı olan dolomitik kireçtaşları ise sert sağlam ve bir kaç metre kalınlığında düzeyler seklindedir. Yaş verebilecek fosil saptanamamış olup Akdökük formasyonu üzerine diskordanslı olarak çökmesi ve stratigrafik konumu göz önüne alınarak Jura yaşında olduğu kabul edilmiştir.

2.1.4.Ermenek karmaşığı (Ke)

Birim geniş alanlarda yüzeylemekle beraber en yaygın ve belirgin olarak Ermenek çayı vadisinde ve Ermenek civarında gözlenmesi nedeniyle ilk kez bu çalışmada Ermenek karmaşığı adı ile tanımlanmıştır. Önceki çalışmalarda [1,2] birim ofiyolitli melanj olarak adlandırılmıştır. Triyas-Kretase zaman aralığına ait çökel kayaların blokları ile ofiyolitik harmurdan oluşur. Ofiyolitik hamur; serpantinleşmiş peridotit, diyabaz, split ve tüflerden meydana gelmiştir.

Ofiyolitik hamur içerisinde büyük çaplı kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı blokları yer almaktadır. Çalışma alanında Eosen yaşlı Gezende formasyonuna ait konglomera ve kireçtaşları, özellikle Sandallı Tepe (J-7) ve Gökboyundüzü civarında (H-7), marndan ibaret Alt-Orta Miyosen yaşlı Kösellerli formasyonu ise Gezende Barajı Hidroelektrik santrali civarında, resifal özellikteki Mut formasyonuna ait kireçtaşları da Sandallı Tepe, Kuzinibucak Sırtı (I-6), Sivridağ civarında (O-8) ve Adrasdağının büyük bir kesiminde, birimi uyumsuz olarak örtmüştür.

Ermenek karmaşığı içerisinde yer alan serpantinitle oldukça ayrılmış, yeşil-mavi renkli olup, yer yer diyabaz daykları ile kesilmiş ve çatlaklar içerisinde magnezitler gözlenmiştir. Diyabaz daykları yaygın bir şekilde izlenebilmektedir.

Ofiyolitik hamur içerisinde yer alan bloklar ise geniş bir alanda yüzeylemektedir. Ermenek çayı vadisinde ve bir çok alanda diğer Mesozoyik yaşlı birimler üzerine belirgin tektonik dokanakla gelen büyük çaplı kireçtaşı blokları; gri-bej renkli, orta kalın tabakalıdır. Sivridağ civarında (M-8), Adrasdağı eteklerinde (K-6), Yerköprü mevkiğinde (L-8), Kesikköprü civarında (D-5), Kaplap kayasında (B-3) ve Ermenek ilçesine doğru Ermenek çayı vadisi boyunca geniş bir alanda yüzeylemektedir. Senozoyik birimlerin temelini oluşturan bu kireçtaşı bloklarının büyük bir kısmı ofiyolitik hamur içerisinde yüzer şekildedir.

Ofiyolitik hamurla, ayrışma ve aşınma dereceleri farklı olduğundan oldukça sarp ve düzensiz bir topografya oluşturan kireçtaşları; gri-bej, beyaz,

siyah renkli, orta-kalın tabakalı olup yer yerde dolomitiktir. Gezende barajının temelini oluşturan ve derivasyon tünelleri ile kuvvet tünelinin 1/3'nün geçildiği bu kireçtaşlarından derlenen örneklerden;

Chrisalidina sp.,

Rugoglobigerina sp.,

Quinqueloculina sp.,

Textularia sp.,

Valvulinidae,

Verneulinidae,

Tintinnidae gibi fosiller belirlenmiştir. Daha önceki çalışmalarda bu kireçtaşlarına Triyas-Kretase yaşı verilmiştir. Buna göre ofiyolitlerin yerleşim yaşı da içerisinde yer alan blokların yaşına göre Üst Kretase muhtemelen Eosen başına kadar süren zaman aralığıdır[1]

2.2.SENOZOYİK

2.2.1.Gezende Formasyonu(Tg)

İlk defa adlandırılan birimin adı en iyi temsil edildiği Ermenek çayı vadisindeki Gökboyundüzü (I-7) civarındaki yakın yerleşim yeri Gezende köyünden (F-11) alınmıştır. İnceleme alanında yapılan önceki çalışmalarda birim ile ilgili herhangi bir adlama yapılmamıştır. Litolojisi konglomera ve kireçtaşıdır. Birim Ermenek karmaşığı üzerine uyumsuz olarak çökelmiştir. Üst sınırında Yenimahalle formasyonu ile uyumludur. Gezende formasyonu en yaygın olarak Gökboyun düzünde (I-7), Helvacini Tepe (F-5) ve Sandallı Tepe civarında (I-7) yüzeylenmektedir. Tip kesiti. en iyi

gözlendiği Gökboyundüzü civarında ölçülen kesitte; alacalı renkte konglomera ile başlayan birim tabakalı yer yer de yumrulu kireçtaşı ile devam etmektedir (Sekil 5). Breş görünümlü konglomeralar tabakalanma göstermezler, taneler köşeli ve Ermenek karmaşığı içerisinde yer alan Jura-Kretase yaşlı kireçtaşlarından türemedir. Konglomeranın çimentosu yeşil renkli killi materyalden oluşmuştur. Kireçtaşı düzeyleri ise ince tabakalı, gri-sarı renkli ve oldukça sert görünümlüdür. Bu düzeyler alttan üste doğru çakıllı kireçtaşından kumlu kireçtaşına doğru bir değişim sunarlar. Kireçtaşı düzeyleri yer yer makro fosil içermektedir. Birimlerden derlenen örneklerden;

Quinqueloculina sp

Alveolina sp..

Rotaliidae..

Pelesipod kavkı parçası, Gastropod kavkısı, mercan parçası gibi fosiller saptanmıştır. Yaşı Orta Eosen (Lütesiyen) olarak belirlenmiştir.

2.2.2. Yenimahalle Formasyonu (Ty)

Birim en iyi Kaplap mahallesi (C-6), Evsin köyü civarı (A-3), Gezende baraj yeri ve Gezende köyü (F-11) civarında yüzeylenmektedir. Önceki çalışmalarda [1] Ermenek civarında ve çalışma alanında Yenimahalle formasyonu olarak tanımlanmış, bu çalışmada da aynı adlama uygun görülmüştür. Alt dokanağı Gezende formasyonu ile uyumlu, üst dokanağı ise resifal kireçtaşından oluşma Mut formasyonu ile düşük açılı uyumsuzdur.

Tip kesitte; altta killi kireçtaşı ile başlar ve

kiltaşı, marn, kumtaşı, çakıлтаşı ve kömür düzeylerinin düzensiz ardalanması ile devam eder. Tabanda yer alan kireçtaşı, gri-sarı renkte olup orta-kalın tabakalıdır. Kiltaşı ve marn düzeyleri ise kalın tabakalı, gri-yeşil renklerde, sert, kırılğan, kırılma yüzeyleri konkoidaldir. Ayrıca gastropod ve bitki yaprağı gibi fosiller içermektedir. Yer yer kömürleşmiş bitki parçacıkları yaygın şekilde görülebilmektedir. Birimin üst seviyelerinde yaygın şekilde ardalanmış kumtaşı, çakıлтаşı ve miltası düzeyleri arasında kömür bandları da yer almaktadır. Kumtaşı tabakaları arasında gözlenen kömürler Ermenek dolayında işletilmektedir. Çakıлтаşı düzeyleri ise düzensiz ardalanmalar sunar, çakıl taneleri oldukça yuvarlak, iyi boylanmalı olup altaki Ermenek karmaşığına ait serpantin, diyabaz ve kireçtaşından türemez.

Ermenek civarında önceki çalışmalarda [3] bulunan taşınmış; Nummulites, Alveolina, Operculina' nın yanısıra,

Vetustocytheridea sp.,

Monsmirabilia sp.,

Cypria sp., gibi karasal ve/veya geçiş özelliği gösteren ostrakodlar ile birime Alt Oligosen yaşı verilmiştir.

2.2.3.Köselerli Formasyonu (Tk)

Birim önceki çalışmalarda [1] Mut civarında Köşelerli formasyonu olarak adlandırılmıştır. Benzer litolojisi ve yanal devamlılığı gözönüne alınarak bu çalışmada da aynı adlama uygun görülmüştür. Çalışma

ile geçişlidir. Gri-yeşil renkli marnlardan oluşmuş, bol makro ve mikrofosil içeren birim altta 20-25 m kalınlığında taban konglomerası ile başlayıp kumlu kireçtaşı, killi kireçtaşı ve marnlar ile devam eder. Genel olarak Mut havzasının kenar kısımlarında resifal kireçtaşı çökelerken havzanın ortasında marnlar çökelmiştir. Yer yer denizin ilerlemesine bağlı olarak formasyonun çökeltme sınırı karaya doğru ilerlemiş ve havza kenarı boyunca oluşan resifal kireçtaşını aşarak örtmüştür. Denizin ilerlemesi ve zaman zaman sığlaşması ile bağıntılı olarak, çalışma alanında olduğu gibi marn ve kireçtaşı ardalanması meydana gelmiştir.

Marn; gri-yeşil renkte olup yumuşak, kırılğan, bol makrofosil (gastropod, lamellibras, ekinid, mercan vb.) içermektedir. Arabandlar halinde yer alan kireçtaşı tabakaları 20 cm ile bir kaç metre arasında değişmektedir. Marn düzeylerinde ise belirgin bir tabakalanma gözlenmemektedir.

Birimden alınan örneklerde;

Globigerina ciperoensis angustiumbilocata, Bolli,

Globirotalia Obesa, Bolli,

Globigerinoides sicanus de Stefani,

Globigerinoides sacculifer subsaculifer, Cita,

Globigerinoides bisphericus, Todd,

Hastigerina siphonifera praesiphonifera, Blow,

Praeorbulina trasitoria, Blow,

Globigerinoides quadrilabatus primordius, Blow

ve Banner,

Aurila Soummamensis, Coutella ve Yassini,

SİSTEM System	SERİ Series	FORMASYON Formation	KALINLIK Thickness	LİTHOLOJY- Lithology	FOSİLLER-Fossils		
KRETASE Cretaceous	TERSIYER-Tertiary	MIYOSEN - Miocene	ALT-ORTA / Lower-Middle	KÖSELERLİ	150 m.	MARN, Gri-yeşil renkli kırılğan bol fosilli	Globigerinoides bisphaericus Todd, Globigerinoides sicanus de' Stefani, Cibicides Sp. Eponides Sp.
						KİREÇTAŞI, Sarı-krem renkli, resifal özellikli	Globigerinoides Sicanus de' Stefani Hastigerina siphonifera praesiphonifera Blow, Globorotalia obesa Bolli Praeorbulina transtoria Blow,
KRETASE Cretaceous	TERSIYER-Tertiary	MIYOSEN - Miocene	ALT-ORTA / Lower-Middle	KÖSELERLİ	150 m.	MARN, Gri-yeşil renkli, jipsli	Paracyris Sp. Krithe Sp.
						KİREÇTAŞI, Sarı-krem renkli	Aurila soummamensis Nonion Sp. Elphidium Sp. Robulus Sp.
KRETASE Cretaceous	TERSIYER-Tertiary	MIYOSEN - Miocene	ALT-ORTA / Lower-Middle	KÖSELERLİ	150 m.	MARN	Globigerinoides quadrilobatus primordius Blow ve Barner
						KİREÇTAŞI	Globigerina ampliapertura Bolli Spiroloculina Sp.
KRETASE Cretaceous	TERSIYER-Tertiary	MIYOSEN - Miocene	ALT-ORTA / Lower-Middle	KÖSELERLİ	150 m.	MARN, Gri-yeşil renkli, bol fosilli	
						KİREÇTAŞI, Sarı-krem renkli, orta-kalın tabakalı	
KRETASE Cretaceous	TERSIYER-Tertiary	MIYOSEN - Miocene	ALT-ORTA / Lower-Middle	KÖSELERLİ	150 m.	MARN Gri-yeşil renkli, bol fosilli	
						KİREÇTAŞI	
KRETASE Cretaceous	TERSIYER-Tertiary	MIYOSEN - Miocene	ALT-ORTA / Lower-Middle	KÖSELERLİ	150 m.	KUMLU KİREÇTAŞI	
						KONGLOMERATA	
KRETASE Cretaceous	TERSIYER-Tertiary	MIYOSEN - Miocene	ALT-ORTA / Lower-Middle	KÖSELERLİ	150 m.	DİSKORDANS	

Şek. 6-Köşelerli formasyonuna ait ölçülmüş stratigrafi kesiti.

Krithe sp.,Paracypris sp.,Elphidium spTextularia sp.,Spiroloculina sp.,

Nonion sp.

Quinqueloculina sp.,

Robulus sp.,

Cibicides sp.,

Eponides sp.

gibi foraminifer ve Ostrakodlar saptanmış ve yas Alt Miyosen (Akitanıyen-Burdigaliyen) olarak belirlenmiştir(Gökçen). Önceki çalışmalarda [1] Mut havzasında;

Globigerinoides trilobus trilobus (Reuss),

Globigerina bulloides d'Orbigny,

Praeorbulina glomerosa glomerosa Blow,

Cibicides floridanus Cushman,

Robulus rotulatus Lamarck

gibi fosiller saptanmış ve Orta Miyosen yaşı verilmiştir. Kösellerli formasyonu; Gökten [4]'nin Mut formasyonu, Sezer[5]'in Mut marn formasyonu, Adana havzasında Schmidt[6]'in Güvenc seyleri ile denestirilebilir.

2.2.4.Mut Formasyonu(Tm)

Çalışma alanı içinde ve çevresinde oldukça yaygın şekilde yüzeyleyen resifal özellikteki kireçtaşı, önceki çalışmalarda [1] Mut formasyonu olarak adlandırılmış ve bu adlama, bu çalışmada da aynen kullanılmıştır. Mut formasyonu Ermenek çayı vadisinin her iki yamacında büyük sırtlar şeklinde yüzeylemektedir. Birim Kösellerli formasyonu ile düşey ve yanal geçişlidir[1,7]. Çalışma alanı içerisinde Adras dağı(J-5) ve Sivridağ

(M-8) civarında doğrudan Mesozoyik temel üzerine; Sandallı Tepe civarında (J-6) Eosen yaşlı Gezende formasyonu üzerine; Gezende köyü (E-11) ile Köseçobanlı köyü civarında (C-7) ve Kaplap mahallesi güney ve güneybatısında (I-7) ise Alt Oligosen yaşlı Yenimahalle formasyonu üzerine uyumsuz olarak çökeldiği gözlenmektedir. Kalınlığı 750 m. kadardır. Mut formasyonunu oluşturan kireçtaşı ile Köseçobanlı formasyonunu oluşturan marn yanal ve düşey geçişlidir. Bu bakımdan iki formasyonun sınırını çizme çok yerde güçtür. Vaysal mahallesi batısında ve Keyli mahallesi civarında kireçtaşı-marn ardalanması yaygın olarak izlenmektedir. Formasyonun asıl litolojisi resifal özellikli kireçtaşı olup, yer yer killikireçtaşı, marn ve kumtaşı bandları da içermektedir. Kireçtaşı; sarı-krem renkli, oldukça sert, bol miktarda alg, foraminifer, ekinid, lamellibrans, gastropod, mercan vb.gibi fosiller içermektedir. Formasyon için resif karmaşığı terimini kullanmak doğru olur.

Birimlerden derlenen örneklerden;

Miogypsina polymorpha Rutten,

Borelis melo, Fichtel ve Molli, gibi fosiller saptanmış olup yaş Orta Miyosendir (ölçen). Önceki çalışmalarda [1,2,4,8] da Orta Miyosen (Langiyen-Serravalliyen) yaşı verilmiştir. Önceki çalışmalarda Sezer [5]'in Mut kireçtaşı, Gökten [4]'in Silifke yöresinde Silifke formasyonu ve Sarıaydın resif kireçtaşı, Koçyiğit [2]'in Karaman-Ermenek yöresinde Göktepe resif kireçtaşı üyesi ve Schmidt [7]'in Adana yöresinde Karaisalı kireçtaşı ile denestirilebilir.

3.YAPISAL JEOLOJİ

Torid tektonik kusağı içerisinde yer alan inceleme

alanı tektonik yapısını Alp orojenezi ile kazanmıştır. Mesozoyik birimler Hersiniyen orojenik fazının etkisinde kalmış, Tersiyerden itibaren Alp orojenezi etkili olmuştur. Çalışma alanında allokton konumlu Mesozoyik yaşlı birimler (Bozkır birliği [7]) bölgeye tektonik olarak gelmiş ve en geç Maestrihtiyen'de konumunu almıştır [1]. Ermenek karmaşığının bölgeye yerleşmesinden sonra yatay hareketler yerini düşey blok hareketlerine bırakmıştır. Zira oldukça eğimli olan Mesozoyik birimlere göre Senozoyik birimler az eğimli hatta Miyosen yaşlı Mut ve Köselelerli formasyonu yatay ve yataya yakın konumludur.

Ermenek karmaşığı Senozoyik yaşlı birimlerin temelini oluşturmaktadır. Ermenek karmaşığı ile Eosen yaşlı Gezende formasyonu, Ermenek karmaşığı ile Miyosen yaşlı Köselelerli ve Mut formasyonları, Gezende formasyonu ile Mut formasyonu ve Oligosen yaşlı Yenimahalle formasyonu ile Mut formasyonu aralarında ayrı ayrı uyumsuzluklar belirlenmiştir.

Eosen sonundan itibaren yatay hareketlerin yerini düşey hareketlerin alması nedeniyle yüksek açılı çekim fayları oluşmuştur. Gezende baraj yerinde, Sivridağ civarında, Gezende barajı dolusavak eşik yapısı altında, Vaysal mahallesi güneyinde yüksek eğimli faylar oluşmuştur. Fayların doğrultuları çalışma alanındaki tektonik gidışlere az çok paralel olup KB-GD doğrultuludur.

4.SONUÇLAR

Gezende baraj yeri ve dolayının ayrıntılı jeolojisi incelenmiş ve 1/25000 ölçekli jeoloji haritası

yapılmıştır. Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı farklı litolojik ve yapısal konum sunan birimler ayırtlanmıştır. Ayırtlanan birimlerden; Mesozoyikte otokton konumlu Akdökük ve Yerköprü formasyonları ile allokton Ermenek karmaşığı ve Senozoyikte; Eosen yaşlı Gezende formasyonu ilk kez adlandırılmıştır.

5.KATKI BELİRTME

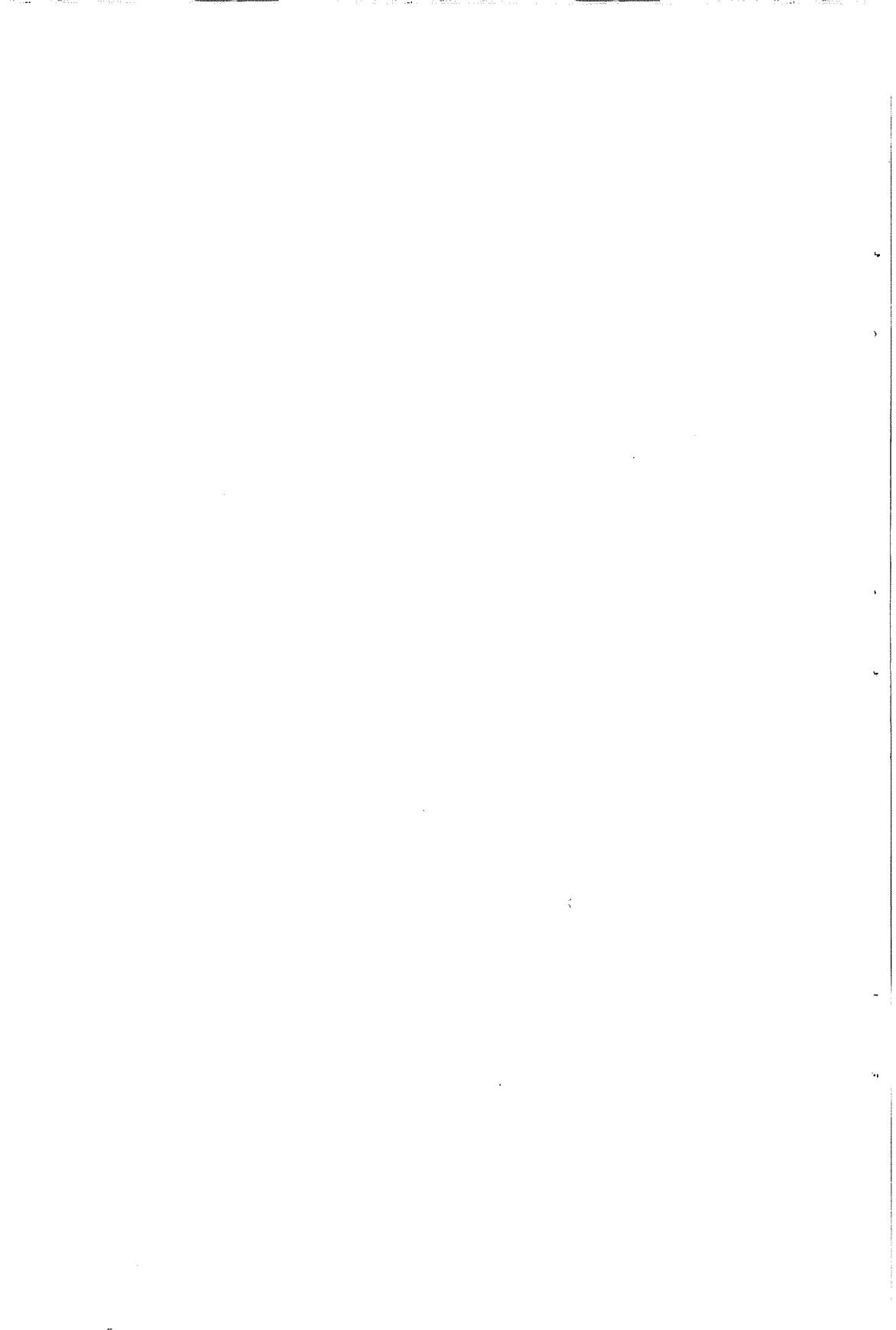
Çalışmalarda katkılarını esirgemeyen Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarına ve DSI Gezende Barajı ve HES Kontrol Amirliğine ayrı ayrı teşekkürler sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] Gedik, A., Birgili, S., Yılmaz, H., Yoldaş, R. Mut-Ermenek-Silifke yöresinin jeolojisi ve petrol olanakları. Türkiye Jeoloji Kur. Bült. 22/1, 7-27. Ankara, 1979.
- [2] Kocyiğit, A., Karaman-Ermenek (Konya) bölgesinde ofiyolitli melanj ve diğer oluşuklar. Türkiye Jeol.Kur. Bült. 19/2,103-116. Ankara, 1976.
- [3] Tanar, U., Gökçen, N. Mut havzası Tersiyerinde Mikropaleontolojik yenilikler. Türkiye Jeol. Kurultayı bildiri özetleri, 66, Ankara. 1987.
- [4] Gökten, E., Silifke yöresinin Temel Kaya Birimleri ve Miyosen Stratigrafisi. Türkiye Jeol. Kur. Bült. 19/2, 117-127. Ankara, 1976.
- [5] Sezer, S., The Miocene Stratigraphy of Mut Region, Southern Turkey (Doktora Tezi). Bircbeck College

London University, London, 1970.

- [6] Schmidt, G.C.VII. Adana Petrol Bölgesinin Stratigrafik Nomenklatürü. Petrol dairesi Nesriyatı. No:6, 47-63, Ankara, 1963.
- [7] Özgül, N., Torosların Bazı Temel Özellikleri. Türkiye Jeol. Kur. Bült. 19/1, 82-100, Ankara. 1976
- [8] Özer, B., Duval, B., Courrier, P., Letouzey, I., Antalya-Mut-Adana Neojen havzaları Jeolojisi. Türkiye 2. Petrol kongresi Teb., 177-228, Ankara, 1974.



DÖŞEMELERİN ÇÖZÜMÜNDE PRATİK VE SAYISAL METODLAR

Erhan KIRAL (*)

Muhittin YENGUNER (**)

ÖZET

Bu çalışmada, düzlemine dik yüklü plakların statik davranışı ele alınmıştır. Yönetmeliklerde öngörülen pratik yöntemler kendi aralarında ve kesin sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca, literatürde mevcut formül ve tabloların geçerlilik durumu incelenmiştir. Buna ek olarak, analitik çözümleri mümkün olmayan ve tablo ve abaklarla verilmeyen haller, sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal olarak çözülmüştür. Örnek olarak, delik çevresinde gerilme yığılmaları ele alınmıştır. İkametgâh tipi bina döşemeleri dışında, keyfi geometri ve yükleme altındaki plakların, sonlu elemanlar yöntemine dayanan hazır programlarla çözümünün gerçekçi ve pratik olduğu gözlenmiştir.

PRACTICAL AND NUMERICAL METHODS IN SOLUTION OF PLATES

ABSTRACT

In this study, statical behaviour of plates under transverse loading is considered. Practical methods indicated by the codes (TS-500) are compared with each other and with the exact results. Besides, tables and formulas available in the literature are studied. In addition to this, some cases where analytical solutions are not possible nor they can be handled by use of tables and abacus, are solved by programs based on the finite elements method. For example, stress

(*) Ç.U. Müh.-Mim Fak. İnşaat Müh. Böl., Adana

(**) Ç.U. Fen Bilimleri Ens. İnşaat Anabilim Dalı, Adana

concentration around holes in the plates is investigated. Except for the usual slabs encountered in common buildings, solution of plates of irregular geometry, havings holes and subjected to arbitrary loading proves to be practical and economical as well, by making use of programs due to the availability of personnel computers.

1. GİRİŞ

Taşıyıcı elemanlar arasında plaklar, önemli bir yer tutmaktadır. Her nekadar ikametgâh tipi yapılarda, plak geometrisi dikdörtgen ve yükleme Uniform olarak ele alınıyorsa da, durum her zaman böyle olmamaktadır. Bu durum için, yönetmelikte önerilen pratik yöntemler yeterli değildir (Löser, 1972 ; Ersoy ve Atımtay, 1975 ; Aka, Keskinol ve Arda, 1983 ; Ulug ve Odabaşı, 1983 ; TSE, 1984). Özelliği olan geometri ve yükleme durumları için, literatürde formül ve tablolar mevcuttur (Çetmeli, 1974 ; Szilard, 1974)

Plakların analizi ile ilgili analitik ve sayısal yöntemler pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Timoshenko, 1964 ; Szilard, 1974 ; Ugural, 1981). Dikdörtgen geometri ve Uniform yayılı yük halleri dışında, keyfi geometriye sahip ve karmaşık yükler altından olan plakların analitik çözümleri genellikle mümkün olmamakta, mümkün olan hallerde ise oldukça yorucu ve zaman alıcı olmaktadır. Zamanımızda bilgisayarların el altında olması nedeniyle, özellikle Sonlu Farklar ve Sonlu Elemanlar yöntemlerine başvurulmaktadır. (Rockey, Ewans, Griffiths ve Nethercot, 1975 ; Ghalı ve Neville, 1978 ; Ugural, 1981 ; Wasti ve Utku, 1985)

Bu iki sayısal yöntem arasında, genel amaçlı bilgisayar programı hazırlanmasına imkan verdiğinden, Sonlu Elemanlar Yöntemi ağırlık kazanmıştır.

Bu çalışmada, ikametgâh tipi döşemelerin çözümü için, yönetmeliklerde öngörülen yöntemlerin birbirleriyle karşılaştırmaları yapılmış ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile gerçeklik durumları incelenmiştir.

Ayrıca, mevcut tablo ve formüllerle çözümü verilen hallerin bazıları, Sonlu Elemanlar yöntemi ile ele alınmıştır.

Bunun yanında, yönetmeliğin kapsamadığı, tablo ve formüllerle çözümleri verilmeyen haller için Sonlu Elemanlar Yöntemi ile çözümler yapılmıştır. Örnek olarak, içinde delik bulunan plak için, delik çevresinde gerilme yığılması durumu incelenmiştir.

Sonuç olarak, ikametgâh tipi yapılar dışında kalan, formül ve tablolarla çözümü verilen haller için, moment ve gerilmelere geçmek uzun işlemler gerektirmektedir. Bu durumlarda da hazır programlar kullanılması daha elverişli olmaktadır.

Bu çalışmanın 2. bölümünde plak çözümlerinde ilgili yönetmeliklerde belirtilen pratik yöntemlerden Marcus, TS-500 ve Eşdeğer Çerçeve yöntemleri kısaca özetlenmiştir. Sayısal metodlardan Sonlu Farklar ve Sonlu Elemanlar yöntemleri kısaca tanıtılmaktadır.

3. Bölümde çeşitli plak problemleri için uygulamalar ele alınmıştır. Bu uygulamalar üzerinde, pratik yöntemlerin birbirleriyle karşılaştırılması yapılmış, mevcut tablo ve formüllerin gerçeklikleri incelenmiştir. Ayrıca, delikli plaklar gibi özelliği olan hallerin çözümleri, Sonlu Elemanlar Yöntemine dayanan programlar ile yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. PLAK ÇÖZÜMLERİNDE PRATİK YÖNTEMLER

Bina inşaatlarında çabuk ve kolay hesap yapmak için, ikametgah tipi yapıların kat döşemelerini oluşturan, dikdörtgen geometriye sahip ve Uniform yayılı yük altındaki plakların çözümünde, yönetmeliklerde üç pratik yöntem önerilmektedir. Bunlar sırasıyla, Marcus Yöntemi, TS-500 Yöntemi ve Eşdeğer Çerçeve yöntemidir.

2.2.1. Marcus Yöntemi

Bu yöntemde, döşemelerin şekli dikdörtgen, mesnet açıklıkları l_x ve l_y dir ve dört kenarları boyunca otururlar. Plak kenarları ya basit veya ankastre mesnettir. Düzgün yayılı yük ile yüklenmiş dikdörtgen bir plakta, bu yükü iki doğrultudaki şeritlere,

$$q_x = \frac{w\epsilon^4}{1+w\epsilon^4} q \quad q_y = \frac{1}{1+w\epsilon^4} q \quad (1)$$

olarak dağıtılıp hesap yapılmaktadır. Burada, $w = w_y / w_x$ ve $\epsilon = l_y / l_x$ tir. w_x ve w_y sehim katsayılarıdır ve döşemelerin istinad şekillerine bağlıdırlar.

2.1.2. TS-500 Yöntemi

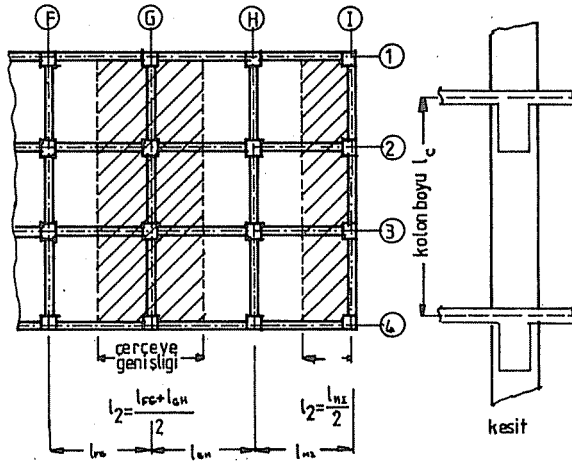
Bu yöntemin esası dört kenarından mesnetlenmiş, iki doğrultuda çalışan döşemdeki birim genişliğe düşen momenti denklem (2) ile ifade etmek, uzun kenarın kısa kenar oranına (l_u / l_k), sınır şartlarına bağlı, elastik teoriye ve deneyle dayanarak geliştirilmiş katsayılar vermektir.

$$M = c q l_k^2 \quad (2)$$

Burada q , birim alana düşen yük, l_k ise dikdörtgen döşemenin daima kısa kenarıdır.

2.1.3. Eşdeğer Çerçeve Yöntemi

Eşdeğer çerçeve yöntemi, kirişli veya kirişsiz, dolu veya boşluklu döşeme türlerinin tümünü kapsayan genel bir yöntemdir. Bu yöntemde göre, kolon aksları merkez olmak üzere, genişliği aksın bir tarafındaki döşeme oratsından, diğer taraftaki döşeme ortasına kadar uzanan parça, çerçeve gibi hesaplanmaktadır(Şekil-1).



Şekil-1. Döşeme Kiriş Elemanlarından Oluşan Eşdeğer Çerçeve

Önerilen yöntem, döşeme kolon ve kirişlerden oluşan bir sistemin, eğilme ve burulma rijitlikleri dikkate alınarak çözümü için gereken uç boyutlu analizinin, iki boyutlu analizine indirgenmiş şeklidir.

2.2. PLAK ÇÖZÜMLERİNDE SAYISAL YÖNTEMLER

Bir çok mühendislik problemi için kapalı matematiksel çözüm bulmak mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, değişik malzeme özellikleri, sınır şartları ve geometrileri ihtiva eden karmaşık plaklar için sayısal metodlara başvurmak gerekmektedir. Bu çalışmada ele alınan sayısal yöntemler, Sonlu Farklar ve Sonlu Elemanlar metodlarıdır.

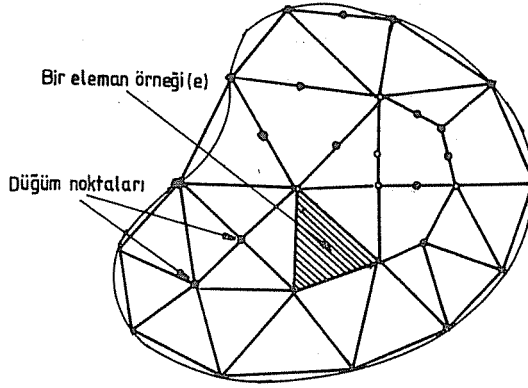
2.2.1. Sonlu Farklar Metodu

Sonlu farklar metodu ile, plaklara ait diferansiyel denklemin belirli bir yük durumu için sınır şartlarını sağlayacak şekilde bir çözümü yapılabilir. Plagın diferansiyel denklemi ile sınır şartlarını tanımlayan ifadeler, eşdeğer fark denklemleri halinde yazılmaktadır. Böylece eğilme probleminin çözümü, plak üzerinde belirlenmiş her düğüm noktası için yazılmış bir cebrik denklem takımının çözümüne indirgenmiş olur. Ancak yük durumu ve sınır şartları değiştikçe, diferansiyel denklemi yeniden çözmek gerekir. Böylece her yükleme ve mesnet durumu için problemi tekrar ele alma zorunluluğu vardır. Buna karşılık sonlu farklar metodunda, her tip mesnet durumunu kapsayacak çözüm yapabilmek için, problemin çözümünde teşkil edilen denklem takımının katsayılar matrisinde, bazı terimleri her seferinde değiştirmek gerekmektedir.

2.2. Sonlu Elemanlar Metodu

Bu metotta Şekil-2 de görüldüğü gibi analizi yapılacak sürekli ortam herbirine eleman adı verilen sonlu(belirli) sayıda parçalara bölünür. Bu elemanlar birbirlerine düğüm noktaları olarak adlandırılan sonlu sayıda noktalarla bağlıdır. Her elemanın düğüm noktalarında bazı serbestlik dereceleri tanınır. Eleman davranışı bu bilinmeyen

serbestlik derecelerini içeren denklemlerle ifade edilir. Gerek düğüm noktalarında gerekse eleman sınır yüzeylerinde bazı süreklilik şartları sağlandığında cismin veya yapının matematiksel bir modeli elde edilir. Böylece sonsuz serbestlik derecesi olan bir sürekli ortam sonlu serbestlik derecesi olan bir modele dönüştürülür.



Şekil-2. Sonlu Eleman Ağı

Her eleman komşusu olan diğer elemanlara gerçekte sonsuz sayıda nokta ile bağlıdır, fakat sonlu elemanlar yönteminde her elemanın sadece düğüm noktaları vasıtası ile komşu elemanlara bağlı olduğu varsayılır. Böylece deplasmanların uygunluğunun sadece bu noktalarda sağlanması yeterli olacaktır. Bununla beraber sonlu eleman metodunda her eleman için bir deplasman modeli seçilir. Bu model, komşu kenarlar boyunca gerekli uygunluk şartlarının, hepsini olmasa bile bir kısmını sağlar.

Burada amaç matris yöntemi ile çözüme ulaşmak olduğundan, ilk olarak düğüm noktalarındaki kuvvetler ve deplasmanlar bulunacaktır.

Bilindiği gibi, bir lineer statik denge problemi için, deplasman modelinin denge denklemleri matrisel olarak şu şekilde gösterilebilir.

$$\underline{K} \underline{d} = \underline{f}$$

Burada,

\underline{K} : Yapının rijitlik matrisi,

\underline{d} : Düğüm noktaları deplasman vektörü,

\underline{f} : Uygulanan kuvvetlerin vektörüdür.

Burada, deplasman terimi hem öteleme hem dönmeyi, kuvvet terimi ise hem kuvvet hem momenti kapsamaktadır.

Bir 'e' elemanı için eleman rijitlik denklemleri şu şekildedir.

$$\underline{K}_e \underline{d}_e = \underline{f}_e \quad (3)$$

Bütün sistemdeki m kadar elemanın eleman denklemleri birleştirilirse, tüm yapının denge denklemleri şöyle elde edilir.

$$\underline{K} \underline{d} = \underline{f} \quad (4)$$

Burada,

$$\underline{K} = \sum_{e=1}^m \underline{K}_e, \quad \underline{f} = \sum_{e=1}^m \underline{f}_e \quad (5)$$

Çoğu yapı mekanik problemi için, denklem (4) deki \underline{K} matrisi simetriktir ve denklemlere, uygun deplasman sınır şartları uygulandıktan sonra \underline{K} matrisinin tersi bulunur. Bilinmeyen deplasmanlar

$$\underline{d} = \underline{K}^{-1} \underline{f} \quad (6)$$

ifadesinden elde edilir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, pratik yöntemler, mevcut tablolar ve Sonlu Elemanlar yöntemine dayanan programlar ile çeşitli plak örnekleri ele alınmıştır.

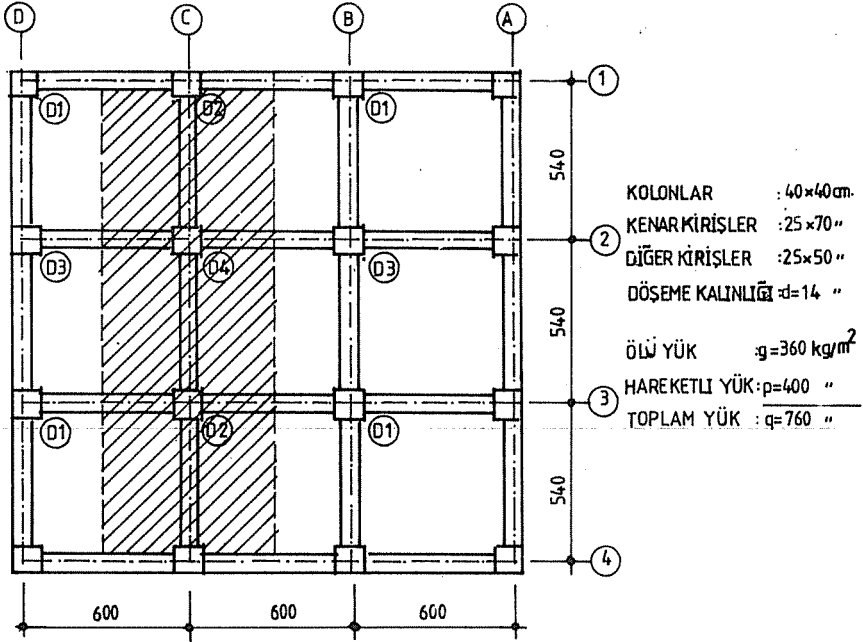
Pratik yöntemler ile çözümler el ile yapılmıştır. Mevcut tablo ve formüller ile çözümler ise (Çetmeli, 1974) teki tablolar kullanılarak yapılmıştır.

Bilgisayar ile çözümler için, PLAK paket programı kullanılmıştır. İlk olarak merkezi bilgisayarlar için hazırlanan bu program (Hinton ve Owen, 1977) daha sonra, eleman ve düğüm noktası koordinatları üretimi eklenerek, IBM uyumlu bilgisayarlara adapte edilmiştir.

PLAK paket programının dışında, bazı uygulamalarda karşılaştırma yapmak amacıyla, yapı analizi problemlerinin çözümünde genel amaçlı olarak hazırlanmış SAP80 bilgisayar programı kullanılmıştır.

3.1. Pratik Yöntemlerin İrdelenmesi

Pratik yöntemlerin irdelenmesi amacıyla, Şekil-3 te görülen döşeme örneği, Marcus Metodu, TS-500 Yöntemi ve Eşdeğer Çerçeve Yöntemi kullanılarak ayrı ayrı çözülmüştür. Her üç metod ile elde edilen çözüm sonuçları Çizelg-1 de gösterilmektedir. Çizelgede gösterilen moment değerleri D2-D4-D2 şeridi için hesaplanmıştır.



Şekil-3. Döşeme Planı

ÇİZELGE-1

Döşeme Momentleri (1 m. genişlik için)

YERİ	Moment t-cm		
	EÇY	TS-50	MARCUS
Kenar Mesnet Momenti	-29	-52	----
İç Mesnet Momenti	-104	-99	-98
Kenar Açıklık Momenti	+73	+78	+77
İç Açıklık Momenti	+64	+67	+84

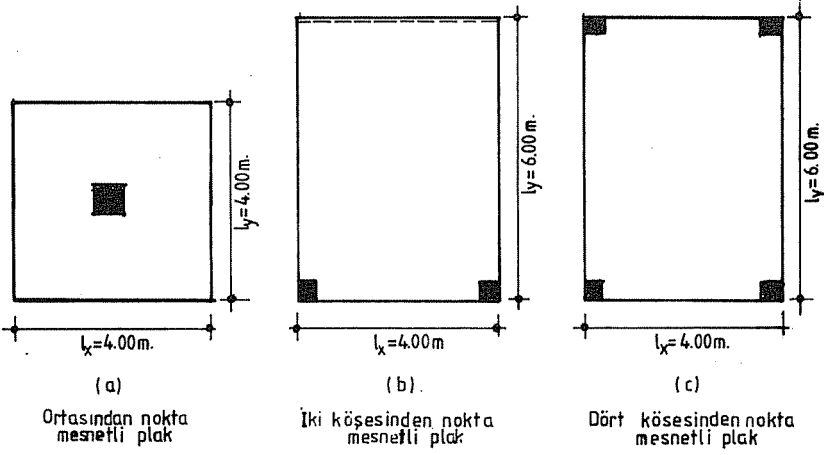
Çizelge-1 incelendiğinde, her üç methodla elde edilen sonuçların birbirine yakın oldukları görülmektedir. TS-500 ve Marcus yöntemleri, Eşdeğer Çerçeve yöntemine göre daha çabuk ve kolaydır. Ancak, Eşdeğer Çerçeve metodunda, eğilme rijitliklerine ek olarak eşdeğer çerçeveye dik yönde bulunan döşeme veya kirişlerin burulma rijitliklerinde dikkate alınması yöntemi daha gerçekçi bir duruma getirmektedir. Bu nedenle, döşeme açıklıklarının aynı veya birbirine yakın olduğu durumlarda TS-500 veya Marcus yöntemlerinden birinin kullanılması, kirişsiz döşemelerde veya kirişli döşemelerde açıklıkların birbirinden çok farklı olduğu durumlarda Eşdeğer Çerçeve Yönteminin kullanılması uygun olmaktadır.

3.2. Mevcut Formül Ve Tabloların İrdelenmesi

Literatürde verilen tablolar ile sırasıyla, ortasından nokta mesnetli plak, bir kenarından basit mesnetli ve karşı iki köşesinden nokta mesnetli plak ve dört köşesinden nokta mesnetli plak problemleri ele alınmıştır(Şekil-4). Her üç plak problemi, PLAK paket programı ile çözümlenerek, tablolar yardımı ile elde edilen çözüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır(Çizelge-2).

2

Şekil-4 te görülen her üç plak $q=1$ t/m lik üniform yayılı yük için çözülmüştür. Çizelge-2 nin incelenmesinden, her üç probleme ait tablolar ile çözüm ve PLAK programı ile çözüm sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Ancak, tablolar ile çözüm plak üzerinde sadece bir noktada sonuç vermekte ve plak geometrisi, sınır şartı ve yükleme durumları verilen tablo sayısı ile sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle, plak üzerinde istenildiği kadar noktada ve keyfi



Şekil-4. Çeşitli Plak Örnekleri

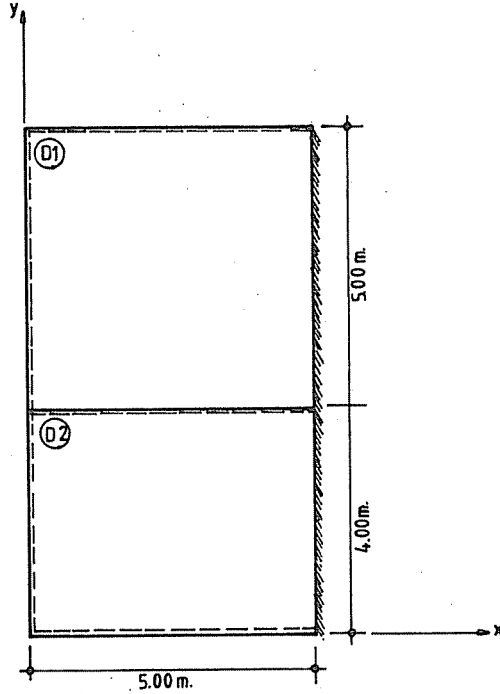
ÇİZELGE-2

	YARDIMCI TABLO		PLAK PROGRAMI	
	M_{x_m}	M_{y_m}	M_{x_m}	M_{y_m}
Ortasından Nokta Mesnetli Plak	3.39	3.39	2.24	2.24
İki Köşesinden Nokta Mesnetli Plak	0.89	4.40	1.16	4.35
Dört Köşesinden Nokta Mesnetli Plak	1.34	4.23	1.47	4.55

geometri, sınır şartı ve yükleme durumlarında kolaylıkla uygulanabilen, sonlu elemanlar metoduna dayalı programların kullanılması uygun olmaktadır.

3.3. Pratik Yöntemlerin Sayısal Metodlar ile Karşılaştırılması

Bu bölümde, pratik yöntemlerden TS-500 ve MARCUS metodlarını, sayısal yöntemlerden SONLU ELEMANLAR METODU ile karşılaştırmak amacıyla, Şekil-5 de görülen iki gözlü plak problemi ele alınmıştır.



Şekil-5. İki Gözlü Plak

Pratik yöntemlerle yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar, Sonlu Elemanlar Metodu ile yapılan çözümlerin sonuçları ile Çizelge-3 de verilmektedir. Sayısal metodlara örnek çözümler, Sonlu Elemanlar Metodunu çözüm yöntemi olarak kullanan PLAK programı ve SAP80 yapı analizi programı ile

hassas sonuçlar elde edebilmek için sırasıyla, 8, 32, 45 elemandan oluşan eleman ağırları ve ankastre mesnette sıklaştırılmış elemanlar kullanılarak ayrıca 20 elemandan oluşan eleman ağı için yapılmıştır.

ÇİZELGE-3

DÜŞEME NO		D1			D1-D2	D2		
MOMENT		M_{x_1}	M_{y_1}	X_{x_1}	Y_{1-2}	M_{x_2}	M_{y_2}	X_{x_2}
TS-500		60.00	60.00	-40.00	38.20	50.00	-25.50	-79.00
MARCUS		56.80	63.50	-101.00	32.90	59.00	-58.40	-97.00
SAP80 72 Ele.		54.84	52.96	-107.90	32.80	45.32	-70.43	-98.46
P L A K	8 Ele.	55.33	55.31	-34.76	38.33	46.74	-20.72	-34.16
	32 Ele.	53.33	52.49	-72.75	33.01	44.72	-44.85	-71.54
	45 Ele.	53.87	52.97	-80.35	33.13	45.18	-50.54	-71.26
	20 Ele.	-----	-----	-97.78	-----	-----	-67.75	-----

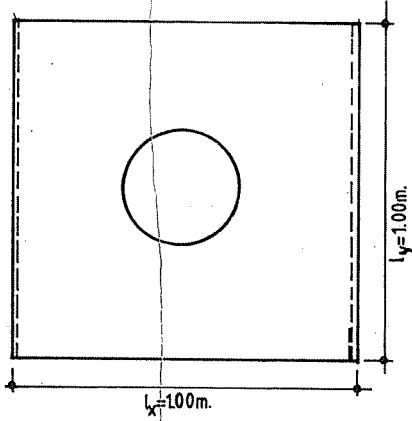
Çizelge-3 incelendiğinde, sonlu elemanlar yöntemi ile çözümdede, yapının daha fazla elemanlara bölünerek daha hassas sonuçlar elde edileceği görülmektedir. 32 ve 45 eleman için yapılan çözümlerin, 8 eleman için yapılan çözümlere göre birbirlerine daha yakın olduğu ve SAP80 den elde edilen sonuçlarla uyum içinde olduğu gözlenmektedir. Buna göre, sonlu elemanlar metodu ile çözüm yaparken, gerçek sonuçlara yaklaşabilmek için, sonuçlar birbirine belirli bir hassasiyet derecesinde yaklaşıncaya kadar, daha fazla elemana bölünmelidir. Ayrıca, gerilme yığılımlarının fazla olabileceği hissedilen kısımlarda yapının daha küçük aralıklı elemanlara bölünerek incelenmesi, 20 eleman için yapılan çözüm sonuçlarından gözleneceği gibi, daha doğru sonuçlar vermektedir.

Pratik yöntemler ile çözüm, Çizelge-3 de görüleneceği gibi sayısal yöntemlere göre daha büyük sonuçlar vermektedir. Bu fark mütemadi döşemelerde, açıklıkların birbirinden çok farklı olduğu durumlarda daha da büyüyecektir. Ayrıca, pratik yöntemlerle çözüm yapılması ile plağın sadece bir noktasında değer bulunmaktadır. Bu da analizi yapılan sistemin tümünün bu değere bağlı olarak donatılmasını zorunlu kılmaktadır. Öysa, sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan çözümlerde yapının bir çok noktasında moment değerleri elde edilmekte ve dolayısıyla ekonomik teçhizat yerleştirmek mümkün olmaktadır.

3.4. Delikli Plaklar

Sonlu Elemanlar Metodu ile keyfi geometri ve yüklemeye sahip problemlerin çözümü ilave şartlar gerektirmemekte ve bu yöntem ile plakların sınır şartları ile kolayca uğraşılabilir. Bu nedenle, analitik çözümleri çok uzun zaman alan veya mümkün olmayan ve tablo-abaklarla verilmeyen plak tipleri için sonlu elemanlar metoduna dayalı programlarla çözüm yapılabilmektedir. Bu çalışmada bu tip plak problemlerine örnek olarak, kenarı 1 m. olan ve ortasında 0.35 m. çapında delik bulunan, y eksenine paralel kenarları basit mesnetlenmiş, diğer iki kenarı serbest olan bir kare plak ele alınmıştır(Şekil-6).

Problem, delik etrafında oluşabilecek gerilme yığılmalarını gözlemek amacıyla, Önce $q = 1 \text{ t/m}^2$ lik Uniform yayılı yük altında, daha sonra basit mesnetlenmiş kenarlar boyunca $M = 1 \text{ t/m}^2$ lik şerit moment altında, hem delikli olması hali hemde dolu olması hali için ayrı ayrı incelenmiştir.



Şekil-6. Delikli Plak

Plagin üniform yayılı yük altında delikli ve dolu olması halleri için yapılan çözümlerde, delikli plakta dolu plaga göre delik etrafında % 65 oranında moment artışı gözlenmiştir. Kenar şerit momenti için yapılan çözümlerde, delikli plakta, dolu plaga göre, delik etrafında %100 oranında moment değer artışı gözlenmiştir.

Değişik büyüklükteki delik çapları için yapılan çözümlerde, deliğin büyümesiyle beraber delik etrafında daha büyük gerilme yığılmalarının olduğu tesbit edilmiştir(Çizelge-4).

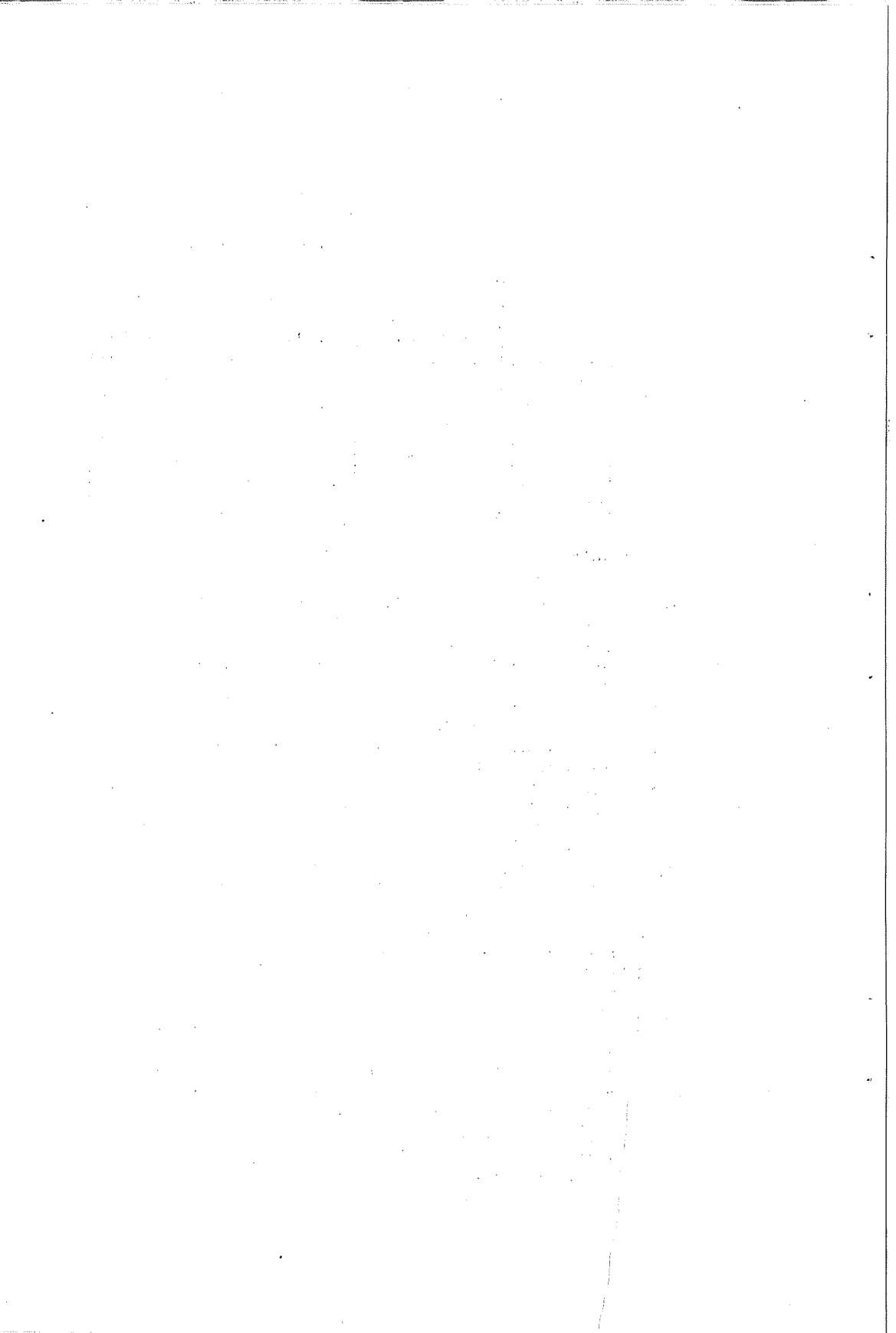
ÇİZELGE-4

Moment(t-m) ve Çökme(m) Değerleri

	Şerit moment	Uniform Yayıllı Yük	
	Mx Moment	Mx Moment	W Deplasman
DOLU	9.878	0.123	0.0013
R=0.20 m.	16.523	0.193	0.0015
R=0.35 m.	19.828	0.202	0.0017
R=0.50 m.	24.034	0.204	0.0018

KAYNAKLAR

- AKA, I., KESKİNOĞLU, F., ARDA, T. S., 1983. Betonarme Yapı Elemanları. Birsen Yayınevi. İSTANBUL 324 s.
- ÇETMELİ, E., 1974. Çubuk Sistemler Plaklar ve Kabukların Hesabı İçin Tablolara. Matbaa teknisyenleri Kol. Şti. İSTANBUL 411 s.
- ERSOY, U., ATIMTAY E., 1975. Betonarme Temel İlkeler ve Hesap Yöntemleri. ODTU 623 s.
- GHALI, A., NEVILLE, A.M., 1978. Structural Analysis. Chapman and Hall. LONDON 779 s.
- HINTON, E., OWEN, D.R.J., 1977. Finite Element Programming. Academic Press Inc.Ltd. LONDON 305 s.
- LÖSER, B.; 1972. Betonarme Hesap Esasları. Güven Kitapevi. ANKARA 418 s.
- ROCKEY, K.C., EWANS, H.R., GRIFFITHS, D.W., NETHERCOT, D.A., 1975. The Finite Element Method. Granada publishing. 239 s.
- SZILARD, R., 1974. Theory and Analysis of plates. Prentice-Hall, Inc. 724 s.
- TIMOSHENKO, S., 1964. Plak ve Kabuklar Teorisi. İTÜ-İnş. Fak. Matbaası. İSTANBUL (467 S.)
- TÜRK STANDARTLARI ENSTİTUSU, 1984. TS-500
- UGURAL, A.C., 1981. Stresses in Plates and Shells. McGraw-Hill Book Com. (317 S.)
- ULUĞ, T. N., ODABAŞI Y., 1983. Betonarme İnşaat Hesapları. Matbaa Teknisyenleri Basımevi. İSTANBUL 349 s.
- WASTI, S.T., UTKU, M., 1985. Sonlu Eleman Yöntemi ile Yapıların Çözümlemesi. (AKSOĞAN, O., YILMAZ, Ç. editörler). İnşaat Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı. Bizim Büro Basımevi. ANKARA 315 s.



HELİSEL ÇUBUKLARIN STATİK DAVRANIŞININ RİJİTLİK MATRİSİ
METODU İLE İNCELENMESİ

Vebil HAKTANIR (*)
Erhan KIRAL (**)

ÖZET

Rijitlik Matrisi metodu, mühendislik mekanikinde sistem deplasman ve kesit tesirlerini bulmak amacı ile yaygın olarak kullanılan bir metottur. Bu çalışmada, bilgisayara adaptesi ve anlaşılması nispeten kolay olan bu metodun helisel yay sistemlerine de uygulanabileceği gösterilmiştir. Metotta temel olan, eleman ve sistem rijitlik matrislerinin eldesidir. Bu çalışmada taşıma matrisi yöntemi kullanılarak eleman rijitlik matrisleri ve ankastrelük uç kuvvetleri nümerik olarak elde edilmiştir. Daha sonra, rijitlik matrisi metodunu esas alan Fortran-77 dilinde bir bilgisayar programı geliştirilmiş; programın doğruluğu ve etkinliği bilinen sonuçlarla karşılaştırılarak kanıtlanmıştır.

DETERMINATION OF STATICAL BEHAVIOUR OF HELICAL BARS
BY THE STIFFNESS MATRIX METHOD

ABSTRACT

The stiffness matrix method has been widely used to determine the displacements and internal forces of common structural systems. In this study, it is shown that this method, which is easy to adopt to computer modelling, is also applicable to the helical spring systems. The essence of the method is determination of stiffness matrices of the elements and of the system. Utilizing the method of carry-over (transfer) matrices, the element stiffness matrices and fixed-end moments and forces are obtained numerically. A computer program coded with Fortran-77 has been developed to carry out the method proposed.

(*) Ç. Ü. Müh.- Mim. Fak. Makina Mühendisliği Bölümü / ADANA

(**) Ç. Ü. Müh.- Mim. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü / ADANA

Due to space limitation, only a single sample problem whose solution is already available in the literature is solved by this program for checking the soundness of the method.

1. GİRİŞ

Helisel çubuklara ait eleman rijitlik matrislerinin elde edilebilmesi için yapılan az sayıda çalışmada; enerji (Elastik uzama, Castigliano teoremi, Virtüel iş ilkesi), sonlu elemanlar gibi yöntemlerden yararlanılmıştır [1,2,3,4]. Bu yöntemlerle rijitlik matrislerinin elde edilmesi oldukça zahmetli ve elde edilen sonuçlar yaklaşık olmaktadır. Çalışmaların çoğunluğunda, düzlemi içinde ve düzlemine dik olarak yüklenmiş düzlem daire çubuklara ait rijitlik matrislerinin birleştirilmesinden; uzaysal eğri eksenli çubuklar için rijitlik matrisi elde edilmiş; ya da flexibility (esneklik) matrisinden rijitlik matrisine geçilmiştir [1,2,3]. Diğer bir çalışmada, dikdörtgen kesitli helisel merdivenler için yaklaşık hesap yöntemi geliştirilmiştir [4].

Taşıma matrisi metodu; sistemin yere birinci dereceden bağlı olan diferansiyel denklem takımının kesin çözümünden geliştirilmiş sistematik bir yöntemdir. Bu çalışmada; eleman rijitlik matrisi ve ankastrelik uç kuvvetlerin bulunmasında taşıma matrisi metodu kullanılarak, rijitlik matrisi metodundan elde edilen sonuçlara kesinlik kazandırılmıştır.

2. RIJİTLİK MATRİSİ (STIFFNESS) METODU

n adet elemandan meydana gelen bir sistem için, rijitlik matrisi metodu şu şekilde özetlenebilir [5]:

a-) (1) eleman denklemi, sistemi meydana getiren her eleman için, sistem ortak koordinat takımında yazılır. Bu denklemdeki matrislerin mertebesi, elemanın ve yüklemenin düzlem ya da uzay oluşuyla yakından ilgilidir. Örneğin, düzlemsel olarak yüklenmiş düzlem bir elemanda $[k]$ rijitlik matrisi, mertebesi (6×6) olan, simetrik bir kare matristir.

$$\{p\} = [k] \{d\} + \{f\} \quad (1)$$

(1)' de; $\{d\}$ eleman uç deplasmanlarını, $\{p\}$ uç kuvvetlerini gösteren kolon vektörlerdir. $\{f\}$ ankastrelik uç kuvvetleri, çubuk ara bölgesinde etkiyen yayılı ve tekil yüklerin çubuk uçlarındaki eşdeğeridir.

b-) Düğüm noktalarındaki uygunluk ve denge şartları yardımı ile eleman denklemleri süperpoze edilerek, sistem davranışını idare eden (2) nolu denklem teşkil edilir. Düğüm noktalarındaki denge denklemlerini yazabilmek için; eleman denklemlerinin, düğümünden düğüme değişmeyen bir koordinat takımındaki ifadelerine gereksinim vardır. Çubuk eksen takımıyla çakışmak zorunda olmayan bu koordinatlar; sağ el vida kuralına uygun olarak seçilmiş, sabit ya da hareketli ortak bir takım olabilir. Bu çalışmada $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ koordinatları, sistem koordinat takımı olarak seçilmiştir.

$$[K] \{D\} = \{P\} - \{q\} - \{f\} \quad (2)$$

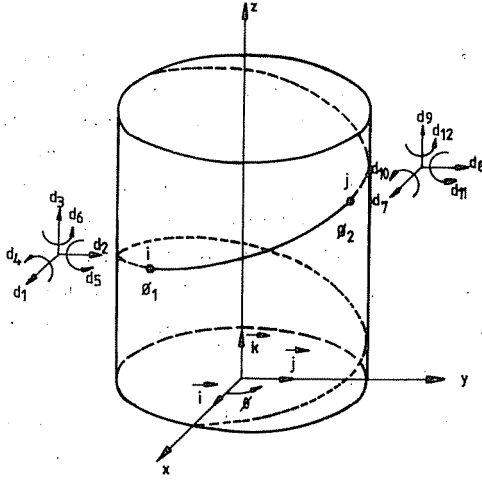
(2)' de: $\{D\}$ sistem düğüm noktalarında var olan fakat büyüklükleri bilinmeyen deplasmanları; $\{q\}$ direkt, $\{P\}$ ise toplam düğüm yüklerini içeren kolon matristir. $[K]$, mertebesi bilinmeyen toplam deplasman sayısına eşit ve simetrik olan sistem rijitlik matrisidir. Statik halde, cebrik denklem takımına dönüşen (2)' nin uygun bir metotla çözülmesi sonucu, sistem koordinatlarındaki $\{D\}$ bulunur.

c-) Çubuk elemanına ait deplasmanlar $\{D\}$ ' den seçilip, (1)' de yerine konduğu taktirde , sistem koordinatlarında çubuk uç kuvvetleri $\{p\}$ elde edilir. Her elemanda bulunan çubuk uç kuvvetleri, fiziksel anlamlarına kavuşturulmak amacı ile, eleman koordinat takımındaki bileşenlerine dönüştürülür.

2.1. Eleman Rijitlik Matrisi

Hareketi engellenmemiş uzaysal çubuğa ait bir düğümde; 6 serbestlik derecesi, diğer bir ifade ile 6 bilinmeyen deplasman bulunmaktadır. Bunlardan 3'ü dönme, diğer 3'ü de ötelenmelerle ilgilidir. Çubuğun uçlarında toplam, $N=12$ serbestlik derecesi yer alır (Şekil 1).

Birim deplasman sabiti $k_{i,j}$, i ve j herhangi iki doğrultuyu temsil etmek üzere; j doğrultusunda birim deplasman meydana getirebilmek için, i doğrultusuna tatbik edilmesi gereken kuvvet olarak tanımlanır [$i=1..N$; $j=1..N$]. Bu durumda, diğer doğrultulardaki deplasmanların tamamı engellenmektedir. Birim deplasman sabitleri, birbirlerinden tamamen bağımsız değildir. $k_{i,j} = k_{j,i}$ özelliği bulunmaktadır. Uzaysal bir çubukta $N^2=144$ adet birim deplasman sabitlerinden oluşan kare matrise, eleman rijitlik matrisi denir.



$d_1, d_2, d_3, d_7, d_8, d_9$: ötelenmeler $\{\vec{U}(\theta_1), \vec{U}(\theta_2)\}$
 $d_4, d_5, d_6, d_{10}, d_{11}, d_{12}$: Dönmeler $\{\vec{\Omega}(\theta_1), \vec{\Omega}(\theta_2)\}$

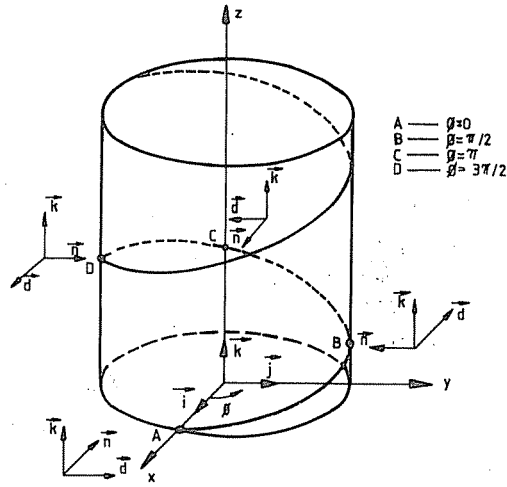
Şekil: 1. Helisel bir elemanda $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ dik takımındaki serbestlik dereceleri.

Helisel bir elemanda birim deplasman sabitlerini elde edebilmek amacıyla; $\{d\}$ 'nin elemanları 12 adet doğrultunun her birinde sırasıyla birim deplasman diğerlerinde sıfır alınarak tarif edilir. Örneğin, $d_4=1$ için $\{d\}$ vektörünün elemanları (3)'de olduğu gibidir.

$$\begin{aligned} \{d\} &= \{ \vec{U}(\theta_1), \vec{\Omega}(\theta_1), \vec{U}(\theta_2), \vec{\Omega}(\theta_2) \}^T \\ &= \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8, d_9, d_{10}, d_{11}, d_{12}\}^T \\ &= \{0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}^T \quad (3) \end{aligned}$$

2.2. Eleman Koordinatları

Herhangi bir elemanda uç deplasmanlarını ve bunlara neden olan uç kuvvetlerini tanımlayabilmek için; elemana uygun bir koordinat takımının seçilmesi gereklidir. Helis eksenli bir elemanda; ele alınan her kesitte yön ve doğrultusu, helisin sarıldığı silindirin tabanında, başlangıçtan ve x- ekseninden itibaren ölçülen θ açısı (Şekil 1) ile değişebilen hareketli dik takımın seçilmesi uygun düşmektedir.



Sekil: 2. Helisel bir yayda $(\vec{d}, \vec{n}, \vec{k})$ koordinatları.

$(\vec{d}, \vec{n}, \vec{k})$ dik takımının, sabit $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ takımıyla ilişkisi (4) ile verilmiştir [6,7]. Taban dairesine teğet olan \vec{d} birim vektörünün doğrultusu x-y düzlemine paralel, yönü \emptyset 'nin artım yönündedir. \vec{k} , z- eksenini doğrultusunda; \vec{n} ise eğrilik merkezine yönelmiş normal birim vektördür (Sekil 2).

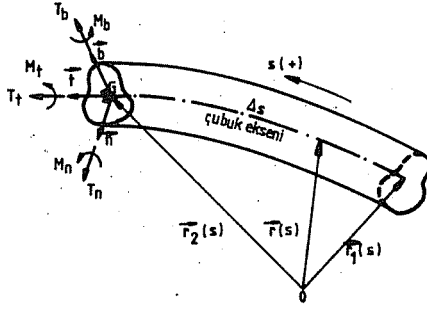
$$\begin{bmatrix} \vec{d} \\ \vec{n} \\ \vec{k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \emptyset & \cos \emptyset & 0 \\ -\cos \emptyset & -\sin \emptyset & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \vec{i} \\ \vec{j} \\ \vec{k} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$(\vec{t}, \vec{n}, \vec{b})$ üçlüsü, \vec{r} yer vektörüne diferansiyel bağımlı, çubuk eksenini boyunca değişen hareketli bir dik takımdır (Sekil 3). (5)'teki teğet birim vektör \vec{t} ; eksen eğrisine teğet doğrultuda, yönü artan s yönündedir. (6) ile verilen asal normal birim vektör \vec{n} ; eğrilik merkezine yönelmiştir. \vec{b} binormal vektörü de (7) ile tanımlanır. Helis eksenli çubuklardaki kesit tesirlerinin, sadece bu takımda fiziksel anlamları mevcuttur.

$$\vec{t}(s) = d\vec{r}(s) / ds \quad (5)$$

$$\vec{n}(s) = \frac{d\vec{t}(s) / ds}{|d\vec{t}(s) / ds|} \quad (6)$$

$$\vec{b}(s) = \vec{t}(s) \times \vec{n}(s) \quad (7)$$



T_t : Eksenel kuvvet ; M_t : Burulma momenti
 T_n, T_b : Kesme kuvvetleri ; M_n, M_b : Eğilme momentleri

Sekil: 3. Δs boyunda helisel bir elemandaki $(\vec{t}, \vec{n}, \vec{b})$ üçlüsünün çubuk eksenini boyunca değişimi ve kesit tesirleri.

2.3. Eleman Rijitlik Matrisinin Elde Edilmesindeki Kabuller

Rijitlik matrisi hesaplanacak her eleman için kullanılan varsayımlar, iki ana bölümde toplanarak özetlenebilir.

a-) Çubuk eksenini ve dik kesiti ile ilgili olanlar :

- Çubuk elemanı, eğriligi ve tabii burulması sabit olan helisel bir eksene sahiptir.

- Çubuk kesitinin asal eksenleri ile \vec{n} ve \vec{b} eksenleri çakışmaktadır.

- Çubuk kesiti eksen boyunca sabittir.

- Çubuk kesitinin kayma (burulma) merkezi ile, G geometrik merkezi çakışmaktadır.

b-) Malzeme ve deformasyonlarla ilgili olanlar :

- Yer ve şekil değiştirmeler çok küçük olup, birinci mertebe teorisi geçerlidir.

- Çubuk malzemesi homojen ve izotropdur.

- Gerilme - şekil değiştirme arasındaki bağıntılarda Hooke kanunu kullanılmaktadır.

- Çubuk kesitinin burulmalı eğilme halindeki çarpılması ihmal edilmektedir.
- Kayma deformasyonlarının etkisi göz önüne alınmamıştır.

2.4. Taşıma Matrisi Yöntemiyle Eleman Rijitlik Matrisinin Elde Edilişi

Helisel bir çubukta, herhangi bir kesitteki durum vektörü $\{S(\theta)\}$, (8)' de verilmektedir [6,7].

$$\{S(\theta)\} = \{ \vec{U}(\theta), \vec{\Omega}(\theta), \vec{T}(\theta), \vec{M}(\theta) \}^T \quad (8)$$

[F] taşıma matrisi : Sistemin değeri bilinen bir kesitindeki durum vektöründen, diğer bir kesitteki durum vektörüne geçişi sağlayan; helis için (12x12) mertebesinde bir kare matristir. Çubuk ara bölgesinde hiç bir dış yüke maruz olmayan çubuk için; taşıma matrisi ile çubuk başlangıç ve sonundaki durum vektörleri arasındaki ilişki (9)' da verilmiştir [6,7]. Helisel bir çubuğa ait [F] taşıma matrisinin; 16 adet (3x3) mertebesinde alt matrislerden oluştuğu düşünülüp, (9) ifadesi yeniden düzenlenerek (10)'da olduğu gibi açılabilir:

$$\{S(\theta_2)\} = [F(\theta_2-\theta_1)] \{S(\theta_1)\} \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} \vec{U} \\ \vec{\Omega} \\ \dots \\ \vec{T} \\ \vec{M} \end{bmatrix}_{\theta_2} = \begin{bmatrix} [F_1] & [F_2] & [F_3] & [F_4] \\ [F_5] & [F_6] & [F_7] & [F_8] \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ [F_9] & [F_{10}] & [F_{11}] & [F_{12}] \\ [F_{13}] & [F_{14}] & [F_{15}] & [F_{16}] \end{bmatrix}_{(\theta_2-\theta_1)} \begin{bmatrix} \vec{U} \\ \vec{\Omega} \\ \dots \\ \vec{T} \\ \vec{M} \end{bmatrix}_{\theta_1} \quad (10)$$

Birim deplasman sabitlerini elde edebilmek için kullanacağımız (9) ifadesinde tanımlanan durum vektörünün $\theta=\theta_1$ ile $\theta=\theta_2$ deki, geometrik şart adı da verilen öteleme ve dönmeleri bilmektedir. Çünkü bu deplasmanlar, bölüm 2.1' de çubuk baş ve sonunda tanımlanan doğrultuların her birinde sırasıyla birim deplasman diğerlerinde sıfır alınarak tarif edilmisti. [F] in elemanları da bilinenler arasındadır.

Çubuk son ucundaki bilinen deplasmanlardan faydalanıp, (10)' dan (11) yazılabilir. Skaler formda altı adet lineer denklem takımına dönüşen (11)' in çözümünden, çubuk başlangıç düğümündeki

bilinmeyen kuvvetler $\vec{T}(\theta_1)$ ve momentler $\vec{M}(\theta_1)$ bulunur. Bu 6 skaler eleman, $[k]$ ' nin j ' inci $[j=1,12]$ sütunundaki ilk altı elemanı oluşturacaktır. Diğer bir deyişle bunlar, birim deplasman sabitlerinin bir kısmıdır.

$$\begin{aligned}\vec{U}(\theta_2) &= [F_1] \cdot \vec{U}(\theta_1) + [F_2] \cdot \vec{\Omega}(\theta_1) + [F_3] \cdot \vec{T}(\theta_1) + [F_4] \cdot \vec{M}(\theta_1) \\ \vec{\Omega}(\theta_2) &= [F_5] \cdot \vec{U}(\theta_1) + [F_6] \cdot \vec{\Omega}(\theta_1) + [F_7] \cdot \vec{T}(\theta_1) + [F_8] \cdot \vec{M}(\theta_1)\end{aligned}\quad (11)$$

$\vec{T}(\theta_1)$ ve $\vec{M}(\theta_1)$ ' in yine (10)' dan düzenlenen (12)' de yerine konulmasıyla da; çubuk son ucundaki kuvvet ve momentler elde edilecektir. Birim deplasman sabitlerinin diğer elemanları olan $\vec{T}(\theta_2)$ ve $\vec{M}(\theta_2)$, eleman rijitlik matrisinin j ' inci $[j=1,12]$ sütunundaki son 6 elemanı meydana getirirler.

$$\begin{aligned}\vec{T}(\theta_2) &= [F_9] \cdot \vec{U}(\theta_1) + [F_{10}] \cdot \vec{\Omega}(\theta_1) + [F_{11}] \cdot \vec{T}(\theta_1) + [F_{12}] \cdot \vec{M}(\theta_1) \\ \vec{M}(\theta_2) &= [F_{13}] \cdot \vec{U}(\theta_1) + [F_{14}] \cdot \vec{\Omega}(\theta_1) + [F_{15}] \cdot \vec{T}(\theta_1) + [F_{16}] \cdot \vec{M}(\theta_1)\end{aligned}\quad (12)$$

2.5. Eleman Rijitlik Matrisinin Sistem Koordinat Takımında Elde Edilmesi

Bu çalışmada, θ argümanı ile çubuk kesiti ve malzemesinin özelliklerine bağlı olarak çıkarılmış olan taşıma matrisinin $(\vec{d}, \vec{n}, \vec{k})$ takımındaki analitik ifadesi kullanılmıştır. Taşıma matrisinin $(\vec{d}, \vec{n}, \vec{k})$ koordinatlarındaki analitik ifadesi, $(\vec{t}, \vec{n}, \vec{b})$ takımındakinden daha sadedir. Herhangi bir θ argümanına tekabül eden uzunluktaki çubuk elemanına ait taşıma matrisini, bilgisayar ile analitik ifadesinden elde etmek, sayısal ifadesinden daha az makina zamanı almaktadır. $(\vec{d}, \vec{n}, \vec{k})$ koordinatlarındaki taşıma matrisi ifadesinden dönüşüm yoluyla, $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ koordinatlarında $[F]$ ' in dolayısı ile eleman rijitlik matrisinin elde edilmesi pratik bir çözüm olmaktadır. Burada, söz konusu dönüşüm açıklanmaya çalışılacaktır.

Herhangi bir $\langle V \rangle$ vektörünün $(\vec{d}, \vec{n}, \vec{k})$ ve $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ bileşenleri arasındaki (4) ilişkisi kısaca (13) şeklinde yazılabilir.

$$\langle V \rangle_{\text{dnk}} = [A] \langle V \rangle_{\text{ijk}} \quad (13)$$

(9)' un, $(\vec{d}, \vec{n}, \vec{k})$ koordinatlarındaki ifadesi, (14)' de olduğu gibidir. $\{S(\theta)\}$ durum vektörüne ait, $[T]$ dönüşüm matrisi de (13)' den yararlanılarak (15)' deki şekliyle ifade edilebilir.

$$\{S(\theta_2)\}_{dnk} = [F(\theta_2 - \theta_1)]_{dnk} \{S(\theta_1)\}_{dnk} \quad (14)$$

$$[T] = \begin{bmatrix} [A] & [0] & [0] & [0] \\ [0] & [A] & [0] & [0] \\ [0] & [0] & [A] & [0] \\ [0] & [0] & [0] & [A] \end{bmatrix} \quad (15)$$

(12x12)

(15)' den yararlanılarak, (14)' teki çubuk baş ve sonundaki durum vektörleri için;

$$\{S(\theta_2)\}_{dnk} = [T(\theta_2)] \{S(\theta_2)\}_{ijk} \quad (16)$$

$$\{S(\theta_1)\}_{dnk} = [T(\theta_1)] \{S(\theta_1)\}_{ijk}$$

yazılır. (16)' nın, (14)' de yerine konulup düzenlenmesiyle (17) bulunur.

$$\{S(\theta_2)\}_{ijk} = [T^{-1}(\theta_2)] [F(\theta_2 - \theta_1)]_{dnk} [T(\theta_1)] \{S(\theta_1)\}_{ijk} \quad (17)$$

($\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$) takımında (14) ilişkisi aşağıda olduğu gibidir:

$$\{S(\theta_2)\}_{ijk} = [F(\theta_2 - \theta_1)]_{ijk} \{S(\theta_1)\}_{ijk} \quad (18)$$

(17) ile (18) karşılaştırıldığında, taşıma matrisinin sistem koordinatlarındaki karşılığı için (19) elde edilir.

$$[F(\theta_2 - \theta_1)]_{ijk} = [T^{-1}(\theta_2)] [F(\theta_2 - \theta_1)]_{dnk} [T(\theta_1)] \quad (19)$$

2.6. Ankastrelik Üç Kuvvetlerinin Taşıma Matrisi Yöntemiyle Elde Edilişi

Ankastrelik uç kuvvetleri $\{f\}$; çubuğun uçları dışında, çubuk üzerinde herhangi bir yayılı veya tekil kuvvet varsa hesaba katılır. Ara bölgesinde hiçbir şekilde yüklenmemiş elemanda $\{f\}=\{0\}$ ' dir. Şiddetleri bilinen bu kuvvetler, (20)' de olduğu gibi çubuk uçlarındaki bütün serbestlik derecelerindeki deplasmanlar sıfır alınarak hesaplanırlar.

$$\{f\} = \begin{bmatrix} \{f_1\} \\ \{f_j\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vec{T}(\theta_1) \\ \vec{M}(\theta_1) \\ \vec{T}(\theta_2) \\ \vec{M}(\theta_2) \end{bmatrix} ; \{d\} = \begin{bmatrix} \{d_1\} \\ \{d_j\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vec{U}(\theta_1) \\ \vec{\Omega}(\theta_1) \\ \vec{U}(\theta_2) \\ \vec{\Omega}(\theta_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vec{0} \\ \vec{0} \\ \vec{0} \\ \vec{0} \end{bmatrix} \quad (20)$$

Çubuk boyunca yayılı yük bulunması halinde, çubuk ilk ve son ucundaki durum vektörleri ile taşıma matrisi arasındaki ilişki (21)' de olduğu gibidir [6,7]. Bu eşitlikte α integral değişkeni, $\{k(\alpha)\}$ ise yayılı yük nedeni ile süreksizlik vektörüdür.

$$\{S(\theta_2)\} = [F(\theta_2 - \theta_1)] \{S(\theta_1)\} + \int_{\theta_1}^{\theta_2} [F(\theta_2 - \alpha)] \{k(\alpha)\} d\alpha \quad (21)$$

$$\{k(\alpha)\} = \begin{bmatrix} \vec{0} \\ \vec{0} \\ -\vec{Q}(\alpha) \\ -\vec{m}(\alpha) \end{bmatrix} \quad (22)$$

(22)'de $\vec{Q}(\alpha)$ yayılı kuvvetin, $\vec{m}(\alpha)$ ise yayılı momentin şiddetlerini göstermektedir. Bölüm 2.4' te anlatıldığı gibi burada da; önce çubuk son ucundaki bilinen deplasmanlardan faydalanılarak çubuk başlangıcındaki kuvvet ve momentler; daha sonra bunların (21)' de yerine konulmasıyla $\theta = \theta_2$ deki kuvvet ve momentler bulunarak $\{f\}$ vektörüne (22)' de olduğu gibi yerleştirilirler.

Sistem koordinatlarında ankastrelilik uç kuvvetlerini elde etmek için kullanılacak dönüşüm matrisi (23)' de verilmiştir. Bu matris ile sabit takımdaki $\{f\}$ için (24) kullanılabilir.

$$[T1] = \begin{bmatrix} [A(\theta_1)] & [0] & [0] & [0] \\ [0] & [A(\theta_1)] & [0] & [0] \\ [0] & [0] & [A(\theta_2)] & [0] \\ [0] & [0] & [0] & [A(\theta_2)] \end{bmatrix} \quad (23)$$

(12x12)

$$\{f\}_{ijk} = [T1]^{-1} \{f\}_{dnk} \quad (24)$$

3. SAYISAL BİR ÖRNEK

Rijmat : Fortran-77 dilinde yazılmış, rijitlik matrisi metodu ile helisel çubuklardaki kesit tesirleri ile deplasmanları bulmada kullanılan; 11 adet altprogramdan meydana gelen bilgisayar programıdır. Program esasta helisel çubuklar için hazırlanmışsa da, aynı zamanda düzlem daire çubuk problemlerinin çözümünde de kullanılabilir. Bunun için sadece, helis adınının

sıfır verilmesi yeterli olmaktadır. Bu özellik aynı program ile çözülecek problemleri zenginleştirdiği gibi, aynı zamanda programın doğruluğunun kontrolü için de yararlı olmaktadır.

Düğümlere etkiyen dış yüklerin $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ takımındaki bileşenlerinin verildiği programda; eleman rijitlik matrisleri, ankastrelik uç kuvvetleri, sistem deplasmanları ve çubuk uçlarındaki kesit tesirleri $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ sabit takımında bulunmaktadır. Bundan sonra, kesit tesirleri ve deplasmanların $(\vec{d}, \vec{n}, \vec{k})$ ve $(\vec{t}, \vec{n}, \vec{b})$ takımındaki ifadeleri elde edilmektedir. Programda, bir kesitteki bütün ötelenme, dönme, iç kuvvetler ve iç momentlere ait 12 büyüklük birlikte elde edilmektedir.

Programda, elemanlar eğriliği ve tabii burulmaları ile birlikte göz önüne alındığından sonuçlar kesindir. Sistemdeki eleman sayısını gereğinden fazla arttırmak ; sonuçların hassasiyetini etkilemeyeceği gibi, zaman kaybına neden olacaktır. Sistemde arada tekil yüklerin ve ara mesnetlerin bulunduğu yerler, mutlaka bir düğüm noktası olarak kabul edilmelidir.

Rijmat programı farklı kesit ve malzemede elemanlardan oluşmuş bir sistemin çözümünde kullanabilmek amacı ile esnek bir hale getirilmiştir. Bunun için programın veri dosyası, her elemanın kesit ve malzeme büyüklüklerinin ayrı ayrı tanımlanabileceği şekilde düzenlenmiştir. Programın veri dosyasının hazırlanması da oldukça kolaydır. Programdaki veri ve çıktı dosyaları adları, derleme zamanından kazanmak amacı ile değişken olarak alınmıştır. Eleman tarifinde, \emptyset açısının saat ibrelerinin tersi yönünde pozitif olduğu kabulü gözönünde bulundurulmalıdır. Verilerin serbest formatla yazıldığı program veri dosyası klavuzu aşağıda verilmiştir:

NM, ND, NL ^ ^ ^
L, QL(L) [(L=1,NL)] ———> NL adet satır verilecek (i, j, k)
NC(I, J) [(I=1, NM) (J=1, 12)] ———> NM adet satır verilecek
EL, PO, KU, EE AA, HH
IN, IB, JB, AL AKAT1, AKAT2 ———> NM eleman için sırayla verilecek

NM, ND = Toplam eleman ve bilinmeyen deplasman sayısı

NL = Sıfırdan farklı tekil yük bileşen sayısı

L, QL(L) = Tekil yükün doğrultusundaki kod numarası ve tekil yükün
siddeti (Yönü işaretiyle belirtilecektir)

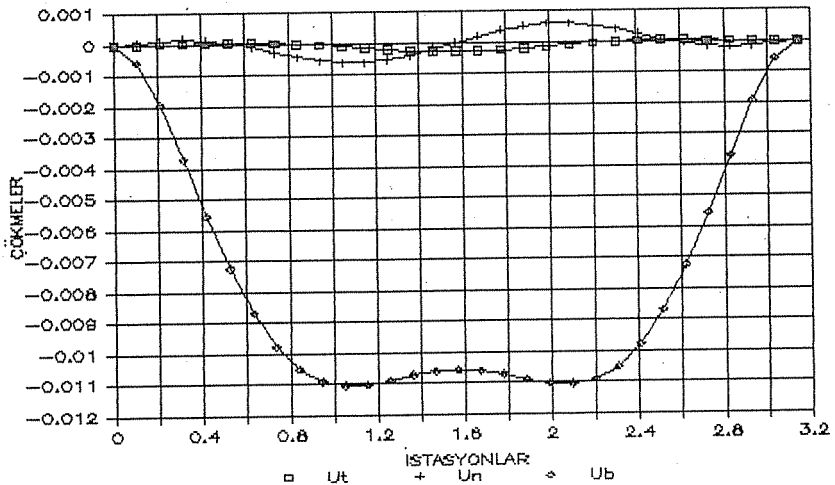
AA = Helisin sarıldığı silindirin yarıçapı

taşındığında aynı şiddet ve doğrultuda bir yayılı kuvvet ile; ($Q.e$) şiddetinde (\vec{d}) eksenı doğrultusunda da bir yayılı moment meydana getirir.

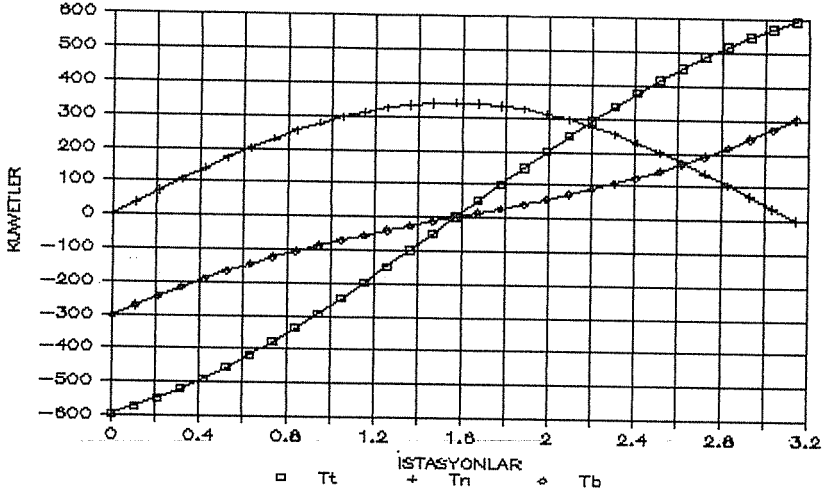
Sistem, Rijmat programı ile 4 eleman için çözülmüştür. Aynı problem, taşıma matrisi yöntemi ile kayma deformasyonlarının etkisi göz önüne alınarak çözülmüş; sonuçlar kayma deformasyonlarının ihmal edildiği literatür sonuçlarıyla Çizelge (1)' de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Sistem ve yükleme simetrik olduğu için, gerek deplasmanların gerekse kesit tesirlerinin büyüklüklerinde bu simetri görülmektedir. Sistemin çökme ve kuvvetleri grafik olarak verilmiştir (Şekil 5 ve 6).

Çizelge : 1. Şekil 4' teki sistemin kesit büyüklükleri.

DÜĞÜM ACISI	ÇÖZÜM METODU	DEPLASHANLAR						KESİT TESİRLERİ					
		cm			radyan			kgf			kgf.cm		
		U_t (10^{-4})	U_n (10^{-3})	U_b (10^{-1})	α_t (10^{-4})	α_n (10^{-4})	α_b (10^{-4})	T_t (10^2)	T_n (10^2)	T_b (10^2)	H_t (10^3)	H_n (10^4)	H_b (10^5)
0	TAŞIMA MATRİ.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	-6.53	0.295	-3.56	1.42	1.26	1.51
	RIJMAT	0.	0.	0.	0.	0.	0.	-5.95	0.	-3.056	1.57	1.13	1.24
	KAYNAK [7]	0.	0.	0.	0.	0.	0.	-5.94	0.	-3.06	1.53	1.14	1.24
r / 4	RIJMAT	0.191	-0.337	-0.102	0.515	0.196	0.106	-3.575	2.422	-1.151	1.126	-0.159	0.878
r / 2	RIJMAT	-2.753	0.	-0.106	0.576	0.	0.203	0.	3.425	0.	0.	0.201	0.
3r / 4	RIJMAT	0.191	0.337	-0.102	0.515	-0.196	0.106	3.575	2.422	1.151	-1.126	-0.159	-0.878
r	TAŞIMA MATRİ.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	6.53	0.295	3.56	-1.42	1.26	-1.51
	RIJMAT	0.	0.	0.	0.	0.	0.	5.95	0.	3.056	-1.57	1.13	-1.24
	KAYNAK [7]	0.	0.	0.	0.	0.	0.	5.94	0.	3.06	-1.53	1.14	-1.24



Şekil : 5. Şekil 4' teki sistemin çökmeleri.



Sekil : 6. Sekil 4' teki sistemin kuvvetleri.

Sistem bu kere eksantrisite ihmal edilerek ; taşıma matrisi yöntemi, SAP80 paket programı (Sistemin 30 doğru eksenli çubuktan oluştuğu farzedilerek) ve Rijmat ile 2 eleman için çözülmüş ve elde edilen sonuçlar Çizelge (2)' de verilmiştir.

Çizelge : 2. Eksantrisitenin ihmal edilmesi halinde sistemin kesit tesirleri ve deplasmanları.

DÜĞÜN AÇISI	ÇÖZÜM METODU	DEPLASMANLAR						KESİT TESİRLERİ					
		cm			radyan			kgf			kgf.cm		
		U_t (10^{-4})	U_n (10^{-3})	U_b (10^{-1})	α_t (10^{-4})	α_n (10^{-4})	α_b (10^{-4})	T_t (10^2)	T_n (10^2)	T_b (10^2)	M_t (10^3)	M_n (10^4)	M_b (10^5)
0	TAŞIMA MATRİ.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	-6.50	0.295	-3.59	-0.748	1.24	1.49
	RIJMAT	0.	0.	0.	0.	0.	0.	-5.89	0.	-3.09	-0.607	1.11	1.23
	SAP80	0.	0.	0.	0.	0.	0.	-5.74	0.082	-3.03	-1.396	1.472	1.199
1/2	RIJMAT	-2.492	0.	-0.105	0.296	0.	0.200	0.	3.36	0.	0.	0.114	0.
	SAP80	-4.956	-0.181	-0.112	0.302	-0.02	0.200	0.284	3.358	0.211	0.922	0.129	0.006
1	TAŞIMA MATRİ.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	6.50	0.295	3.59	0.748	1.24	-1.49
	RIJMAT	0.	0.	0.	0.	0.	0.	5.89	0.	3.09	0.607	1.11	-1.23
	SAP80	0.	0.	0.	0.	0.	0.	5.823	0.273	3.153	1.689	1.422	-1.256

Çizelge (2)' de, aksenal ötelenmenin dışındaki SAP80 deplasman sonuçlarının; kesit tesirlerine nazaran diğer yöntemlerle elde edilen sonuçlarla nispeten iyi bir uyum içinde olduğu görülmektedir. Deplasmanların türevleriyle kesit tesirlerine geçildiğinden, özellikle burulma momentinin

büyükliğindeki farklılık belirginleşmektedir. SAP80 sonuçlarında simetri özelliği bulunmamaktadır. Gerçekçi sonuçların elde edilebilmesi için, sistem çok daha küçük elemanlara ayrılmalıdır.

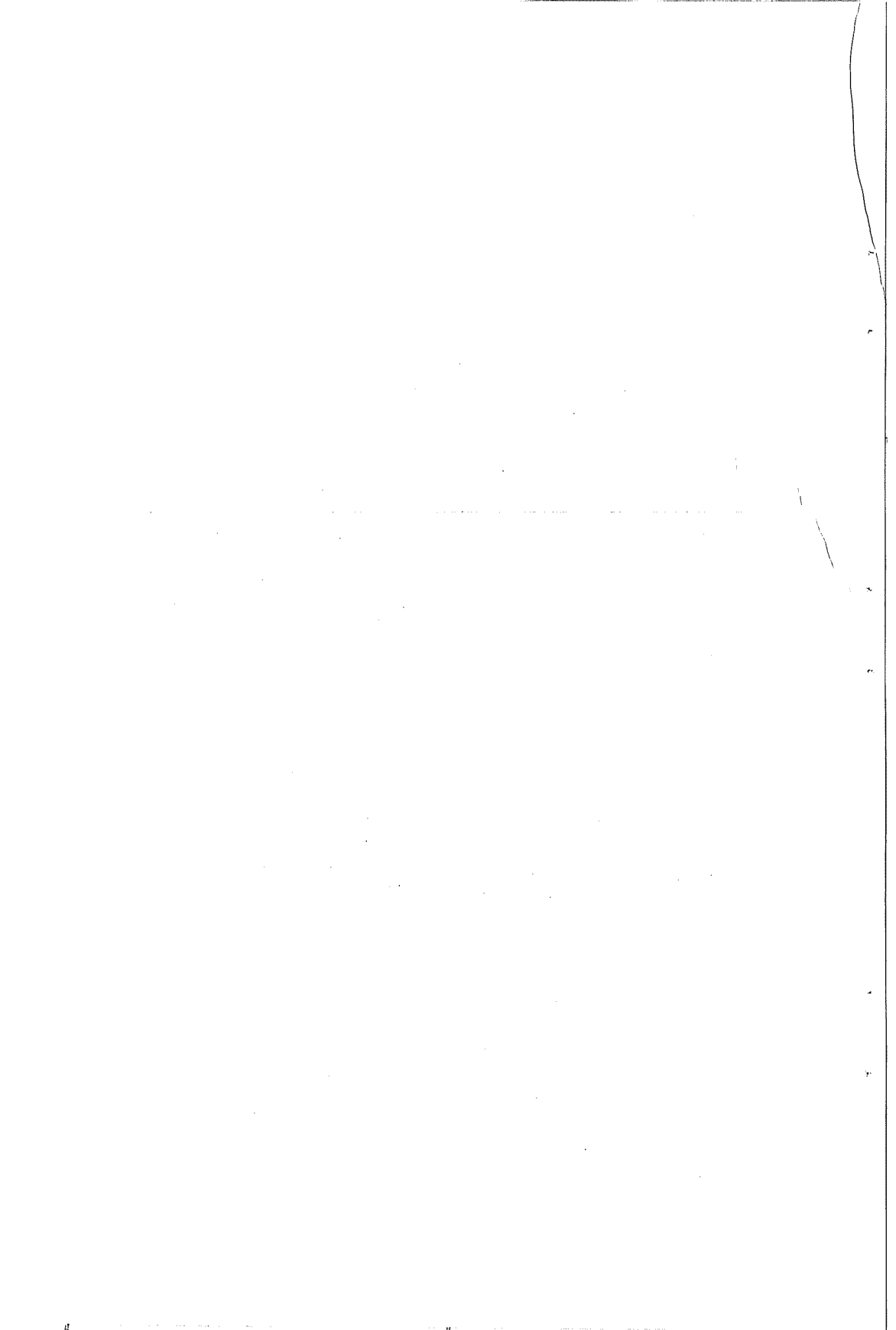
4. SONUÇLAR

Helisel yaylarda statik halde mukavemet hesapları, yay ağırlığının hesaba katılmadığı, basit çekme ve basma zorlanması durumunda yaklaşık olarak yapılabilmektedir. Oysa pratikte, mesnetlenme ve yükleme durumları değişkendir. Yanısıra, dinamik halde yay kütesinin hesaba katılması zorunlu bir olaydır.

Rijitlik ve taşıma matrisleri metodları; anlaşılması kolay, bilgisayara adaptesi mümkün ve sistematik metotlardır ve bu metodlarla elde edilen sonuçlar da kesindir. Bu çalışmada, rijitlik matrisi metoduna göre çözüm yapan Rijmat programı; sistemin her türlü mesnetlenme ve yükleme durumlarına cevap verebilecek şekilde esnek olarak hazırlanmıştır. Bu haliyle , düzlem daire ve helis eksenli makina ve yapı elemanlarında meydana gelebilecek kesit büyüklüklerinin tamamı kesin olarak elde edilebilmektedir. Bu elemanlarda, doğru eksenli uzaysal çubuklarla işlem yapmak uygun olmamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] D. L. Morris, Curved beam stiffness coefficients, Journal of ASCE, 94/ST 5 (1968), 1165-1174.
- [2] A. Abdalbaki, A. Shuakir, Continuous helicoidal girders, Journal of ASCE, 99/ST 10 (1973), 2183-2203.
- [3] R. Palaninathan, P.S. Chandrasekharan, Curved beam element stiffness matrix formulation, Computers & Structures, 21/4 (1985), 663-669.
- [4] G. D. Stefanou, Simplified discrete method for the design of helical rectangular beams of very large width, Computers & Structures, 18/5 (1984), 861-874.
- [5] S. Tezcan, Çubuk Sistemlerinin Elektronik Hesap Makinaları ile Çözümü, Arı Kitapevi, İstanbul, 1970, 406 s.
- [6] M. Inan, Elastomekanikte Başlangıç Değerleri Metodu ve Taşıma Matrisi, İ.T.Ü. Kitaplığı, Sayı 585, İstanbul, 1964.
- [7] V. Cinemre, Başlangıç değerleri metodu ile helisel çubukların statik hesabı, Doktora Tezi (1960), İ.T.Ü. İnş. Fak., 59 s.



KONSOLIDASYON KATSAYISININ YARI ANALİTİK TAYINI

M.Arslan TEKİNSOY *
Tefaruk HAKTANIR *

ÖZET

Bu çalışmanın ana amacı, doymamış zeminlere ait konsolidasyon katsayısının hesabıdır. Nonlineer olan konsolidasyon diferansiyel denklemi, yarı analitik olarak çözülmüştür. Elde edilen yarı analitik çözüm doygun koşullar için geliştirilen logaritma-zaman yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Sonuçta bu çalışma ile ileri sürülen yöntemin bütün basınç kademeleri için konsolidasyon değerlerini veren genel bir yöntem olduğu gösterilmiştir.

SEMI-ANALYTICAL DETERMINATION OF THE COEFFICIENT OF CONSOLIDATION

ABSTRACT

Computation of the coefficient of consolidation for unsaturated soils has been the objective of this study. The nonlinear differential equation of consolidation has been solved semi-analytically. The solution obtained has been compared with the log-time method developed for the saturated conditions. In conclusion, the method proposed herein is a general model which gives consolidation values for all the pressure levels and it can also give the values at the end of the pressure levels.

* Ç.Ü. Müh.Mim.Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü

1. GİRİŞ:

Zemin içinde herhangi bir andaki p toplam basıncının, iki kısımdan meydana geldiği gözönüne alınmaktadır. Bunlar; zemin tarafından taşınan p_e efektif basıncı ve su tarafından taşınan u hidrolik basıncıdır. Bu basınçlar içinde u'yu dengeliyecek hidrostatik basınc olmaması nedeniyle, hidrodinamik fazlalık olarak ta adlandırılmaktadır. Buna göre toplam basınc aşağıda olduğu gibi tanımlanabilir [1;2].

$$p = p_e + u \dots\dots\dots (1)$$

Tek boyutlu konsolidasyon teorisinde, konsolidasyon yüzdesi ve katsayısı, aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [3].

$$\text{Konsolidasyon yüzdesi: } U = \frac{\Delta H_t}{\Delta H} \dots\dots\dots (2.a)$$

$$\text{Konsolidasyon katsayısı: } c_v = \frac{K}{\gamma_w m_v} ; (L^2 T^{-1}) \dots\dots\dots (2.b)$$

$$\text{Zaman faktörü: } T_v = \frac{c_v t}{H_d^2} \dots\dots\dots (2.c)$$

Burada, ΔH_t , herhangi bir t anı için oturma; ΔH ise belli bir basınc kademesindeki nihai oturmadır. K, permeabilite; m_v , kompresibilite; γ_w , suyun birim ağırlığını; t, zamanı; ve H_d de direnç yolunu göstermektedir.

Yapılan deneyler konsolidasyon katsayısının tümüyle suya doygun koşullarda hemen hemen sabit gibi alınabileceğini göstermiştir. Bunun nedeni, hem permeabilite hem de kompresibilitenin basıncın artması ile azalmasındandır. Bu olaya dayanarak aşağıda verildiği gibi, tek boyutlu konsolidasyon için, konsolidasyon diferansiyel denklemi çıkarılmıştır [3;4].

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \dots\dots\dots (3)$$

Konsolidasyon katsayısının yarı analitik tayini

Bu diferansiyel denklemde c_v konsolidasyon katsayısı sabitidir, ve diferansiyel denklem tümüyle doymuş koşulları kapsar.

Fakat uygulamada, yapılar doymamış zeminler üzerine otururlar ve bu nedenle, c_v konsolidasyon katsayısı değişken özellik gösterir. Bu durumu gözönüne alan konsolidasyon diferansiyel denklemi aşağıda olduğu gibi ifade edilmektedir [4].

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[c_v \frac{\partial u}{\partial z} \right] \dots\dots\dots (4)$$

Bu denklem nonlineer bir diferansiyel denklem olup, c_v konsolidasyon katsayısı u basıncının bir fonksiyonudur ve değişken bir özelliğe sahiptir. Bu durumda yine c_v , (2.b) Nolu eşitlikteki tanıma sahiptir.

Öte yandan c_v konsolidasyon katsayısının (3) Nolu diferansiyel denklemde olduğu gibi sabit alınması nedeniyle, c_v 'nin tayininde belli başlı beş yöntem ileri sürülmüştür. Bu beş yöntemle bulunan konsolidasyon katsayıları da birbirinden farklıdır. Bunlardan ençok kullanılanı logaritma-zaman ve diğeri karekök-zaman yöntemleridir. Hala, c_v 'nin değişken olduğu hal için, c_v 'nin tayini problemi açıklığa kavuşmuş değildir. İleri sürülen yöntemler doymuş koşullar için geliştirilmiştir [3;4;5].

Yukarıda açıklanan nedenlerle bu çalışmada, 4 Nolu denklemin yarı analitik çözümünden giderek c_v 'nin her basınc seviyesinde tayini amaçlanmıştır. Bu yaklaşımla konsolidasyon katsayısının tayini; her basınc kademesinin kendi içinde de bulunması mümkün olacaktır.

2. TEORİK ÇALIŞMA

Bu güne kadar yapılan çalışmalar, Δz boy kısaltmalarının Jt ile korelasyonlu olduğunu göstermiştir [1;2;3]. Zaten karekök-zaman yöntemi de bu esasa dayanmaktadır. Bu nedenle u basıncı $u = f(\lambda)$ şeklinde tek bir fonksiyon ile ifade edilebilir. Burada $\lambda = z/Jt$ olarak tanımlanacak olursa, (4) Nolu ifadeden aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$\frac{du}{d\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial t} = \frac{d}{d\lambda} \left[c_v \frac{du}{d\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial z} \right] \frac{\partial \lambda}{\partial z} \dots\dots\dots (5.a)$$

$$-\frac{\lambda}{2} du = d \left[c_v \frac{du}{d\lambda} \right] \dots\dots\dots (5.b)$$

Bu denklemin integrali alınacak olursa aşağıdaki ifade bulunur.

$$c_v = -\frac{1}{2} \frac{d\lambda}{du} \int_{P_i}^{P_0} \lambda du \dots\dots\dots (6)$$

Burada her basınç kademesi için konsolidasyon süresi, t_0 , sabit varsayılır ve $t=t_0$ alınır; $\lambda = z/\sqrt{t}$ değeri (6) Nolu eşitlikte yerine konulmakla, aşağıdaki denkleme gelinir.

$$c_v = -\frac{1}{2 t_0} \frac{dz}{du} \int_{P_i}^{P_0} z du \dots\dots\dots (7)$$

Öte yandan bir odometre deneyi için kompresibilite tanımı aşağıdaki şekilde verilmektedir [1;2].

$$m_v = -\frac{\Delta V}{V \Delta u} = -\frac{\Delta z}{z \Delta u} \dots\dots\dots (8)$$

Burada, ΔV hacim değişikliğini, V hacmi, ve Δu basınç farkını ifade etmektedir. Odometrenin taban alanı, A , sabit olduğundan hacim: $V = Az$ ve $\Delta V = A \Delta z$ olarak yerine konulmuştur.

Eğer sürekli değişkenler cinsinden ifade edilmek istenirse, (8) Nolu eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$m_v = -\frac{dz}{z du} \dots\dots\dots (9)$$

Konsolidasyon katsayısının yarı analitik tayini

Kompresibilitenin bu tanımına göre c_v ve dz/du değerleri (9) Nolu eşitlikten alınıp, (7) Nolu eşitlikte yerine konulacak olursa aşağıdaki ifadeye gelinir.

$$c_v = - \frac{m_v H_d}{t_0} \int_{z_i}^{z_0} \frac{dz}{m_v} \dots\dots\dots (10)$$

Burada, $H_d = z/2$ şeklinde drenaj yolunu, t_0 konsolidasyon süresini, negatif işaret te c_v 'nin azaldığını ifade etmektedir. Yine (10) Nolu denklemde m_v kompresibilitesi her basınç seviyesi için değişken özellik göstermektedir. m_v 'nin negatif işaret taşıdığı düşünülür ve sonlu büyüklükler için c_v değeri yazılacak olursa, aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$c_v = \frac{m_v H_d}{t_0} \sum_{i=1}^n \left[\frac{\Delta z}{m_v} \right]_i \dots\dots\dots (11)$$

Eğer m_v kompresibilitesi, her basınç kademesinde sabit kabul edilirse; (10) Nolu integralde m_v integral dışına çıkar. Başlangıç değeri için $z_i = 0$ ve integralin üst sınırı da $z_0 = H_d$ olarak alınırsa, konsolidasyonun belli yüzdesi için $c_{v_0} = T_v c_v$ olacağından aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$c_{v_0} = T_v c_v = T_v \frac{m_v H_d}{t_0 m_v} \int_0^{H_d} dz \dots\dots\dots (12.a)$$

$$c_{v_0} = \frac{T_v H_d^2}{t_0} \dots\dots\dots (12.b)$$

Bulunan c_{v_0} ifadesi, tümüyle doymuş koşullara karşı gelen konsolidasyon katsayısının sabit kabul edilen değerinden başka birşey değildir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Logaritma-zaman yöntemi ile, ileri sürülen yöntemi karşılaştırabilmek amacıyla killi bir zemin için suya doymun durumda odometre deneyi yapılmıştır. Deney örneğinin deney başlangıcındaki birim ağırlığı: $\gamma_0 = 1.68 \text{ t/m}^3$ ve su içeriği: $w = \% 51$ 'dir. Deneyde kullanılan odometreye ait ring'in çapı: $D = 60 \text{ mm}$, ve yüksekliği: $H_0 = 23 \text{ mm}$ 'dir. İleri sürülen yöntemle örnek olması için $0.00 - 0.50 \text{ kgk/cm}^2$ ve $0.50 - 1.00 \text{ kgk/cm}^2$ 'lik basınç kademeleri için odometre test sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Karşılaştırmada örnek olması bakımından $0.50 - 1.00 \text{ kgk/cm}^2$ 'lik basınç kademesi için logaritma-zaman yöntemine göre konsolidasyon katsayısının hesabı için Şekil 1'de görülen konsolidasyon eğrisi çizilmiştir. Bu eğriye göre $\% 50$ konsolidasyona karşı gelen zaman $t_{50} = 58$ dakikadır. Bu durumda zaman faktörü $T_v = 0.197$ olup, c_v ve K permeabilitesinin değeri aşağıdaki gibidir.

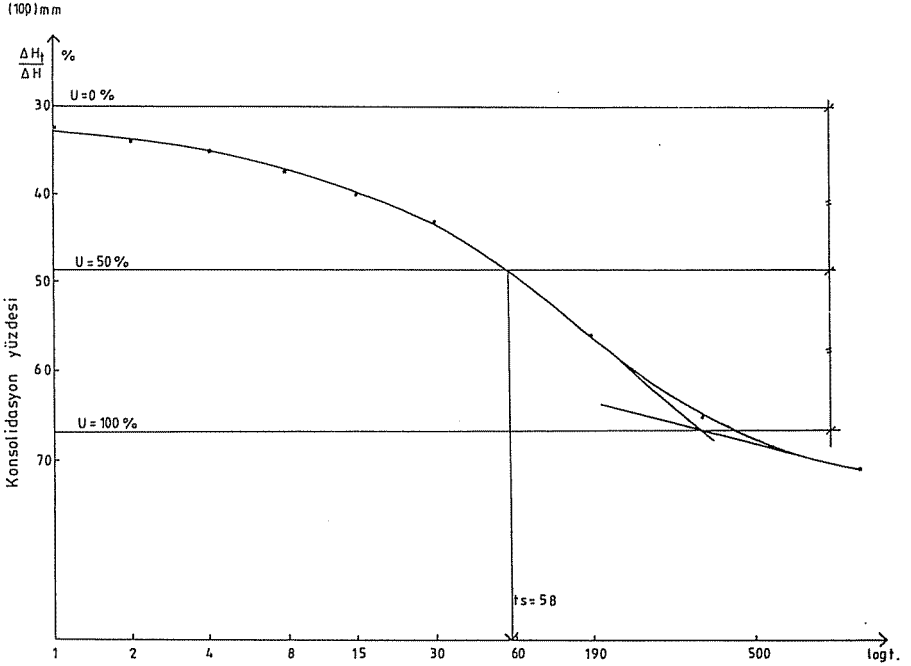
$$c_v = \frac{0.197 * \left[\frac{2.25}{2} \right]^2}{58 * 60} = 7.17 * 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sn}$$

$$K = 7.17 * 10^{-5} * 0.040 * 10^{-3} = 2.87 * 10^{-9} \text{ cm/sn}$$

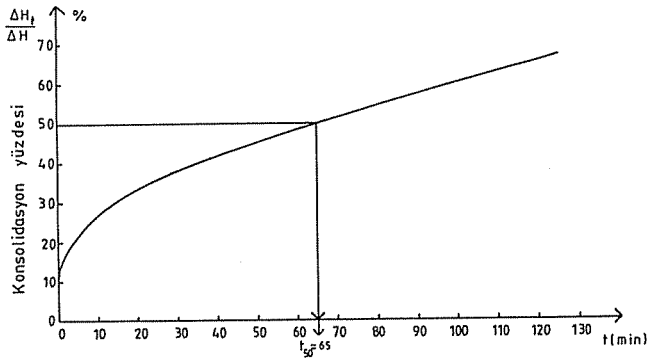
Kompresibilitenin hesabı Tablo 2'de verilmiş ve bu değer yukarıda kullanılmıştır.

$0.50 - 1.00 \text{ kgk/cm}^2$ 'lik basınç kademesi için Δz deformasyonlarını hesaplariken $\Delta z_0 = 0.026 \text{ cm}$ 'lik deformasyonu diğer deformasyonlardan çıkarmak gerekir. Deney örneğinin kalınlığı ise $z = 23 - \Delta H \text{ mm}$ olarak hesaplanmalıdır. Tüm bu hesapların yapılışı Tablo 3'te verilmiştir.

Konsolidasyon katsayısının yarı analitik tayini



Şekil:1. Log-zaman yöntemiyle konsolidasyon katsayısının tayini



Şekil:2. % 50 konsolidasyon için, konsolidasyon zamanının tayini

Tablo 1. 0.00-1.00 kgk/cm² basınç için odometre test sonuçları

Basınç Kademesi= 0.50 kg/cm ²		Basınç Kademesi= 1.00 kg/cm ²	
Konsolid. zamanı t	Ring okumaları Δz /100 mm	Konsolid. zamanı t	Ring okumaları Δz /100 mm
0 sn	0.0	0 sn	26.0
15 sn	7.5	15 sn	31.1
30 sn	8.1	30 sn	31.8
60 sn	9.0	60 sn	32.5
2 dak	9.9	2 dak	33.8
4 dak	11.1	4 dak	35.0
8 dak	13.0	8 dak	37.2
15 dak	14.2	15 dak	40.0
30 dak	15.0	30 dak	43.0
1 saat	19.0	370 dak	65.5
24 saat	26.0	24 saat	71.0

Tablo 2. Klasik yoldan hesaplanan kompresibilite değeri

Basınç p kgk/cm ²	Basınç kademe, Δp kgk/cm ²	Defor. h mm	H ₀ - ΔH mm	H ₁ - H ₂ ΔH, mm	(H ₁ + H ₂)/2 H, mm	ΔH/H	Kompres. a _v cm ² /kgk
0.00			23.00				
0.50	0.50	0.26	22.74	0.26	22.87	0.011	0.022
1.00	0.50	0.71	22.29	0.45	22.52	0.020	0.040

Tablo 3. 0.50 - 1.00 kgk/cm²'lik basınç kademesi için konsolidasyon katsayısının hesabı

Örnek Boyu z = H ₀ - ΔH mm	Deformasyon Δz' = Δz - Δz ₀ cm	Kompresibil. a _v = Δz' / (z Δp)	Drenaj B. H _d cm	Δz' / a _v kgk/cm	Konsolid. % ΔH _t / ΔH %
22.689	0.0051	0.0045	1.1334	1.1333	11.3
22.682	0.0058	0.0051	1.1341	1.1372	12.9
22.675	0.0065	0.0057	1.1338	1.1404	14.4
22.662	0.0078	0.0069	1.1331	1.1304	17.3
22.650	0.0090	0.0079	1.1325	1.1392	20.0
22.628	0.0112	0.0099	1.1314	1.1313	24.9
22.600	0.0140	0.0124	1.1300	1.1290	31.1
22.570	0.0170	0.0151	1.1285	1.1258	37.8
22.440	0.0300	0.0267	1.1220	1.1236	66.7
22.345	0.0395	0.0354	1.1172	1.1158	87.8
22.290	0.0450	0.0404	1.1145	1.1137	100

Konsolidasyon katsayısının yarı analitik tayini

Tablo 3'te m_v kompresibilitesi hesaplanırken $\Delta p = 0.50$ kgk/cm²'ye $\Delta z/z$ değerleri bölünerek bulunmuştur. H_d drenaj boyu ise odometrenin özelliğinden dolayı $H_d = z/2$ olarak hesaplanmıştır. % 50 konsolidasyon miktarı % 37.8 ile % 66.7 arasına düşmektedir (yıldızlı yer). Buna karşı gelen Δz ve z miktarları ve diğer büyüklükler aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\frac{\Delta H_t}{\Delta H} = 0.5 \quad \text{ve} \quad \Delta H_t = 0.5 * 0.0450 = 0.0225 \text{ cm}$$

$$\Delta z - \Delta z_0 = 0.0225 \text{ cm} \quad \text{ve} \quad \Delta z = 0.026 + 0.0225 = 0.0485$$

$$z = 23.0 - 0.485 = 22.515 \text{ mm.}$$

$$H_d = \frac{22.515}{2} = 11.258 \text{ mm} = 1.1258 \text{ cm}$$

$$m_v = \frac{0.0225}{2.2515 * 0.5} = 0.01999 \text{ cm}^2/\text{kgk.}$$

$$\frac{\Delta z}{m_v} = \frac{0.0225}{0.01999} = 1.1256 \text{ kgk/cm}$$

$$m_v H_d = 0.01999 * 1.1258 = 0.0225 \text{ cm}^3/\text{kgk.}$$

% 50'lik konsolidasyona karşı gelen konsolidasyon zamanı Şekil 2'de görüldüğü gibi 65 dakika olarak bulunmuştur. (11) Nolu eşitlikteki $\sum_{i=1}^n (\Delta z/m_v)_i$ teriminin hesabında, $\Delta z/m_v$ sütunundaki değerler, yıldız konulan yere kadar toplanıp, bu toplama yukarıda bulunan 1.1256 kgk/cm değeri eklenerek bulunmuştur. Buna göre $\sum_{i=1}^n (\Delta z/m_v)_i = 10.1922$ değerine sahiptir. (11) Nolu ifadede değerler yerine konulursa, $t_0 = 65$ dakikalık konsolidasyon süresi için konsolidasyon katsayısı aşağıdaki gibi bulunur.

$$c_v = \frac{m_v H_d}{t_0} \sum_{i=1}^n \left[\frac{\Delta z}{m_v} \right]_i = \frac{0.0225}{65 * 60} * 10.1922 = 5.88 * 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sn}$$

Permeabilite katsayısı $K = m_v c_v$ olduğuna göre, bu durumda

$$K = 5.88 \cdot 10^{-5} * 0.01999 \cdot 10^{-3} = 1.175 \cdot 10^{-9} \text{ cm/sn}$$

bulunur. Eğer t_0 süresi logaritma-zaman yönteminde olduğu gibi $t_0 = 58$ dakika alınacak olursa c_v katsayısı aşağıdaki gibidir.

$$c_v = \frac{0.0225}{58 \cdot 60} * 10.1922 = 6.59 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sn}$$

Permeabilite katsayısı için $m_v = 0.0404$ değeri kullanılırsa aşağıdaki değerler bulunur.

$$t_0 = 65 \text{ dak için } K = 5.88 \cdot 10^{-5} * 0.0404 \cdot 10^{-3} = 2.38 \cdot 10^{-9} \text{ cm/sn}$$

$$t_0 = 58 \text{ dak için } K = 6.59 \cdot 10^{-5} * 0.0404 \cdot 10^{-3} = 2.66 \cdot 10^{-9} \text{ cm/sn}$$

Bulunan değerlerin karşılaştırılmasında logaritma-zaman yöntemine göre hesaplanan $t_0=58$ dakika ve $m_v=0.0404$ kgk/cm²'lik değerler için bulunan c_v konsolidasyon katsayısı ve K permeabilite değerinin, c_v 'nin sabit alındığı $c_v=7.17 \cdot 10^{-5}$ cm²/sn ve $K=2.87 \cdot 10^{-9}$ cm/sn değerlerine ne denli yakın olduğu görülebilir.

İleri sürülen yöntemle konsolidasyon katsayısının bulunması hem değişken hem de doğruya daha yakındır ve denklem yarı-doygun koşullar için de çözülmüş bulunmaktadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma ile konsolidasyon olayı yarı-doygun koşullar için de bulunabilecek şekilde çözülmüş bulunmaktadır. Çözüm ancak yarı analitik bir çözümdür.

Yarı analitik olmasına rağmen, burada verilen çözüm c_v konsolidasyon katsayısının daha doğru değerlerini vermektedir. Ayrıca ileri sürülen yöntem genel olduğu için, hem doygun hem de yarı-doygun koşullara uygulanabilecek niteliktedir. Yöntemden daha doğru sonuç alınabilmesi için kısa aralıklarda daha fazla ring okuması yapmak gerekir. Çünkü aralıklar daha da küçük parçalara bölünmüş olur.

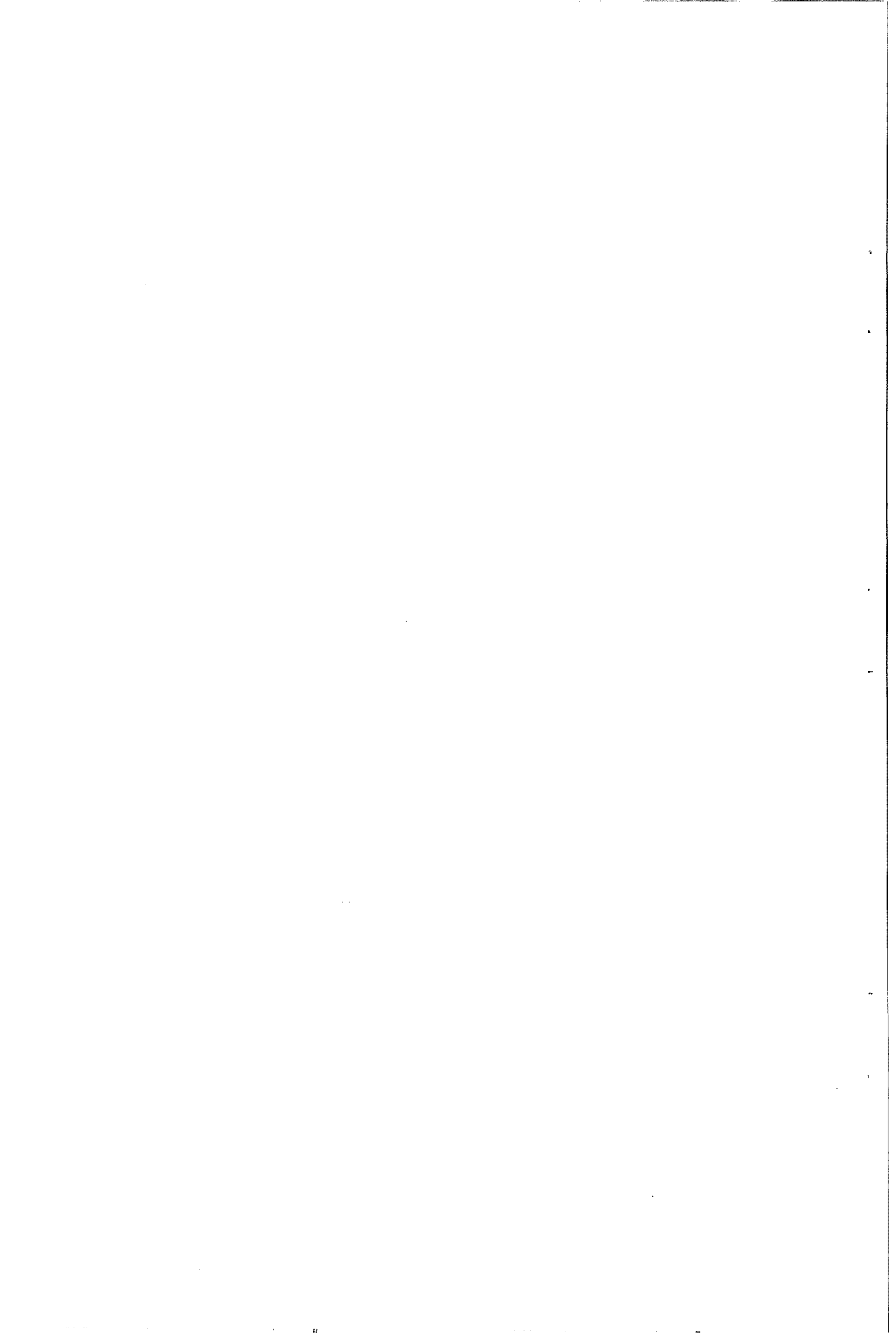
Konsolidasyon katsayısının yarı analitik tayini

Uygulamada daha gerçekçi bir yargıya varmak için ring içine yerleştirilen zemin örneği önce doyurulmalı, ondan sonra odometreye yerleştirilmelidir.

Ayrıca odometre deneyi, klasik yolda olduğu gibi tümüyle doygun olarak, hem de bozulmamış örnek su içeriği değiştirilmeden ayrı ayrı yapılmalıdır. Sonuçta her üç örneğin konsolidasyonu karşılaştırılıp böyle bir yargıya varılması daha doğru karar almayı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Bowles, J.E., "Engineering properties of soils and their measurement", McGraw-Hill Int.Book Co., London, 1978, pp.123.
- [2] Capper, P.L. and Cassie, P.L., "Soil mechanics in civil engineering", Turkish translation from English by Kumbasar, V. and Kip, F., Caglayan Publishing Co., Istanbul, 1984, pp.350.
- [3] Znidarcic, D.; Croce, P.; Pane, V.; Ko, H.Y.; Olsen, H.W.; and Schiffman, R.L., "The theory of one-dimensional consolidation of saturated clays: III existing testing procedures and analysis", Geotechnical testing journal, GTTODJ, Vol.7, No.3, Sept. 1984, pp.123-133.
- [4] Znidarcic, D.; Schiffman, R.L.; Pane, V.; Croce, P.; Ko, H.Y.; and Olsen, H.W., "The theory of one dimensional consolidation of saturated clays: Part V, constant rate of deformation testing and analysis", Geotechnique 36, Vol.36, No.2, 1986, pp.227-237.
- [5] Parkin, A.K., "Discussion of the theory of one-dimensional consolidation of saturated clays: III existing procedures and analysis by D. Znidarcic, P. Croce, V. Pane, H.Y. Ko, H.W. Olsen, and R.L. Schiffman", Geotechnical testing journal, GTJDDJ, Vol.8, No.3, Sept. 1985, pp.143-144.



CEVRE SICAKLIĞININ ZAMANSAL DEĞİŞİMİNİN EŞİTLİKLERLE
HESAPLANMASI

R. Tugrul OGULATA (*)
Tuncay YILMAZ (*)

ÖZET

Çevre sıcaklığı, bulunulan yere ve zamana bağlı olarak sürekli değişmektedir.

Yapılarda ısı kayıp-kazanç hesapları ile güneş enerjisi uygulamalarında çevre sıcaklığının değişimi oldukça önemlidir. Doğru ve en ekonomik ısı yükünün miktarı, diğer ortam şartlarıyla beraber, çevre sıcaklığının da zamana bağlı değerlerinin bilinmesini gerektirmektedir.

Bu nedenle bu çalışmada çevre sıcaklığının gün boyunca değişimini yaklaşık olarak veren basit eşitlikler geliştirilmiştir.

ANALYTICAL DETERMINATION OF
AMBIENT TEMPERATURE'S TEMPORAL VARIATION

ABSTRACT

Ambient temperature changes both spatially and temporally at an ever-varying manner.

Rate of change of the ambient temperature is considerably important in computations for heat loss and gains in buildings, and in solar energy applications. Determination of the most economical heat load correctly necessitates correct prediction of rate of temporal change of the ambient temperature, along with other relevant factors.

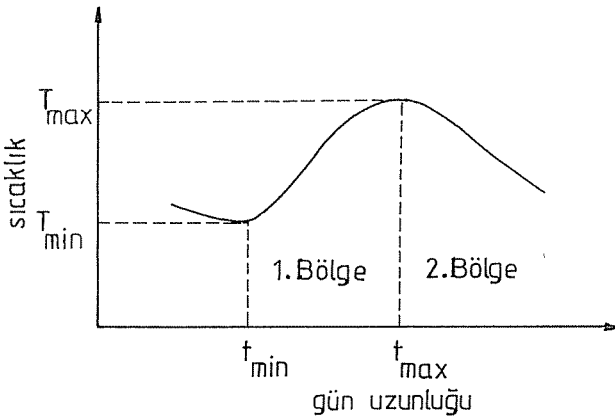
(*) Ç.U. Müh.-Mim. Fak., Makina Mühendisliği Böl., ADANA

Therefore, analytical equations of rather simple composition have been developed in this study to determine the whole-day-long temporal variation of the ambient temperature.

1. GİRİŞ

Çevre sıcaklığı bilindiği gibi gün boyunca sürekli değişmektedir. Bu değişim güneş ışınımında olduğu gibi simetrik bir şekilde olmamaktadır. Güneş ışınımı saat 12'de maksimum olurken, çevre sıcaklığı bulunulan yere bağlı olarak genellikle saat 14-16 arasında maksimum olmaktadır. Bunun nedeni de yeryüzündeki maddelerin ısıl ataletleridir.

Çıkarılan eşitlikler, gün uzunluğunun Şekil 1'de gösterilen iki bölgeye ayrılması ile kullanılmaktadır. 1. bölge minimum sıcaklığın olduğu saatten başlayarak maksimum sıcaklığın olduğu zamana kadar olan süredir. 2. bölge ise maksimum sıcaklığın başlangıç alındığı saatten minimum sıcaklığın olduğu saate kadarki süredir.



Şekil 1. Çevre sıcaklığının gün uzunluğunca değişimi

2. MINIMUM VE MAKSİMUM SICAKLIĞIN OLUŞ SAATLERİ

Çevre sıcaklığının hesaplanabilmesi için minimum ve maksimum sıcaklığın olduğu saatlerin bilinmesi gerekmektedir. Minimum sıcaklık doğal olarak güneşin doğuşundan hemen önce görüleceğinden yaklaşık olarak güneşin doğuş saati alınabilir. Bu değer gün uzunluğundan hesaplanabilmektedir. Gün uzunluğu [1], saat olarak

$$t_g = \frac{2}{15} \text{ ArcCos } (-\tan e \cdot \tan \delta) \quad (1)$$

şeklinde belirlenebilmektedir. Burada, e bulunulan yerin enlemi, δ ise deklinasyon açısı olup n 1 Ocak'tan itibaren senenin günleri olmak üzere

$$\delta = 23,45 \text{ Sin } \left[\frac{2\pi}{365} (284+n) \right] \quad (2)$$

biçimindedir. Gün uzunluğunun güneş öğlesine (saat 12'ye) göre simetrik olduğu dikkate alınacak olursa, minimum sıcaklığın olduğu saat,

$$t_{\min} = 12 - t_g / 2 \quad (3)$$

şeklinde olacaktır. Maksimum sıcaklığın olduğu saat ise, bu çalışmada şu şekilde önerilmiştir:

$$t_{\max} = 12 + t_{\min} (12 - t_{\min}) / 13,5 \quad (4)$$

Bu eşitlik tüm gün güneş olması ($t_{\min} = 0$) veya hiç güneş olmaması ($t_{\min} = 12$) durumlarında ısıl atalet olmayacağından $t_{\max} = 12$ sonucunu doğru olarak verebilmektedir. 13,5 değeri literatürde verilen [2,3,4,5,6,7] çeşitli yerlere ait günlük sıcaklık ölçümlerinden ortalama hesaplanmıştır.

3. ÇEVRE SICAKLIĞININ EŞİTLİKLERLE İFADESİ

Çevre sıcaklığını ifade etmek için 1. bölge ve 2. bölgedeki çevre sıcaklığı ve zamanlar 1 ve 2 indisiyle gösterilecektir. Ayrıca boyutsuz sıcaklıkların 0-1 ve zamanın da 0-∞ arasında değişmesini sağlamak amacıyla aşağıdaki boyutsuz büyüklükler tanımlanmıştır :

$$T_1^* = (T_1 - T_{\min}) / \Delta T \quad (5)$$

$$T_2^* = (T_{\max} - T_2) / \Delta T \quad (6)$$

$$X_1^* = (t_1 - t_{\min}) / (t_{\max} - t_1) \quad (7)$$

$$X_2^* = (t_2 - t_{\max}) / [t_0 - (t_2 - t_{\min})] \quad (8)$$

Bu eşitliklerde sıcaklık farkı

$$\Delta T = T_{\max} - T_{\min} \quad (9)$$

olarak tarif edilmiştir. Bu boyutsuz sıcaklık ve zaman tanımlarıyla sıcaklık değişimi için aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$T_1^* = \frac{1}{1 + 1/b_1 X_1^{*n_1}} \quad (10)$$

$$T_2^* = \frac{1}{1 + 1/b_2 X_2^{*n_2}} \quad (11)$$

yukardaki eşitliklerden $t=t_{\min}$, $t=t_{\max}$ ve $t=t_0$ için $T_1 = T_{\min}$, $T_1 = T_{\max}$ ile $T_2 = T_{\max}$, $T_2 = T_{\min}$ değerleri elde edilir ki, bu da sınır durumların (10) ve (11) eşitlikleriyle uygun belirlendiğini göstermektedir.

Literatürde [2,3,4,5,6,7] sıcaklığın çeşitli günlerde değişimi verilmiştir. Bunların yer ve zaman ile

yazarları Çizelge 1 de gösterilmiştir. Bu değerlerle yapılan hesaplarda 1. ve 2. bölgelerdeki b_1 , b_2 ve n_1 , n_2 değerlerinin birbirlerine çok yakın oldukları görülmüş ve bunun için de ortak bir b ve n değeri hesaplanmıştır. Bu değerler $n=n_1=n_2=1,5$ ve $b=b_1=b_2=1,4$ dır. Bu değerlerle 1. ve 2. bölge için

$$T_1^* = \frac{1}{1+1/1,4 X_1^{*1,5}} \quad (12)$$

$$T_2^* = \frac{1}{1+1/1,4 X_2^{*1,5}} \quad (13)$$

eşitlikleri elde edilmiştir.

Günlük sıcaklık dağılımının bulunması için önce eşt.(3) ve (4) ten t_{\min} ve t_{\max} bulunmalıdır. Bunlar da yılın günü ve bulunulan yerin enlemine bağlıdır. Ayrıca yörenin durumuna göre de günlük en yüksek ve en düşük sıcaklıkların (T_{\min} , T_{\max}) bilinmesi gereklidir. Bu değerlerle de eşt.(12) ve (13) ten sıcaklık değişimleri bulunur.

Literatürde verilen değerlerle eşt.(12) ve (13) ten hesaplanan günlük sıcaklık değişimleri Şekil 2 den Şekil 8 e kadar verilen egrilerle karşılaştırılmış ve iyi bir uyumda bu değişimlerin verildiği görülmüştür. Böylece 1. ve 2. bölgede sıcaklıkların simetrik olmadan ve iyi bir duyarlılıkla verilmesi sağlanmıştır.

4. GÜNLÜK ORTALAMA SICAKLIK

Günlük sıcaklık değişimi 1. ve 2. bölgede simetrik olmadığından ortalama sıcaklık minimum ve maksimum sıcaklıkların ortalamasına eşit alınamamaktadır. Bunun için sıcaklık dağılımının 1. ve 2. bölgede entegrasyonu gereklidir.

Cizelge 1

YER	ZAMAN	YAZAR ADI
A.B.D. 42 Kuzey enlemi	1 Agustos	James L. THRELKELD
Italya, Napoli 40,8 Kuzey enlemi	19 Agustos	K.D. MANNAN L.S. CHEEMA
A.B.D., California 31,8 Kuzey enlemi	11 Eylül	E.J. CORNEGIE P.W. NILES, W.B. STINE
Almanya, Berlin 52,3 Kuzey enlemi	23 Temmuz	W. HÖNMANN
İngiltere, Kew 51,4 Kuzey enlemi	15 Haziran 15 Eylül	J.K. PAGE
Kuveyt 29,36 Kuzey enlemi	15 Agustos	Suud AYYASH M. SARTAWI

$$\bar{T} = \frac{1}{t_0} \int_{t_{\min}}^{t_0+t_{\min}} T dt \quad (14)$$

Bu eşitlik de

$$\bar{T} = \frac{1}{t_0} \left\{ \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} T_1 dt_1 + \int_{t_{\max}}^{t_0+t_{\min}} T_2 dt_2 \right\} \quad (15)$$

olarak yazılmalıdır. Eşit. (15) te gerekli bazı düzenlemeler yapılarak

$$\begin{aligned} \frac{\bar{T}}{\Delta T} = \frac{1}{t_0} \left\{ \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} \frac{T_1 - T_{\min}}{\Delta T} dt_1 + \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} \frac{T_{\min}}{\Delta T} dt_1 \right. \\ \left. - \int_{t_{\max}}^{t_0+t_{\min}} \frac{T_{\max} - T_2}{\Delta T} dt_2 + \int_{t_{\max}}^{t_0+t_{\min}} \frac{T_{\max}}{\Delta T} dt_2 \right\} \quad (16) \end{aligned}$$

Daha önce tarif edilen boyutsuz büyüklükler kullanılarak

$$\bar{T} = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} + \Delta T \left\{ \frac{t_0}{2} - \left(\frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_0} \right) + \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} T_1^* \frac{dt_1}{t_0} - \int_{t_{\max}}^{t_0 + t_{\min}} T_2^* \frac{dt_2}{t_0} \right\} \quad (17)$$

Bu eşitlik

$$\bar{T} = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} + c. \Delta T \quad (18)$$

şeklinde yazılabilir. c katsayısı eşitlik (17) deki integrallerin nümerik olarak hesaplanmasıyla belirlenir.

$$\bar{T}_0 = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \quad (19)$$

tarifiyle eşitlik (18)

$$\bar{T} = \bar{T}_0 + c. \Delta T \quad (20)$$

olarak yazılabilir. Çizelge 2 de şekillerde belirtilen ölçümler için hesaplanan \bar{T} ve \bar{T}_0 değerleri verilmiştir. Bunlardan da $c \approx -1/36$ alınabilir ve böylece

$$\bar{T} \approx \bar{T}_0 - \Delta T / 36 \quad (21)$$

olarak ortalama sıcaklık nümerik hesap yapmadan yaklaşık tahmin edilebilir. Yukardaki değerler bize \bar{T} 'nin \bar{T}_0 dan farkının 1°C den küçük olduğunu da göstermektedir.

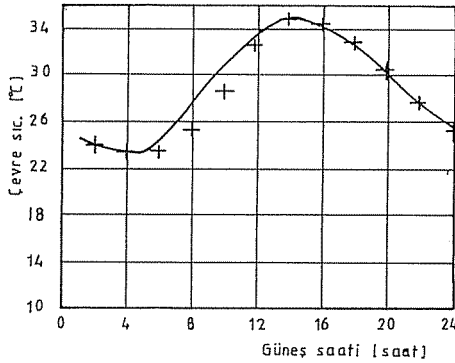
5. SONUC

Çevre sıcaklığının günlük değişiminin minimum ve maksimum sıcaklıkların görüldüğü zamanlara göre ortamdaki maddelerin ısı depolamasından dolayı simetrik

Çizelge 2

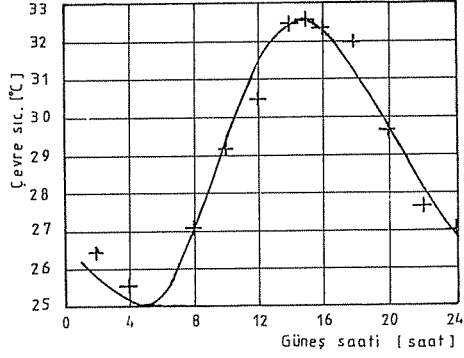
YER	ZAMAN	\bar{T}	\bar{T}_o
A.B.D. 42° Kuzey enlemi	1 Ağustos	28,82	29,15
İtalya, Napoli 40,8° Kuzey enlemi	19 Ağustos	28,60	28,80
A.B.D., California 31,8° Kuzey enlemi	11 Eylül	20,59	21,00
Almanya, Berlin 52,3° Kuzey enlemi	23 Temmuz	23,00	23,50
İngiltere, Kew 51,4° Kuzey enlemi	15 Haziran 15 Eylül	15,85 15,28	16,20 15,50
Kuveyt 29,36° Kuzey enlemi	15 Ağustos	36,24	36,60

değildir. Dünyadaki birçok yerdeki ve yılın değişik günlerindeki günlük çevre sıcaklık değişimini iyi bir yaklaşımla veren eşitlikler bulunmuştur. Bu eşitlikler yardımıyla günlük en düşük ve en yüksek sıcaklıklardan günlük ortalama sıcaklıkları hesaplamak da mümkündür.

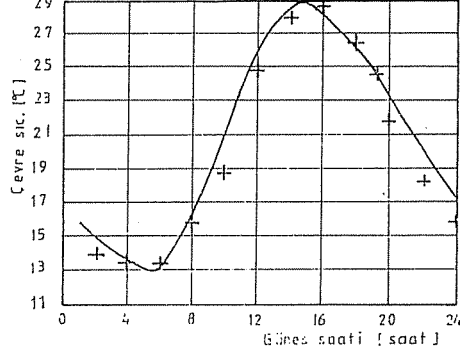


Şekil 2. Çevre sıcaklığının gün boyunca değişimi, A.B.D. 42° Kuzey enlemi, 1 Ağustos. (— Hesap, + Literatür)

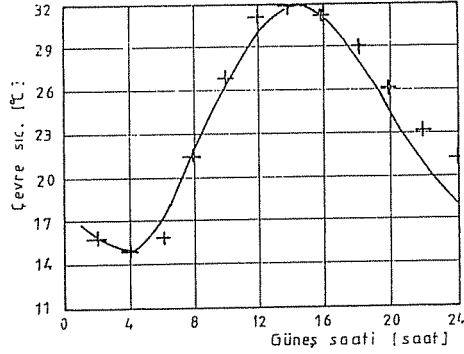
Çevre sıcaklığının zamansal değişiminin eşitliklerle hesaplanması



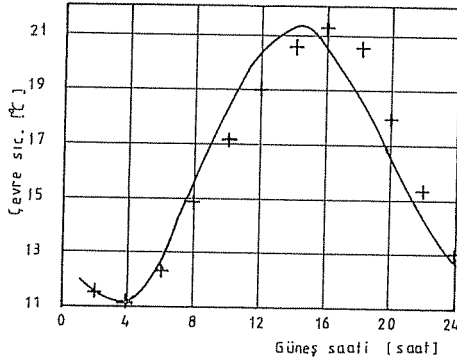
Sekil 3. Çevre sıcaklığının gün boyunca değişimi, İtalya 40,8° Kuzey enlemi, 19 Ağustos. (- Hesap, + Literatür)



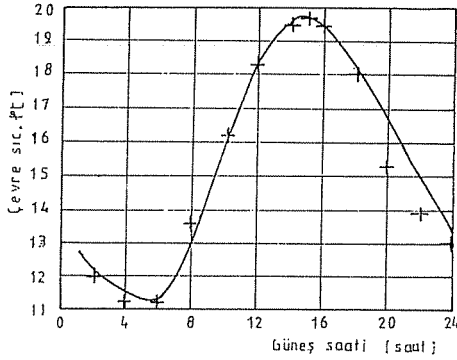
Sekil 4. Çevre sıcaklığının gün boyunca değişimi, A.B.D. 31,8° Kuzey enlemi, 11 Eylül. (- Hesap, + Literatür)



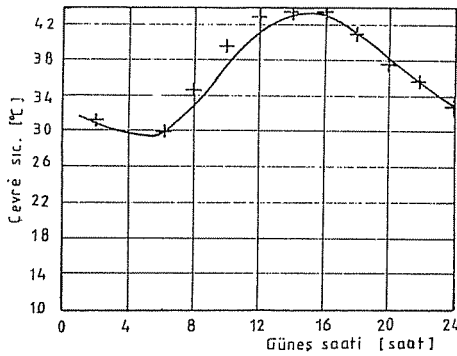
Sekil 5. Çevre sıcaklığının gün boyunca değişimi, Almanya 52,3° Kuzey enlemi, 23 Temmuz. (- Hesap, + Literatür)



Şekil 6. Çevre sıcaklığının gün boyunca değişimi, İngiltere 51,4° Kuzey enlemi, 15 Haziran. (- Hesap, + Literatür)



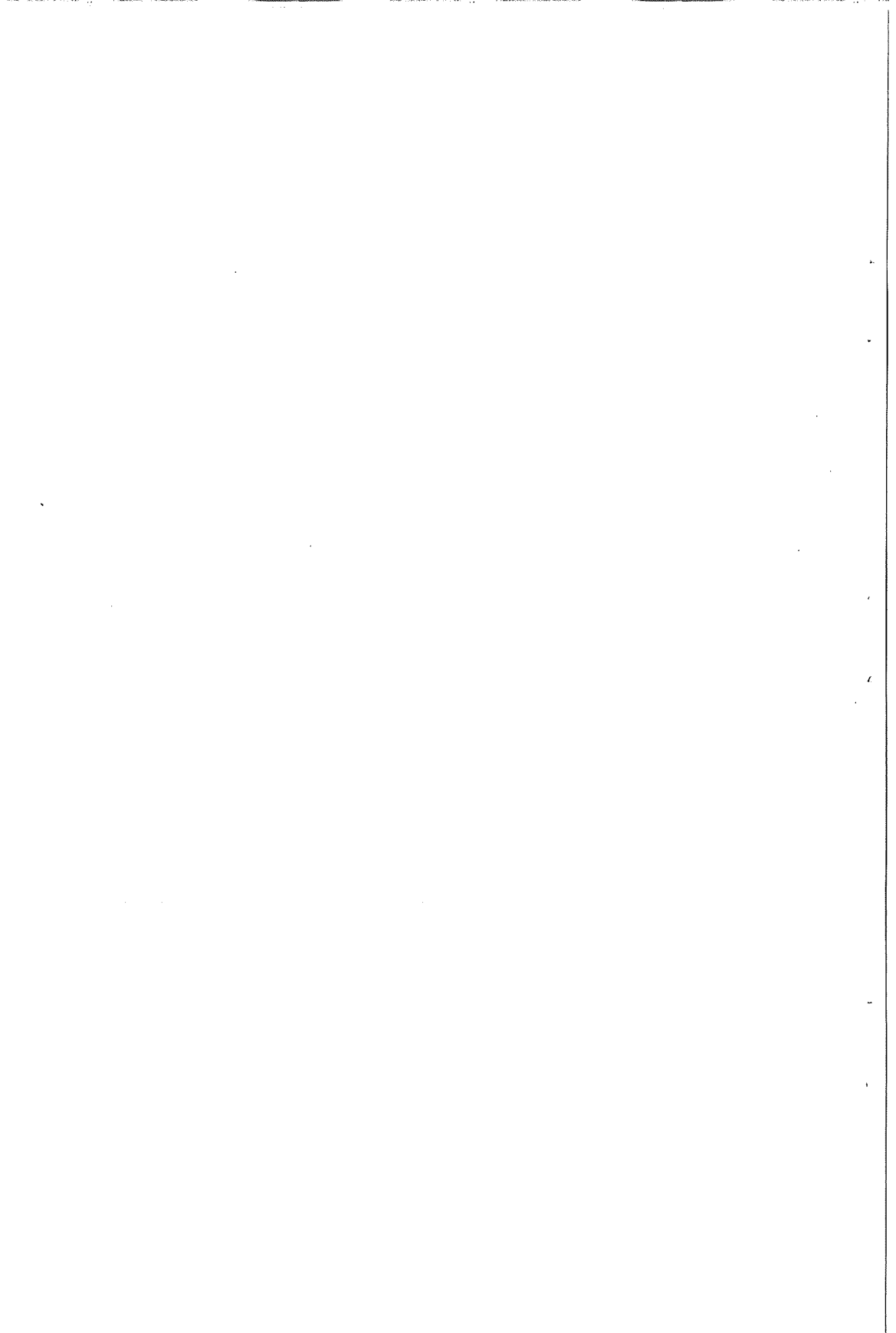
Şekil 7. Çevre sıcaklığının gün boyunca değişimi, İngiltere 51,4° Kuzey enlemi, 15 Eylül. (- Hesap, + Literatür)



Şekil 8. Çevre sıcaklığının gün boyunca değişimi, Kuveyt 29,36° Kuzey enlemi, 15 Ağustos. (- Hesap, + Literatür)

KAYNAKLAR

- [1] J.A. DUFFIE, W.A. BECKMAN, Solar Energy Thermal Processes. John Wiley & Sons, Inc., 1974, (187 S.).
- [2] J.L. THRELKED, Thermal Environmental Engineering., Second edition., Prentice - Hall, Inc., New Jersey., 1970.
- [3] K.D. MANNAN, L.S. CHEEMA, Year - round studies on natural cooling and heating of greenhouses in northern india., Sun II Proceedings Of The International Solar Energy Society Silver Jubilee Congress., Pergamon Press., Volume 2., 1979.
- [4] E.J. CARNEGIE, P.W. NILES, et al, Operation of an industrial solar drying system., Sun II Proceedings Of The International Solar Energy Society Silver Jubilee Congress., Pergamon Press., Volume 2., 1979.
- [5] W. HÜNNMANN, Taschenbuch Für Heizung+Klima Technik., 64. Auflage., Oldenburg Verlag., München., 1989.
- [6] J.K. PAGE, Systematic classification of climate for solar house design., Solar Energy Application In Buildings., Academic Press, Inc., New York., 1979.
- [7] S. AYYASH, M. SARTAWI, Solar - assisted cooling systems for power peak shaving in kuwait., Solar Heating Cooling Desalination., Alternative Energy Sources IV Volume 2, 1982.



**BİYELİN KRANK-BİYEL MEKANİZMASI ÜZERİNDEKİ
DİNAMİK ETKİLERİ**

İbrahim Deniz AKCALI (*)
Hüseyin MUTLU (*)
Onur GÜVEN (*)

ÖZET

Bu çalışmada kinematik ve dinamik bazı büyüklüklerin krank-biyel mekanizması üzerindeki etkileri incelenmiştir. Söz-konusu kinematik ve dinamik büyüklükler sırası ile, krank biyel uzunluk oranı, biyelin kütlesi, ağırlık merkezinin yeri ve kütleli eylemsizlik momenti, piston ve silindir arasındaki sürtünme katsayısıdır. İncelemeye konu olan etkilerden başlıcaları, krank yatağına ve silindir duvarına etkiyen sarsıcı ve aşındırıcı kuvvetler, krankta etkili torktur.

Sonuçta söz-konusu etkileri istenen düzeye indirecek koşullar saptanmıştır. Bu sonuçlar krank-biyel mekanizmasının krank, biyel, silindir ve yatak gibi ara parçalarının en iyi tasarımı için gerekli verileri sağlamış olacaktır.

DAYNAMIC EFFECTS ON THE SLIDER-CRANK MECHANISM**ABSTRACT**

In this work effects of some kinematic and dynamic quantities on the slider-crank mechanism have been investigated. Kinematic and dynamic quantities of interest are coupler length to crank length ratio, location of mass center, mass moment of inertia and friction coefficient between piston and cylinder. Effects subject to the investigation have been primarily forces acting on the cylinder wall and crank bearing that cause vibration and wear, and effective torque on the crank.

As a result, conditions whereby effects are controlled at a desired level have been determined. The data resulting from this investigation will enable the most suitable designs of basic parts such as crank, coupler, cylinder and bearing.

(*) Ç.Ü.Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Adana

1. GİRİŞ

Günümüz enerji makinaları hareket şekilleri bakımından pistonlu ve rotatif makinalar olmak üzere iki esas sınıfa ayrılabilir. Birinci grup kapsamı içerisine giren, gaz türbinleri hariç muhtelif tip içten yanmalı motorlar, buhar ve pistonlu kompresörler gibi makinaları karakterize eden ortak özellik, öteleme hareketini dönme hareketine veya tersine çevirmek için krank-biyel mekanizmasının kullanılmasıdır [1].

XIX. yüzyılın ilk yarısına kadar krank-biyel mekanizması teorisine hiç ihtiyaç yoktu. Bunun temel nedeni o zamanki buhar makinalarının hızlarının düşük oluşları ve bundan ötürü de atalet kuvvetlerinin pratik bakımdan ihmal edilebilecek kadar küçük olmasıdır [2]. Aynı yüzyılın ikinci yarısında krank-biyel mekanizması ile oluşturulmuş makinaların hızı artmaya başlayınca ataletten doğan dengesizlik kuvvetlerinin oluşturduğu titreşim, gürültü ve silindir-piston yüzeyi aşınmaları gibi sorunların ortaya çıkması sözü geçen teorinin tasarımdaki önemini kaçınılmaz yapmıştır.

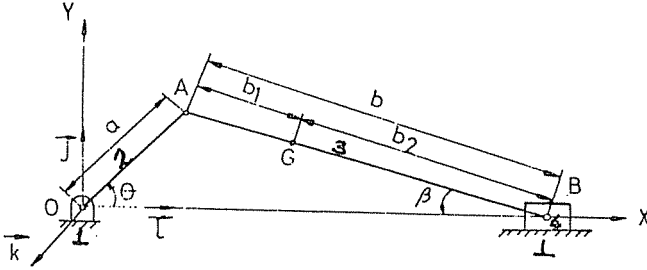
Bir makinanın tasarım evrelerinden ilk ikisini kinematik ve dinamik çalışma oluşturur [3]. Bu inceleme sadece mukavemet-katılık çalışmasının ön koşulu olmayıp aynı zamanda tüm makinanın işlevini yerine getirebilmesi için de zorunludur, [4].

Bu çalışmada kinematik ve dinamik bazı büyüklüklerin krank-biyel mekanizması üzerindeki etkileri FORTRAN 77 dilinde yazılmış bilgisayar programı yardımıyla incelenmiştir. Söz konusu kinematik ve dinamik büyüklükler sırası ile krank-biyel uzunluk oranı, biyelin kütlesi, ağırlık merkezinin yeri ve kütleli eylemsizlik momenti, piston ve silindir arasındaki sürtünme katsayısıdır.

2. KURAM

2.1. Kinematik inceleme

Şekil 1 de görülen krank-biyel mekanizması, gövde(1), krank kolu (2), biyel (3) ve pistondan (4) oluşmaktadır. Şekil 1 deki simgeler yardımıyla, krank konumu (θ), ve boyutlara bağlı olarak biyelin ağırlık merkezinin (G) ve piston-biyel mafsal noktasının (B) konumları (\vec{r}_G, \vec{r}_B), hızları (\vec{V}_G, \vec{V}_B) ve ivmeleri (\vec{a}_G, \vec{a}_B) ifade edilmiştir. İfadelerdeki parametre sayısını azaltmak için biyel-krank boy oranı (n) ve biyel üzerindeki ağırlık merkezinin krank pimine uzaklığının (b_1), biyel uzunluğuna (b) oranı (λ) tanımlanmıştır.



Şekil 1. Krank Biyel Mekanizması.

$$b / a = n \quad (1)$$

$$b_1 / b = \lambda \quad (2)$$

Biyelin açısal konumu (β), şekil 1 den şöyle yazılır;

$$\beta = \sin^{-1}(1/n \sin\theta) \quad (3)$$

Biyelin ağırlık merkezi ve piston konum ifadeleri, krank uzunluğuna (a) bölünerek boyutsuz hale getirilmişlerdir. Boyutsuz büyüklükler metin içerisinde bundan böyle üst (*) indisıyla simgelenenektirler. Ayrıca vektörel ifadelerde kullanılan $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ lar sırası ile x, y, z yönündeki birim vektörlerdir şekil 1.

$$\vec{r}_a^* = (\cos\theta + \lambda(n^2 - \sin^2\theta)^{1/2})\vec{i} + (1-\lambda)\sin\theta\vec{j} \quad (4)$$

$$\vec{r}_b^* = (\cos\theta + (n^2 - \sin^2\theta)^{1/2})\vec{i} \quad (5)$$

(4) ve (5) nolu eşitliklerin zamana göre birinci ve ikinci türevleri alınır, birinci türev krank açısına (ω), ikinci türev krank açısının karesine (ω^2) bölünürse, bundan boyutsuz hız ve ivme ifadeleri sonuçlandırılacaktır.

$$\vec{v}_a^* = (-\sin\theta - \lambda \frac{\sin 2\theta}{2(n^2 - \sin^2\theta)^{1/2}})\vec{i} + (1-\lambda)\cos\theta\vec{j} \quad (6)$$

$$\vec{v}_b^* = -(\sin\theta + \frac{\sin 2\theta}{2(n^2 - \sin^2\theta)^{1/2}})\vec{i} \quad (7)$$

$$\vec{a}_a^* = (\frac{\lambda}{(n^2 - \sin^2\theta)^{1/2}}(-\cos^2\theta + \sin^2\theta(1 - \frac{\cos^2\theta}{(n^2 - \sin^2\theta)})) - \cos\theta)\vec{i} + (\lambda - 1)\sin\theta\vec{j} \quad (8)$$

$$\vec{a}_b^* = (-\cos\theta + \frac{1}{(n^2 - \sin^2\theta)^{1/2}}(\sin^2\theta - \cos^2\theta - \frac{\sin^2\theta\cos^2\theta}{(n^2 - \sin^2\theta)}))\vec{i} \quad (9)$$

Ayrıca biyelin boyutsuz açısal ivmesi (α_s^*) (3) nolu bağıntının zamana göre iki kez türevinin alınması ve (ω^2) ile bölünmesinden çıkarılır.

$$\alpha_s^* = \frac{\sin\theta}{(n^2 - \sin^2\theta)^{1/2}} \left(1 - \frac{\cos^2\theta}{(n^2 - \sin^2\theta)} \right) \quad (10)$$

2.2 Dinamik inceleme

Krank piminde biyelden etkiyen kuvvet bileşenleri, (F_{32x}, F_{32y}) ile piston pernosundan biyele etkiyen kuvvet

bileşenleri (F_{43x}, F_{43y}) ile, krankta etkili tork (T) ile gövdeden krank merkezine etkiyen kuvvet bileşenleri (F_{12x}, F_{12y}) ile ve silindir cidarında etkili normal kuvvet (N) , sürtünme kuvveti (F_s) ile gösterilsin. Pistonun, biyelin ve krank kolunun serbest cisim diyagramlarında d'Alambert ilkesi uyarınca denge denklemleri yazılır ve kuvvet büyüklükleri, (m) biyelin kütlesini göstermek üzere, (mw^2a) ile, tork ifadeside (mw^2a^2) ile bölünürse, boyutsuz kuvvet büyüklükleri aşağıdaki gibi elde edilecektir, [5].

$$N^* = \frac{\sin\theta a_{0x}^* + \lambda(n^2 - \sin^2\theta) a_{0y}^* + k n^2 \alpha_3^*}{(\mu \sin\theta \pm (n^2 - \sin^2\theta)^{1/2})} \quad (11)^*$$

$$F_s^* = -\text{Sgn}(V_B^*) |N^*| \quad (12)^{**}$$

$$F_{43x}^* = F_s^* \quad (13)$$

$$F_{43y}^* = N^* \quad (14)$$

$$F_{32x}^* = F_{43x}^* - a_{0x}^* \quad (15)$$

$$F_{32y}^* = N^* - a_{0y}^* \quad (16)$$

$$F_{12x}^* = -F_{43x}^* + a_{0x}^* \quad (17)$$

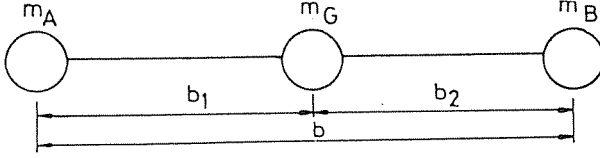
$$F_{12y}^* = -N^* + a_{0y}^* \quad (18)$$

$$T^* = \sin\theta(F_s^* - a_{0x}^*) - \cos\theta(N^* - a_{0y}^*) \quad (19)$$

Yukarıdaki eşitliklerde krank kolunun ağırlık merkezinin krank merkezinde olduğu varsayılmış ve pistonun kütlesi ihmal edilmiştir. Ayrıca, $k=l_0/mb^2$ şeklinde boyutsuz bir kütle dağılımı parametresi tanımlanmıştır. Burada l_0 biyelin ağırlık merkezi etrafındaki kütle eylemsizlik momenti ve u piston-silindir yüzeyleri sürtünme katsayısıdır.

(*) (11) nolu eşitlikte (+) ve (-) işaretleri pistonun krank merkezine, sırasıyla yaklaşma ve uzaklaşması için geçerlidir.
 (**) $\text{sgn}(V_B)$ fonksiyonu $V_B > 0$ ise (+), $V_B < 0$ ise (-) dir.

En genel halde dinamik eşdeğerlilik bakımından biyel kolu, birisi ağırlık merkezinde (m_e) diğer ikisi pim merkezlerinde (m_A, m_B) topaklanmış üç kütle ile yerdeğiştirilebilir[1].



Şekil 2. Dinamik Eşdeğerli Üç Kütle Sistemi.

Şekil (2) den şu eşitlikler yazılabilir[4].

$$m_A + m_B + m_e = m \quad (20)$$

$$m_A b_1 = m_B b_2 \quad (21)$$

$$m_A b_1^2 + m_B b_2^2 = I_e \quad (22)$$

Son üç eşitliğin ortak çözümünden, biyelin ağırlık merkezinde topaklanmış m_e kütlesi bulunur.

$$m_e = m \left(1 - \frac{k}{\lambda(1-\lambda)} \right) \quad (23)$$

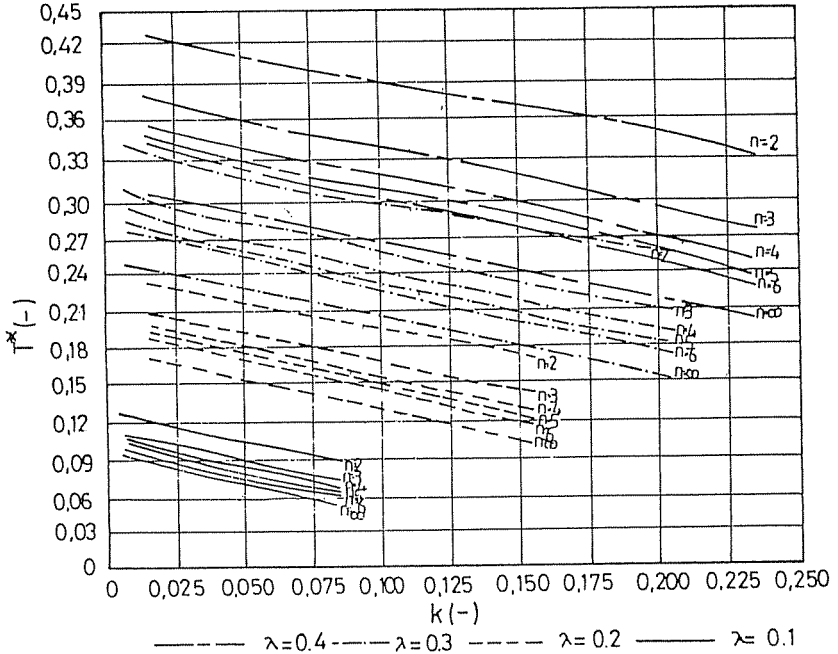
$m_e \geq 0$ olması koşulundan k nın, biyelin ağırlık merkezinin yerini belirleyen λ ya bağlı sınır değeri bulunur.

$$k \leq \lambda - \lambda^2 \quad (24)$$

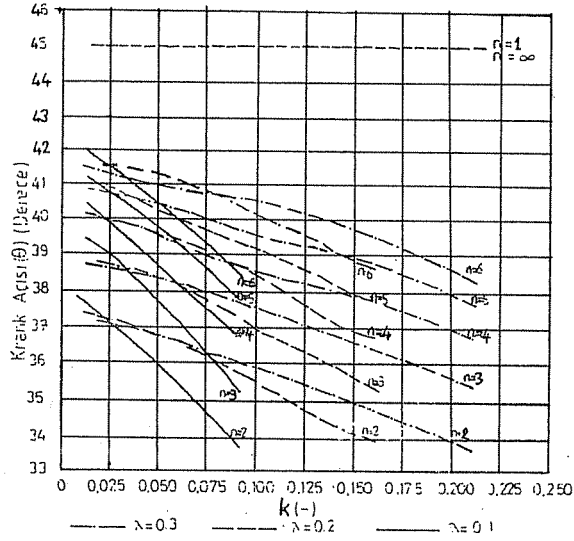
3. Sayısal Sonuçlar ve Tartışma

Kinematik ve dinamik inceleme sonucunda elde edilen eşitlikler FORTRAN 77 dilinde yazılmış bir bilgisayar programında toplanmıştır. λ, k, n ve μ boyutsuz sayılarının bazı dinamik büyüklükler üzerindeki etkileri bilgisayar programı yardımı ile şekil 3 ten şekil 9 a kadar verilen eğriler haline dönüştürülmüştür.

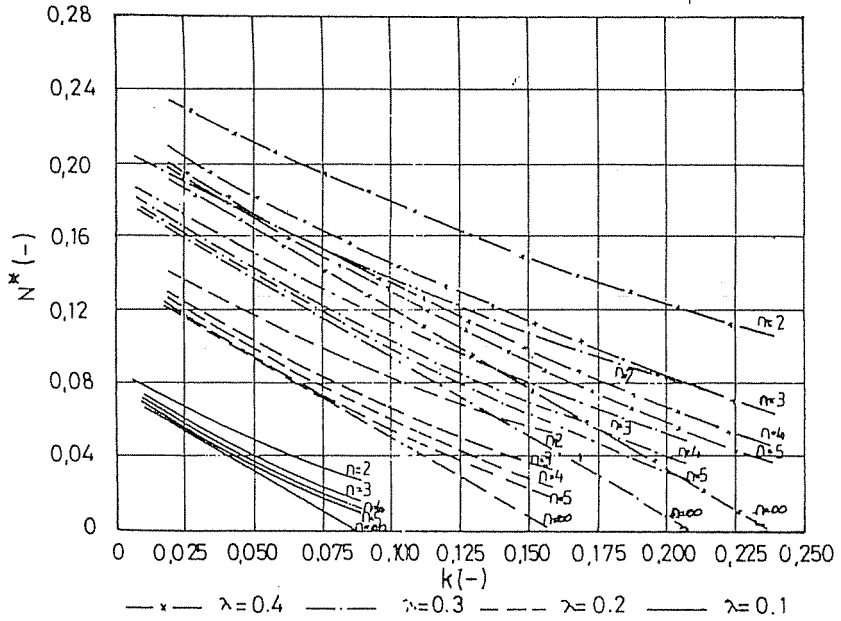
Krank kolunda etkili tork (T^*) ve silindir cidarına etkiyen normal kuvvetin (N^*) ın maksimum değerlerinin k, λ, n ye göre değişimleri şekil 3, şekil 5 ve bu maksimum değerlere karşılık gelen krank açısı konumları da şekil 4 ve şekil 6 da gösterilmiştir. Şekil 7, 8 ve şekil 9 da ise, krank yatağına etkiyen ($F_{1,2}^*$) kuvvetinin polar diagramları görülmektedir.



Şekil 3. Maks. T^* ın k ya Göre Değişimi.

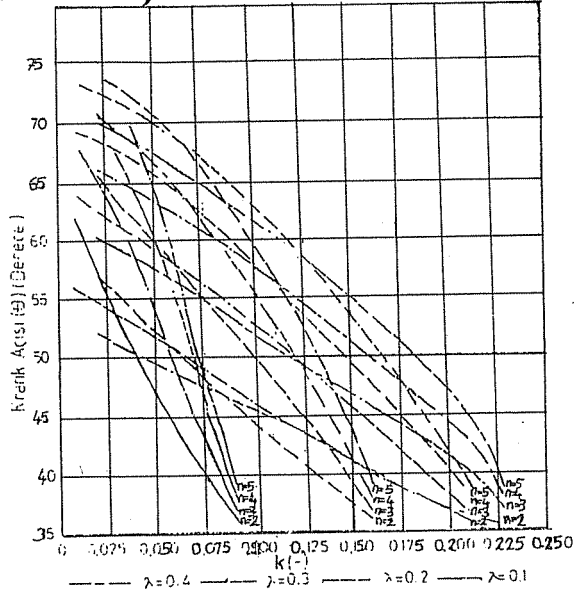


Sekil 4. Maks. T^* in Konumunun k ya Göre Değişimi.

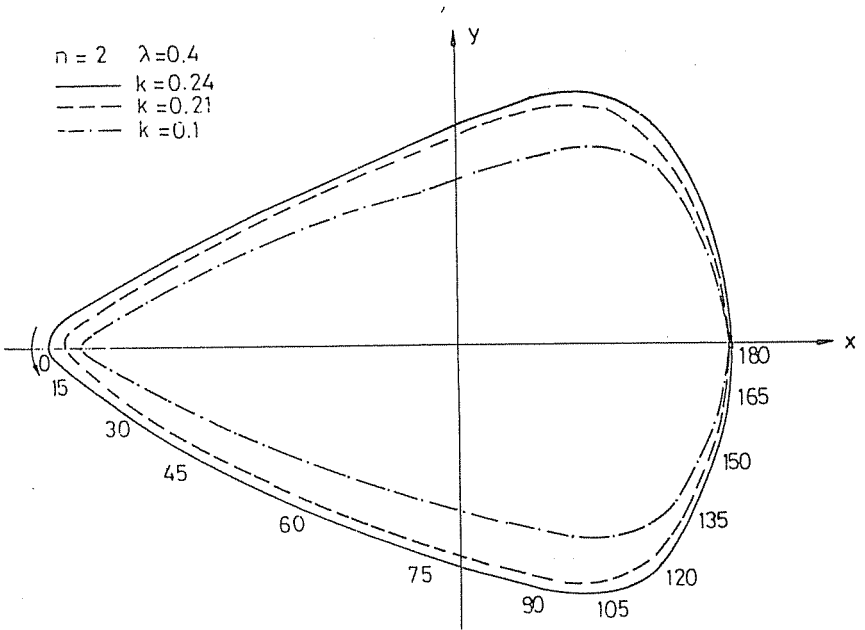


Sekil 5. Maks. N^* in k ya Göre Değişimi.

Biyelin-krank-biyel mekanizması üzerindeki dinamik etkileri

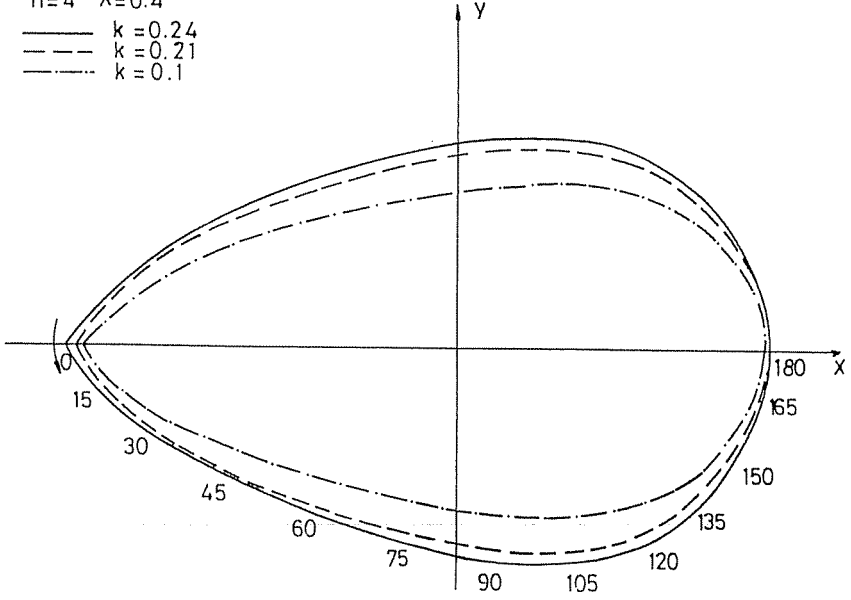


Sekil 6. Maks. N°'in Konumunun k ya Göre Değişimi.



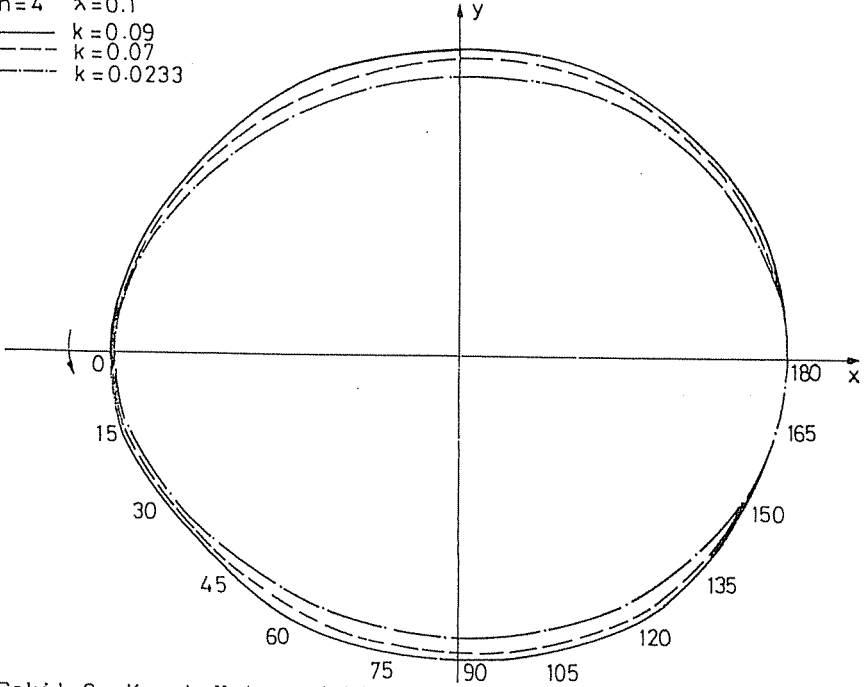
Sekil 7. Krank Yatagındaki Etkili Kuvvetin polar diagramı.

$n=4$ $\lambda=0.4$
 ——— $k=0.24$
 - - - $k=0.21$
 - · - · $k=0.1$



Sekil 8. Krank Yatagındaki Etkili Kuvvetin polar diagramı.

$n=4$ $\lambda=0.1$
 ——— $k=0.09$
 - - - $k=0.07$
 - · - · $k=0.0233$



Sekil 9. Krank Yatagındaki Etkili Kuvvetin polar diagramı.

Sekil 3 ün incelenmesinden krank biyel boy oranının (n) artmasının, küçük değerlerde (1 ile 2 arasında) maksimum torkun şiddetini hızla azalttığı gözlenir. $n=6$, $n=\infty$ aralığında ise torktaki azalmanın çok küçük olduğu söylenebilir.

Biyelin ağırlık merkezinin yerini belirleyen λ nın maksimum torka etkisinin en fazla olduğu durum şekil 3 den izlenebilir. Buna göre λ büyüdükçe, başka bir deyişle biyelin ağırlık merkezinin yeri krank pim merkezinden uzaklaştıkça, maks. T^* in şiddeti hızla artmaktadır.

Biyelin kütle dağılımını ilgilendiren büyüklük olan k ise, 24 nolu bağıntıdan çıkarılabilecek en büyük sınır değerden itibaren azaldıkça maks. T^* in doğrusal olarak arttığı gözlemlenir. Sözünü ettiğimiz bu etkiler şekil 5 teki maksimum cidar kuvveti (N^*) için de aynen geçerlidir.

Sekil 4 den, $n=1$ ve $n=\infty$ limit değerleri için λ ve k ne olursa olsun maks. T^* in 45° lik krank konumunda olduğu, diğer ara durumlarda ise 33° ile 45° arasında değiştiği sonucu çıkarılır. n, λ, k nın krank yatığına gelen mafsal kuvvetine ($F_{1,2}^*$) etkisi ise şekil 7,8,9 un incelenmesi sonucunda n arttıkça, λ küçüldükçe k da alabileceği maksimum degere yaklaştıkça, kuvvet dağılımının çembere yaklaştığı söylenebilir. Sürtünme katsayısı μ nün $T^*, N^*, F_{1,2}^*$ a etkisi çizim hassasiyeti içerisinde görülemeyecek kadar az olduğundan grafiklerde bu etki gözlenememektedir.

Sonuç olarak bir krank biyel tasarımında etkili parametreler λ, n ve k nın seçiminde dikkat edilecek hususlar şunlardır. Krank biyel boy oranı n maliyet ve hacim sınırlayıcı koşullarının izin verdiği kadar büyük seçilmelidir. Biyelin ağırlık merkezi, biyelin mukavemeti açısından tehlikeli boyutlara ulaşmadığı sürece, krank pim merkezine yaklaştırılması ve bu ağırlık merkezine karşı gelen biyel geometrisinde k nın alabileceği en büyük degere karşı gelen geometrinin seçilmesi uygundur. Bunun sonucu olarak krank

koluna gelen torkun dağılımı düzgünleştirecek bu da titreşim, kranktaki gerilme ve enerji girdisini azaltacaktır. Piston cidarına gelen N^* kuvvetinin küçülmesi sonucunda da cidarındaki aşınmalar en aza inecek, yatak ömrü uzun olacaktır. Ayrıca krank yatağına gelen $(F_{1,2}^*)$ mafsal kuvvetinin dağılımının çembere yaklaşması ile de dengeleme sorununun çözümünün basitleştireceği sonucu ortaya çıkar.

4. SONUC

Bu çalışmada pistonlu makinelerinin ana yapısı olan bir krank biyel mekanizmasında, krank biyel uzunluk oranı, biyelin ağırlık merkezinin yeri ve bu nokta etrafındaki eylemsizlik momentindeki değişmelerin krank kolunda etkili döndürme momentinde, silindir cidarına etkiyen aşındırma kuvvetinde, krank yatağına gelen sarsma kuvvetinde meydana getirdiği etkiler incelenmiş ve tasarımda yararlanılacak sonuçlar çıkarılmıştır. Bu bilgilerin ışığında, pistonlu makinanın enerji ve malzeme girdisi azaltıldığı gibi titreşim, aşınma, dengesizlik gibi sorunlar minimum bir düzeye indirilebilecektir.

KAYNAKÇA

- [1] Palavan, S., 1961, Mekanik titreşim dersleri, I.T.Ü. Kütüphanesi, sayı:472, Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul. İstanbul.
- [2] Palavan, S., 1975, Pistonlu makineler dinamiği, I.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı:1020 I.T.Ü. Mak. Fak. Ofset Atölyesi, İstanbul.
- [3] Hall, A.S., Holowenko, A.R., Laughlin, H.G., 1961, Machine Design, Schaum's Outline Series, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [4] Akçalı, I.D., 1988, Makina Dinamiği Ders Notları, Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Yayın No:08, Adana
- [5] Mutlu, H., 1986, Biyelin Dinamik Etkilerinin İncelenmesi, Ç.Ü. Makina Mühendisliği Bölümünde Yapılan Bitirme Ödevi, Adana

POZİTİF İLETİMLİ SABİT DEBİLİ PALETLİ POMPALARIN
TASARIM İLKELERİ VE PERFORMANS ARASTIRMASI

Erdem KOÇ (*) (*)
Ertugrul İNVER

ÖZET

Bu çalışmada, endüstriyel güç iletim ve kontrol sistemlerinin enerji üreten ana elemanlarından, pozitif iletimli paletli pompalar teorik olarak analiz edilmiştir. Palet tasarımında dikkate alınacak önemli noktalara işaret edilip, sabit debili pompalarda sistem performansı değişik çalışma koşullarında araştırılmıştır. Pompa geometrik büyüklüklerinin sistem tasarımına etkileri incelenmiştir.

DESIGN PRINCIPLES OF POSITIVE DISPLACEMENT FIXED
DELIVERY VANE PUMPS AND THE INVESTIGATION OF THEIR
PERFORMANCE

ABSTRACT

In this study, the positive displacement vane pumps being the basic energy producing element of industrial power transmission and control systems have been analysed, theoretically. Having shown the important points to be considered in vane design; the performance of system in fixed delivery pumps has been investigated under different operating conditions. The effects of pump geometrical parameters on system design have been examined.

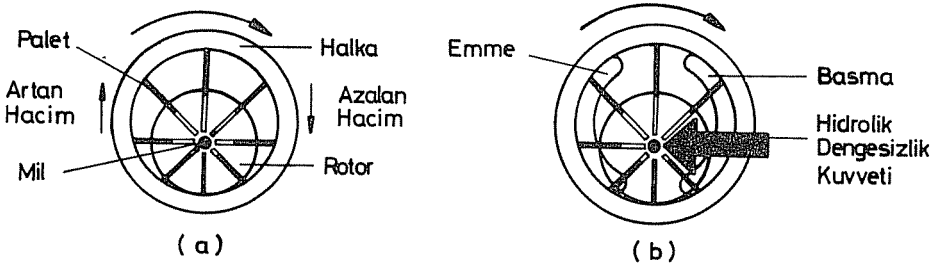
1 GİRİŞ

Hidrolik güç iletim ve kontrol devreleri takım tezgahlarında çeşitli inşaat tarım alet ve makinalarında

(*) C.Ü. Müh-Mim.Fak. Makina Mühendisliği Bölümü ADANA

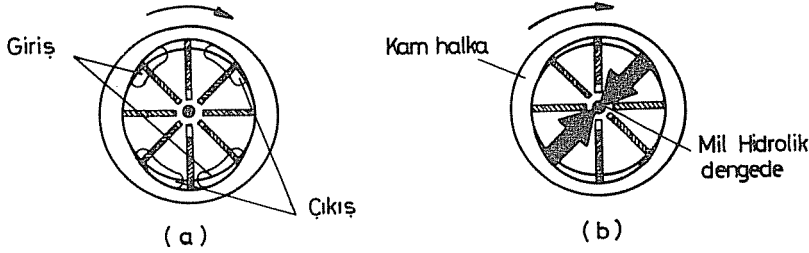
endüstriyel robotlar gibi seri üretim hatlarında yaygınca kullanılmaktadır. Pompalar bu tür devrelere yağ basan dolayısıyla devrenin güç ihtiyacını karşılayan temel elemanlardır. Bahsedilen elemanlar, geometrik yapıları gereği emdikleri akışkanın tamamını çıkışa süpürmek zorundadırlar. Bu fonksiyonu yerine getirirken akışkana hidrostatik enerji kazandırırılar. Bu yüzden endüstriyel hidrolikte kullanılan pompalar pozitif iletimli olarak adlandırılırlar [1,2,3].

Pozitif iletimli pompalar grubunda yer alan paletli pompalar sabit ve değişken debili olabilmektedir[4]. Burada sadece sabit debili yani, pompa rotorunun bir dönüşünde süpüreceği akışkan debisi sadece iç kaçaklarla değişebilen ve normalde geometrik yapı dolayısıyla belirli hacimde akışkan sevkeden pompalar analiz edilecektir. Bu pompalar, bir kovan veya gövde içinde eksantrik olarak yerleştirilen rotorla, rotor çevresinde radyal olarak hareket edebilen palet veya kanatlardan ibarettir. Şekil-1 den de görüleceği gibi rotor çevresindeki radyal boşluklarda ileri geri hareket edebilen paletler, rotor dönüşü ile sabit gövde içinde genişleyen hacimde biriken akışkanı, daralan hacimde sıkıştırarak çıkış hattına iletirler. Palet hareketi yalnız dönüşten doğan santrifüj kuvvet etkisiyle olabileceği gibi, palet sonlarına konan yaylar ve o bölgeye sevkedilen yüksek basınçlı akışkanla da gerçekleştirilir. Rotor döndüğünde en büyük hacim ile en küçük hacim arasındaki fark kadar sıvı süpürülerek çıkış hattına gönderilir. Pompada, emme ve basma bölgesindeki akışkanın birbirinden ayrılmasını sağlayan dağıtım plakası kullanılır. Bazen bu plakaların görevini pompa gövdesi de yapabilmektedir.



Şekil . 1 : Paletli pompa elemanları ve çalışma prensibi

Bu pompalarda sistem emme ve basma bölgelerindeki farklı basınçlardan doğan hidrolik kuvvetler, rotor milini farklı şekilde zorlayarak dengesiz çalışmaya neden olacaktır. Dengelenmemiş kuvvetler rotor milinde deformasyona neden olacak ve doğal olarak paletlerin hassas olan hareket şeklini etkileyecektir. Bu dengesizliğin önlenmesi mümkündür. Şekil-2 dengelenmiş pompa tasarımını göstermektedir. Burada rotor ve paletler birlikte kam şeklindeki yuva içinde dönmektedir. Karşılıklı iki daralan ve genişleyen bölge olduğundan, emme ve basma hatları da karşılıklı ikiyeşer adettir. Konstrüktif düzenlemeyle bu hatlar karşılıklı olarak birleştirilip pompanın tek emme ve basma hattını oluşturmaktadır. Şekilden de gözlenebileceği gibi bu tasarımla rotor üzerine etki eden hidrolik kuvvetler dengelenmiştir.



Şekil . 2 : Dengelenmiş kanatlı (paletli) pompa

Paletlerin; rotor dönüşüyle gövde iç yüzeyine temas edip bir taraftan sızdırmazlığı sağlarken diğer taraftan da aşınmayı önleyecek şekilde tasarlanması ve imal edilmesi gerekmektedir. Paletler ile gövde iç yüzünde vizkoz akışkan filmi yeterli kalınlıkta olmalıdır. Başka bir ifadeyle palet üst yüzeyi kam veya gövde iç yüzeyinden çok fazla ayrılırsa çıkıştan girişe akışkan kaçağı büyük boyutlara ulaşabilecek ve sistem performansı olumsuz yönde etkilenecektir (sistem volümetrik verimi düşecektir). Bahsedilen bölgede yağ filmi metal-metal temasını önleyecek yeterli kalınlıkta olmalıdır. Bu nedenle paletlerin hidrolik dengesi çok önemli olmaktadır. Paletlerin rotor ilk harekete geçişte veya çok düşük hızlarda santrifüj kuvvet yeterli olmadığı için yuvada hareket edemediği durumlar olabilmektedir. Bu dezavantaj paletli pompalarda minimum hız sınırını doğurmaktadır. Endüstriyel pompalarda bu hızın 500-600 d/dk olduğu söylenebilir.

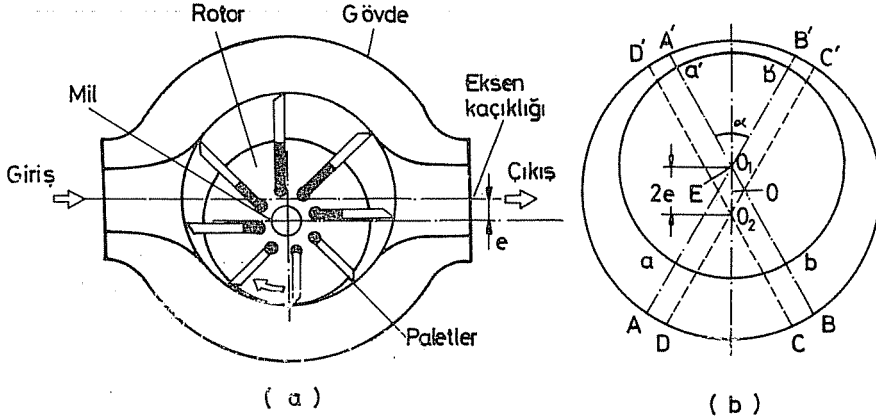
Bu çalışmada, sabit debili pozitif iletimli paletli pompaların tasarım parametreleri incelenmiş ve bunların sistem performansına etkileri araştırılmıştır. Sistem performansını tayin eden debi, moment ve güç ifadeleri boyutsuz çalışma parametreleri ve geometrik büyüklükler cinsinden elde edilip tasarım ilkeleri belirlenmiştir.

2. TEORİK ANALİZ

Paletli pompaların teorik analizinde, iç akışkan kaçağının olmadığı varsayılarak enerji dengesi değerlendirilirken mekanik ve volümetrik verimin 1 olduğu kabul edilmiştir. Analiz için önce tipik eksantrik rotorlu sabit debili dengelenmemiş pompa geometrisi dikkate alınmıştır. Rotorun bir dönüşüyle oluşan geometrik süpürme hacmi bulunmuş ve çalışma parametreleri cinsinden ifadesi bilindiğinden moment ve güç ifadeleri rahatça bulunmuştur. Boyutsuz büyüklüklerle çalışmanın faydalı yönleri değerlendirilerek, ilgili ifadeler boyutsuzlaştırılmışlardır.

2.1 Debi Hesabı

Rotorun bir dönüşünde z adet paletle sahip bir pompa geometrik süpürme hacmi, paletler arasındaki hacimler dikkate alınarak bulunabilir. Paletler rotor dönünce O merkezli silindir (gövde) iç yüzeyiyle daima temas halinde olmalıdır (Şekil 3). Her palet aralığının temin ettiği faydalı hacim Şekil-3b 'den de görüldüğü gibi en büyük ve en küçük iki hacmin farkından bulunabilir.



Şekil 3 : Tipik bir paletli pompa

Bu hacim, b palet genişliği olmak üzere,

$$V = [(A a b B) - (A' a' b' B')]_{\text{alan}} b \quad (1)$$

formülünden kolayca bulunur. Rotor merkezi ile gövde merkezi arasındaki uzaklık (eksantrik) e ve gövde iç çapı D olmak üzere şekildeki daire parçaları ve dikdörtgenlerin değerlendirilip yapılan bir seri işlemle, bir palet aralığına tekabül eden hacim,

$$V = 2 b e D \sin \frac{\pi}{z} \quad (2)$$

olarak bulunur. Pompa dönme hızı $n(d/dk)$ ise pompa ortalama debisi,

$$Q = 2 b e n z D \sin \frac{\pi}{z} \quad (3)$$

şeklinde bulunabilir. Gerçeğe yakın akışkan debisi, paletlerin işgal ettiği hacmin dikkate alınmasıyla,

$$Q_1 = 2 b e n z (D \sin \frac{\pi}{z} - s) \quad (4)$$

formülünden bulunabilir. Burada s palet kalınlığı, b palet genişliği, e eksantrisitedir.

Rotor yarıçapı r, gövde yarıçapı R ve palet geometrisi cinsinden,

$$Q_2 = 2 b e n (\pi (R + r) - s z) \quad (5)$$

ifadesi ile palet stroku h'ı ihtiva eden,

$$Q_3 = b h (d+h) \pi n \quad (6)$$

eşitliği de paletli pompalarda teorik debiyi yapılan kabuller çerçevesinde, veren ifade olarak kullanılır.

Bu debi ifadeleri boyutsuz olarak aşağıdaki formda yeniden düzenlenirse, (5) eşitliği;

$$\bar{Q}_1 = 19 \bar{e} \bar{b} z (2 \sin \frac{\pi}{z} - \bar{s}) \quad (7)$$

şeklini alır. Aynı şekilde,

$$\bar{Q}_2 = 19 \bar{e} \bar{b} (\pi (1 + \bar{r}) - \bar{s} z) \quad (8)$$

ve

$$\bar{Q}_3 = 30 \bar{b} \bar{h} (2 \bar{r} + \bar{h}) \quad (9)$$

şeklinde boyutsuz debi ifadeleri bulunmuş olur. Burada

$$\bar{Q} = Q / \omega R^2 b_{\max} \text{ şeklinde tarif edilmiş boyutsuz debidir.}$$

2.2 Moment ve Güç Hesabı

Pozitif iletimli pompa ve motorlarda; sistemin süpüreceği akışkan debisi yanında, pompa için tahrik momenti ve giriş gücü, motor için ise çıkış milinden elde edilebilecek döndürme momenti ve güç ifadelerinin de bilinmesi gerekmektedir.

Bu amaçla, debi hesabında olduğu gibi mekanik kayıpların ihmal edilmesi hali için pompada enerji dengesi yazıldığında,

$$M \omega = \Delta P Q \quad (10)$$

olur. Burada ω açısal hız, ΔP pompa çıkış ve girişi arasındaki basınç farkı, M pompa milindeki momenttir. Pompa milindeki döndürme momenti ifadesi, daha önce bulunan debi ifadesinden birinin kullanılmasıyla,

$$M = \frac{60}{\pi} e b \Delta P (\pi (R + r) - s z) \quad (11)$$

şeklinde elde edilir. Boyutsuz büyüklüklerle,

$$\bar{M} = 19 \bar{e} \bar{b} \bar{\Delta P} (\pi (1 + \bar{r}) - \bar{s} z) \quad (12)$$

olarak ifade edilir. Burada $\bar{M} = M / \eta \omega R^2 b_{\max}$ olarak tarif edilen boyutsuz moment ifadesidir. Pompayı tahrik etmek için gerekli güç ifadesi;

$$\bar{N}_1 = 19 \bar{e} \bar{b} \bar{\Delta P} z (2 \sin \frac{\pi}{z} - \bar{s}) \quad (13)$$

ve

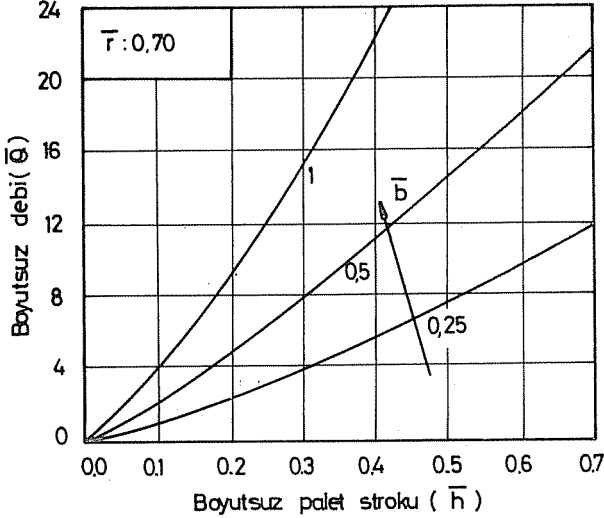
$$\bar{N}_2 = 30 \bar{\Delta P} \bar{b} \bar{h} (2 \bar{r} + \bar{h}) \quad (14)$$

şeklinde boyutsuz olarak bulunabilir. Burada

$\bar{N}_{12} = N / \eta \omega R^2 b_{\max}^2$ şeklinde tarif edilen boyutsuz basınç ifadeleridir.

3. TEORİK NETİCELER VE İRDELEME

Önceki bölümde yapılan teorik analiz esas olmak üzere boyutsuz büyüklüklerle pompanın performansı araştırılmıştır. Şekil-4 boyutsuz debinin boyutsuz palet stroku ile değişimini vermektedir.

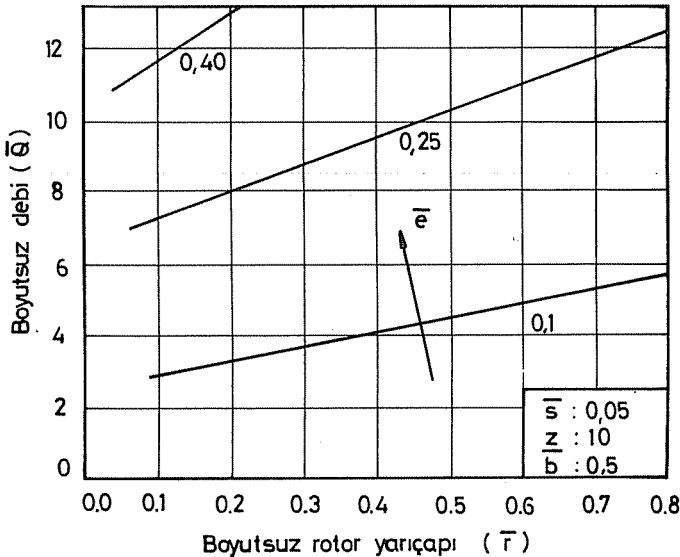


Şekil . 4 : Debinin , palet stroku ile değişimi

Burada boyutsuz palet genişliği 0.25'den 1'e kadar değiştirilmiştir. Paletli pompanın çalışma prensibi gereği, paletler hareket etmezse başka bir ifadeyle, palet stroku sıfır olursa, pompa tabii olarak yağ basamayacaktır. Palet genişliği ne olursa olsun sıfır strokta debi sıfır olacaktır. Strokun artışıyla her üç palet genişliği için de debi artacaktır. Bu nedenle boyutsuzlaştırmada kullanılan b_{\max} pompa tasarımı için önemli olmaktadır. Bu değer, gövde ve rotor genişliği ile sınırlı olduğundan müsaade edilebilen maximum genişlik önceden belirlenirse, boyutsuz palet genişliği de uygun debiyi sağlayacak şekilde teşkil

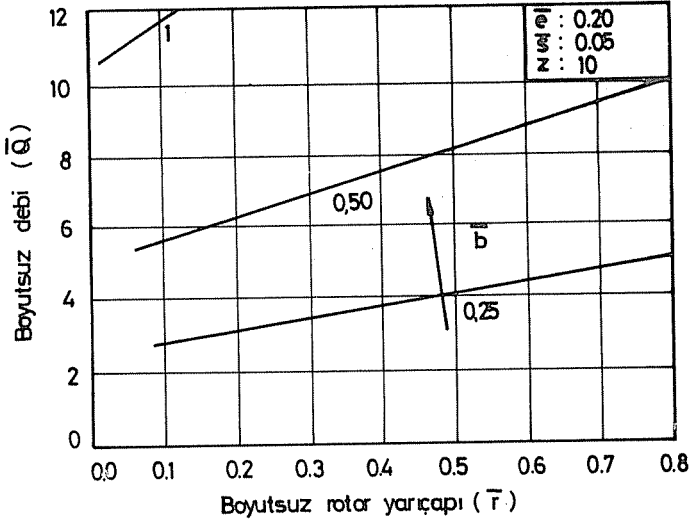
edilebilir. Boyutsuz palet strokunun 0.2 ile 0.5 arasında değerler alması halinde her üç boyutsuz kanatçık genişliğinde de lineer olmayan fakat lineere yakın olarak boyutsuz debinin değiştiği gözlenmiştir. Sonuç olarak boyutsuz genişliğin 0.5 değerinden daha büyük değerler alması tasarım açısından tavsiye edilebilir.

Bazen rotor yarıçapı ve eksantrisitesi debinin değişiminde önemli rol oynayabilmektedir. Bu amaçla eşitlik (8) esas alınarak elde edilen değişim şekil-5 de gösterilmiştir. Burada palet sayısı 10, palet genişliği $b=0.5$ ve palet kalınlığı $\bar{s}=0.05$ olarak alınmıştır. Şekilden de görülebileceği gibi rotor ve gövde eksenleri arasındaki eksantriklik \bar{e} 0.1 ile 0.4 arasında değiştirilmiştir. Rotor yarıçapının artması her uc e hali için debide lineer değişime neden olmaktadır. Minimum rotor yarıçapı $\bar{r}=0.1$ olarak değerlendirilmiştir. Eksantrisitenin artması doğal olarak debinin artmasına neden olmaktadır. Özellikle $\bar{e}=0.40$, ve daha büyük değerler için rotor yarıçapı \bar{r} 'deki küçük artışlar debide çok büyük oranlarda artışa neden olmaktadır. Değişim doğrularının eğimi artan \bar{e} değerleriyle artmaktadır. Ne var ki, \bar{e} istenildiği gibi artırılmamaktadır. Bu, tasarım için bir sınırlayıcı faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Seçilen palet geometrisi için aynı rotor yarıçapında eksantrisitenin 0.1'den 0.25'e çıkışı bile boyutsuz debide önemli artışa neden olmaktadır.



Şekil . 5 : Debinin, rotor yarıçapı ile değişimi

Seçilen bir eksantrisitede debinin değişik palet genişlikleri için rotor yarıçapıyla değişimi de elde edilmiş ve sonuçlar şekil-6'da sunulmuştur. Burada $\bar{e}=0.20$ olarak alınmış, boyutsuz palet genişliği ise 0.25' den 1'e kadar değiştirilmiştir. Debi yine her üç genişlik hali için artan rotor yarıçaplarında lineer olarak artış göstermektedir.

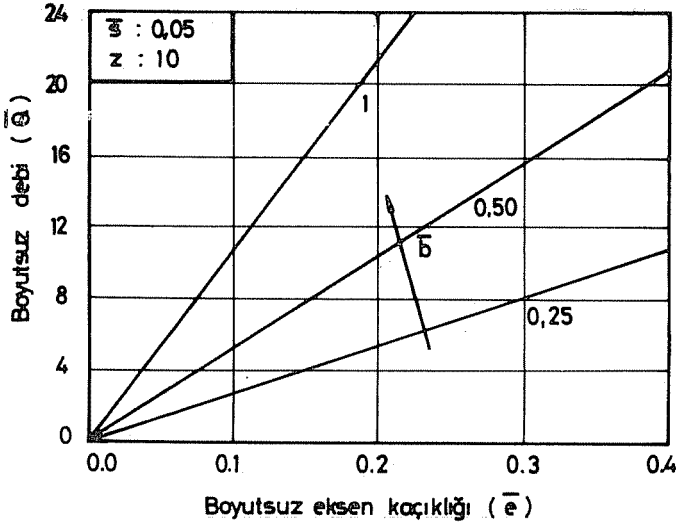


Şekil . 6 : Debinin , rotor yarıçapı ile değişimi

Şekil-7 debinin değişik palet genişlikleri için boyutsuz eksantrisite e ile değişimini vermektedir. Bu değişim için eşitlik(7) esas alınmıştır Şekilden de görüldüğü gibi eksantrisitenin olmaması hâlinde diğer geometrik büyüklükler ne olursa olsun, debi sevki olmayacaktır. \bar{e} nin artışı her üç genişlik halinde de debide lineer artışa neden olmaktadır. Arzu edilen uygun genişlik ve eksantriside uygun debi miktarının elde edilmesidir. Bu eğri gruplarından tasarım için arzu edilen büyüklükler seçilebilir. Şekil-8 ile mukayese edildiğinde aynı eksantriside ve genişlikte daha büyük debi elde etmek mümkün olmaktadır. Bu farklılık farklı eşitliklerin kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

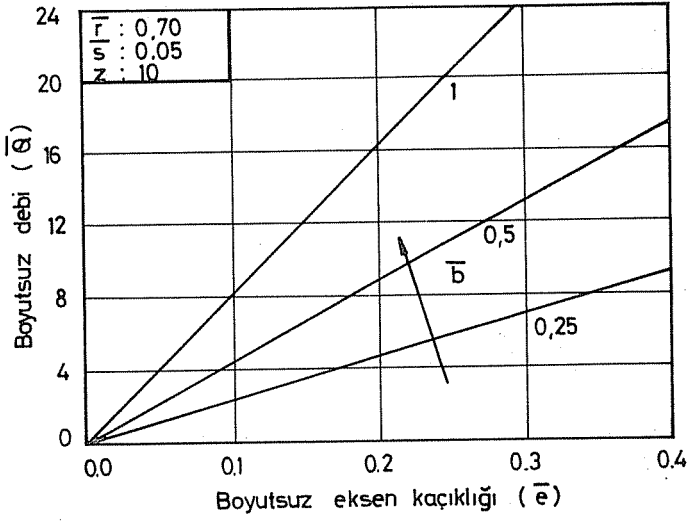
Debi yanında pompa tahrik momenti ve dolayısıyla pompa giriş gücü de tasarım açısından önemli olmaktadır. Şekil-9 değişik $\bar{\Delta P}$ değerlerinde pompa giriş gücünün boyutsuz

palet stroku \bar{h} ile değişimini vermektedir. Burada, basınç arttıkça beklendiği gibi belirli bir palet stroku için giriş gücünün artmasına neden olmaktadır. Palet strokunun artışı bütün basınç farkları için gücü artırmaktadır. Bu eğri-lerden, palet geometrisi biliniyorsa, pompa giriş gücü istenen basınç seviyeleri için tahmin edilebilmektedir. Dehide olduğu gibi eksen kaçıklığı \bar{e} nin giriş gücüne etkisi incelenebilir (Şekil 10). Burada şekilden de görüldüğü gibi değişik basınç farklarında (ΔP) \bar{e} 'nin artışı giriş gücü N 'de lineer artışa neden olmaktadır.

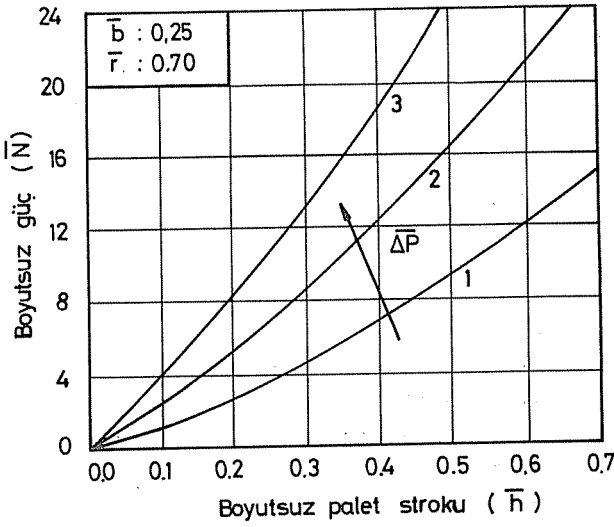


Şekil . 7 . Debinin , eksen kaçıklığı ile değişimi

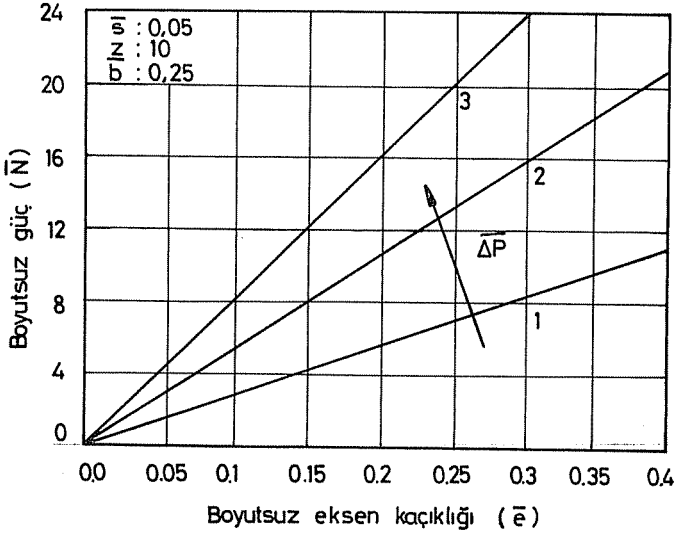
Yukarıdaki analizde, pompada iç akışkan kaçağı, vizkoz moment kayıpları ve de mekanik kayıpların olmadığı varsayılmıştır. Bu yüzden elde edilen debi ve güç değişimlerinde bu hususların dikkate alınması gerekmektedir. Araştırmanın bundan sonraki safhasında teorik çalışmada bu kayıplar değerlendirilip kurulmakta olan deney düzeneginde bu tip pompaların performanslarına etki eden önemli parametrelerin ölçümleri yapılabilecektir.



Şekil . 8 : Debinin , eksen kaçıklığı ile değişimi



Şekil . 9 : Gücün , palet stroku ile değişimi



Şekil . 10 : Gücün ,eksen kaçıklığı ile değişimi

4.SONUÇ

Pozitif iletimli sabit debili pompada yapılan teorik çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Pompa tasarımında paletler önemli hareketli parçalardır. Bunların sistem çalışırken doğacak olan hidrolik dengesizliklerinin ortadan kaldırılması gerekmektedir.

2. Bu dengeleme, pompa iç akışkan kaçağını minimuma indireceği gibi vizkoz moment kayıplarını da ortadan kaldıracaktır.

3. Pompada debi, bilinen palet genişliği için eksantrisite ve rotor yarıçapı ile artmaktadır.

4. Debi palet geometrik büyüklükleri b ve h ile artarken s ile azalma eğilimi göstermektedir.

5. Palet sayısı ile debinin lineer bağımlı olduğu anlaşılmıştır. Ancak palet sayısı en az iki olmalıdır. Kostrüktif sınırlamalar palet sayısının alabileceği maksimum değeri belirlemektedir.

6. Pompa giriş gücü de eksantrisite ve palet geometrik büyüklükleriyle artmaktadır.

5. KAYNAKLAR

- [1] E. Koç, F. Canbulut, Pozitif Deplasmanlı Pompa ve Motorlarda İç Akışkan Kaçağı, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 1(1985), 243-256
- [2] E. Koç, F. Canbulut, Hidrolik Dişli Pompa ve Motor İmalatında Hassas Toleranslar ve Bunların Sistem Performansına Etkileri Mühendis ve Makina Dergisi, 29, 338 (Mart 1988), 32-34
- [3] T. Yavuz, S. Özkılıç, Hidrostatik Pompa ve Motor Karakteristiklerinin Analizi, 1. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu, 4-8 Kasım 1985, Bursa
- [4] F. Özcan, Hidrolik Akışkan Gücü, Mert Teknik Fabrika Malzemeleri Ticaret ve Sanayi A.Ş., 1982, İstanbul
- [5] H. Topçu, Z. Köylü, ve diğerleri, Hidrolik Pozitif İletimli Pompa-Motor Sistemleri, C.Ü Makina Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi, Temmuz 1989, Adana

6. SEMBOLLER

b	Palet Genişliği
b_{max}	Maksimum Palet Genişliği
\bar{b}	= b / b_{max} Boyutsuz Palet Genişliği
d	Rotor Çapı
e	Eksen Kaçıklığı (Eksantrisite)
\bar{e}	= e / R Boyutsuz Eksantrisite
h	Palet stroku
\bar{h}	= h / R Boyutsuz Palet Stroku
n	Rotor Dönme Hızı (d / dk)
r	Rotor Yarıçapı
\bar{r}	= r / R Boyutsuz Rotor Yarıçapı
s	Palet Kalınlığı
\bar{s}	= s / R Boyutsuz Palet Kalınlığı
D	Gövde İç Çapı
M	Moment
\bar{M}	= $M / \eta \omega b_{max} R^2$ Boyutsuz Moment
N	Güç
\bar{N}	= $N / \eta \omega^2 b_{max} R^2$ Boyutsuz Güç
P	Basınç

R	Gövde İç Yarıçapı
Q	Debi
\bar{Q}	$= Q / \omega R^2 b_{\max}$ Boyutsuz debi
Z	Palet Sayısı
ΔP	Basınç Farkı
$\bar{\Delta P}$	$= P / \eta \omega$ Boyutsuz Basınç Farkı
ω	Açısal Hız
η	Dinamik Vizkozite
α	İki Palet Arasındaki Açısı (Şekil-3b)